

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Глінський Євген Вікторович

група ТЕП – 23м

УДК 69.059.7

**ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ**

Спеціальність 144 – Теплоенергетика

Кваліфікаційна магістерська робота

Керівник

д.т.н., проф. О.В. Замицький

Кривий Ріг – 2024

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електротехнічний
Кафедра теплоенергетики
Спеціальність 144 Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри теплоенергетики

Замицький О.В.

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Глінський Євген Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ**

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)

Вступ.

Розділ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ УКРАЇНИ

Розділ 2. ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ

Розділ 3. ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ

Розділ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ СПОСОБУ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ

Висновки

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

1 Система геліонагріву оборотної мережевої води

2 Схема приєднання абонента через індивідуальний тепловий пункт

3 Система централізованого теплопостачання з тепловим насосом

4 Сумарні втрати теплоти в теплових мережах

5 Затрати в різних системах теплопостачання

5. Дата видачі завдання _____ червень _____

Керівник _____
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання атестаційної роботи магістра

№№ пп	Назва етапів атестаційної роботи	Термін виконан- ня етапів роботи	Примітка
1	Вступ	08 серпня	виконано
2	АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ УКРАЇНИ	09 серпня – 20 вересня	виконано
3	ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ	21 вересня – 20 жовтня	виконано
4	ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ	21 жовтня – 15 листопада	виконано
5	РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ СПОСОБУ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ	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

Централізоване теплопостачання, сформоване в містах радянської України, було досить вигідним і вдалим рішенням для своїх часів. Адже фактично теплова енергія для центральних систем міститься в теплій воді, яка утворюється як побічний продукт на електростанціях. Така комплексність дозволяла в своє зробити ціни на тепло досить низькими, але в наші дні такий підхід до опалення безнадійно відстав від світового рівня. Морально і фізично застаріли як джерела тепла (паротурбінні ТЕЦ), так і системи транспортування тепла до споживачів, які вимагають постійних ремонтів, а по справі - повної заміни. Тому питання вдосконалення систем централізованого теплопостачання актуальна, як ніколи.

У роботі проведено аналіз сучасного стану централізованого теплопостачання міст України.

Порівняно методи дослідження способів підвищення ефективності централізованого теплопостачання міст.

Визначено закономірності процесів, що протікають при підвищення ефективності централізованого теплопостачання.

Розроблено рекомендації по впровадженню способу підвищення ефективності централізованого теплопостачання міст.

Ключові слова: централізоване теплопостачання, ефективність, геліосистема, індивідуальний тепловий пункт, тепловий насос.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ККД – коефіцієнт корисної дії

ТЕЦ – теплоелектроцентрально

ТЕС – теплова електростанція

ТН – тепловий насос

ТНУ – теплонасосна установка

КТУ - комбінована теплогенеруюча установка

ГТУ – газотурбінна установка

ПТУ – паротурбінна установка

ВЕУ – вітроенергетична установка

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ УКРАЇНИ	11
1.1. Система теплопостачання України	11
1.2. Існуючі проблеми та заходи щодо вдосконалення систем централізованого теплопостачання	16
1.3. Сучасний стан теплових мереж України	18
1.4. Висновки першого розділу	20
РОЗДІЛ 2. ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ	21
2.1. Використання геліосистем в схемі централізованого теплопостачання	21
2.2. Застосування теплових насосів в системах теплопостачання	25
2.3. Використання індивідуальних теплових пунктів	31
2.4. Використання комбінованих теплогенеруючих установок	37
2.5. Використання теплових насосів в поєднанні з вітряними електростанціями	43
2.6. Висновки другого розділу	47
РОЗДІЛ 3. ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ	48
3.1 Аналіз методів гідравлічних розрахунків теплових мереж	48
3.2. Математичне моделювання гідравлічного режиму теплової мережі	51
3.3. Висновки третього розділу	53
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ СПОСОБУ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ	55

ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ	
4.1. Оцінка ефективності системи теплопостачання	56
4.2. Економічна ефективність впровадження ТН в схему централізованого теплопостачання	60
4.3. Висновки четвертого розділу	62
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

ВСТУП

Актуальність теми. Інтенсивний розвиток нових житлових районів в містах і селищах міського типу, де відбувається прогресуючий знос обладнання і трубопроводів існуючих систем виробництва теплової енергії, структурна перебудова секторів економіки, вимагає великого обсягу робіт з реконструкції та нового будівництва теплових магістралей і систем виробництва теплової енергії. У зв'язку з цим необхідно оптимізувати використання дефіцитних інвестицій та інших ресурсів в сучасному процесі відновлення і розвитку теплоенергетики країни в новій економічній ситуації.

Одним з напрямків енергозбереження в системах централізованого теплопостачання є вдосконалення схем і параметрів тепломережі, яка є сполучною ланкою між джерелом тепла і споживачем, на основі всебічного вивчення режимів їх роботи для забезпечення прийняття науково обґрунтованих проектних і технічних рішень, що забезпечують допомагають економити тепло і електроенергію і зводять до мінімуму втрати енергії.

Світова практика показує, що кожен долар, вкладений в економію енергії, в кінцевому підсумку приносить прибуток у вигляді додаткових вигод для компаній. У розвинених країнах енергозбереження цілком обґрунтовано вважається найбільш прибутковим видом бізнесу, і не випадково принцип мінімізації енерговитрат на одиницю продукції стає відповідним засобом виходу з сировинного глухого кута з інноваційної точки зору[10].

Централізована система теплопостачання споживачів-це складна технологія, що об'єднує джерела тепла, теплові мережі і внутрішні системи теплопостачання для різних типів споживачів.

Оскільки міська система опалення відноситься до системи життєзабезпечення, а її вихід з ладу призводить до неприйнятних змін мікроклімату будівель, проблеми, що розглядаються в даній статті, спрямовані на розробку шляхів підвищення ефективності централізованого теплопостачання. Таким чином, встановлення закономірностей тепломасообмінних процесів, що протікають при

підвищенні ефективності централізованого теплопостачання міст є **актуальним науковим завданням**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота магістра відповідає напряму наукових досліджень кафедри «Криворізький національний університет».

Мета і завдання дослідження. Метою дипломної роботи магістра є дослідження шляхів підвищення ефективності централізованого теплопостачання міст.

Для реалізації поставленої мети було сформульовано наступні задачі:

- провести аналіз сучасного стану централізованого теплопостачання міст України;
- виконати порівняльні дослідження способів підвищення ефективності централізованого теплопостачання міст;
- визначити закономірності процесів, що протікають при підвищення ефективності централізованого теплопостачання;
- розробити рекомендації по впровадженню способу підвищення ефективності централізованого теплопостачання міст.

Об'єкт дослідження: тепломасообмінні процеси, що протікають при підвищення ефективності централізованого теплопостачання міст.

Предмет дослідження: параметри тепломасообмінних процесів, що протікають при підвищення ефективності централізованого теплопостачання міст.

Методи дослідження: Методи аналітичних досліджень літературних джерел. Методи математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримали подальший розвиток закономірності тепломасообмінних процесів, що протікають при розробці системи підвищення ефективності централізованого теплопостачання міст.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено рекомендації по впровадженню системи підвищення ефективності централізованого теплопостачання міст.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується коректністю вирішуваних теоретичних завдань; використанням реальних вихідних даних, що взяті в діючих вітчизняних підприємств; обґрунтованістю прийнятих допущень, аналізом відповідно до завдань досліджень.

Структура роботи. Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 24 найменувань. Загальний обсяг дипломної роботи становить 68 сторінок, 15 рисунків.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ УКРАЇНИ

1.1. Централізоване теплопостачання міст України

Система теплопостачання є однією з ключових галузей паливноенергетичного комплексу нашої країни. Його висока значимість простежується не тільки в енергетичному, але в економічному і соціальному плані. Насамперед це пояснюється кліматичними особливостями нашої країни. Велика частина території України розташована в зонах, характерною особливістю яких є тривалі і іноді холодні зими, що, в свою чергу, створює необхідність у покриття значних опалювальних потреб протягом тривалих опалювальних періодів [6].

За місцем вироблення теплоти системи теплопостачання поділяються на:

- центральні (джерело виробництва теплової енергії працює на теплопостачання групи будівель та пов'язане транспортними пристроями з приладами споживання тепла);
- місцеві (споживач та джерело теплопостачання знаходяться в одному приміщенні або у безпосередній близькості).

Найбільш ефективний вид теплопостачання це теплофікація, тобто централізоване теплопостачання на базі комбінованого вироблення теплоти та електричної енергії на ТЕЦ. Основний енергетичний ефект при теплофікації полягає у використанні теплопостачання відпрацьованої теплоти, відведеної з теплосилового циклу електростанції.

Централізована подача тепла необхідна:

- а) в системі опалення для нагрівання теплоносія, що подається в опалювальні прилади, розташовані у приміщеннях;
- б) у системах вентиляції та кондиціонування повітря для підігріву повітря в холодну пору року до заданої температури перед подачею в приміщення;
- в) у системі гарячого водопостачання для нагрівання водопровідної води від температури $5 \div 15^{\circ}\text{C}$ до температури $55 \div 70^{\circ}\text{C}$, яка функціонує цілодобово.

Використання теплоти санітарно-технічними системами у процесі їх функціонування називають теплоспоживанням. Розмір теплоспоживання окремої будівлі (підприємства) змінюється протягом року. Величина та характер сезонного теплоспоживання систем опалення та вентиляції залежать у переважно від температури зовнішнього повітря. Теплоспоживання системи гарячого водопостачання протягом року має відносно постійний характер.

Принципова теплова схема ТЕЦ показана на рис.1.1.

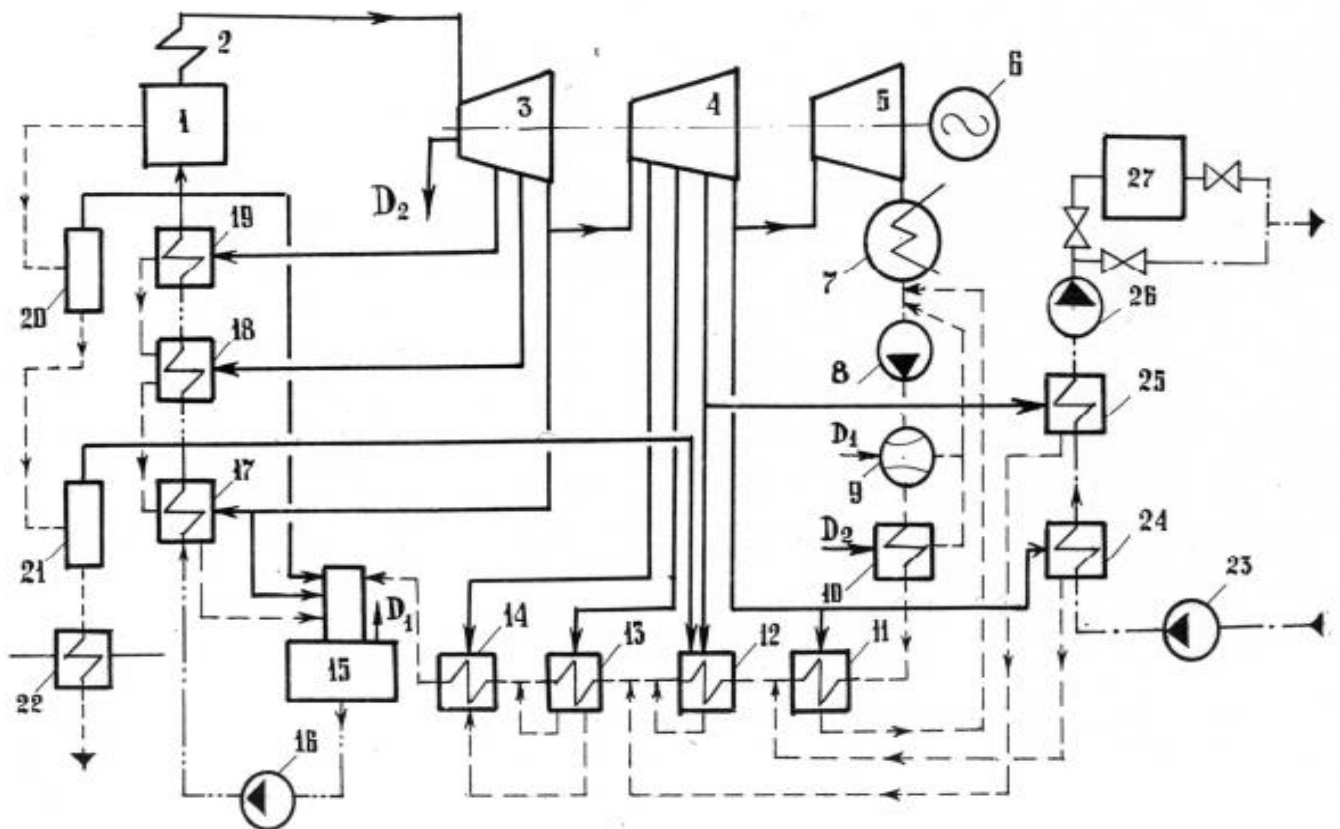


Рис. 1.1 – Принципова теплова схема ТЕЦ:

1 – парогенератор; 2 пароперегрівач; 3, 4, 5 – парова турбіна: 3 – частина високого тиску, 4 - частина середнього тиску, 5 - частина низького тиску;
 6 – електрогенератор; 7 – конденсатор; 8 – конденсатний насос;
 9 – охолоджувач ежекторної пари; 10 – підігрівач; 11-14 - підігрівачі низького тиску; 15 – деаератор; 16 – живильний насос; 17-19 – підігрівачі високого тиску; 20, 21 - розширювачі безперервного продування; 22 – теплообмінний апарат; 23, 26 – мережеві насоси; 24, 25 - мережеві підігрівачі; 27 - піковий водогрійний котел

Процес нагрівання води до температури кипіння, випаровування, перегріву насиченої пари, відбуваються в парогенераторі 1 при спалюванні в топці котла відповідної кількості палива. Перегріта водяна пара з потрібними параметрами надходить до парової турбіни, яка складається зі ступенів високого 3, середнього 4, низького 5 тиску. Відпрацьована пара після ступеня низького тиску надходить у конденсатор 7. Конденсат, який утворюється після відведення від пари теплоти, за допомогою конденсаторного насоса 8 прокачують через низький тракт тиску, який складається з групи підігрівачів низького тиску (11, 12, 13, 14), сальникового підігрівача, 10 та охолоджувача ежекційної пари 9. Підігрівачі низького тиску обігріваються парою з відборів турбіни. Сальниковий підігрівач призначений для утилізації теплоти низькопотенційних стоків D2 через лабіринтні ущільнення турбіни. Утилізація теплоти пари, яка потрібна на роботи ежекторів, відбувається у спеціальному теплообміннику - охолоджувачі 9. Призначення ежекторів в тепловій схемі ТЕС - створення необхідного розрідження в конденсаторі на момент запуску турбіни. Потоки, які змішуються в деаераторі 15, утворюють поживну воду, яка живильним насосом 16 через підігрівачі високого тиску 17, 18, 19 подається на вхід парогенератора.

Для утилізації теплоти продувної води у цій схемі використана двоступенева установка, до складу якої входять розширювачі безперервної продування 20, 21, теплообмінний апарат 22, призначений для підігріву додаткову воду. Воду з лінії продування після її охолодження теплообміннику 22 відводять в каналізацію. Відпуск теплоти для потреб опалення, вентиляції, гарячого водопостачання до водяних теплових мереж відбувається через мережеві підігрівачі 25, 24. При низьких температурах повітря догрівання води можна здійснювати також у піковому водогрійному котлі 27. Необхідний напір води в теплових мережах створюється мережевими насосами 23, 26.

Забезпечення теплом споживачів, розташованих у великих українських містах більшою мірою відбувається за рахунок централізованого теплопостачання. Централізоване теплопостачання є постачанням тепловою енергією багатьох

споживачів від великої котельні або теплоелектроцентралі (ТЕЦ). Зв'язок споживачів з генератором теплоти здійснюється за допомогою теплової мережі [7].

Централізоване теплопостачання, сформоване в містах радянської України, було досить вигідним і вдалим рішенням для своїх часів. Адже фактично тепла енергія для центральних систем міститься в теплій воді, яка утворюється як побічний продукт на електростанціях. Така комплексність дозволяла в своє зробити ціни на тепло досить низькими, але в наші дні такий підхід до опалення безнадійно відстав від світового рівня. Морально і фізично застаріли як джерела тепла (паротурбінні ТЕЦ), так і системи транспортування тепла до споживачів, які вимагають постійних ремонтів, а по справі - повної заміни. Більше того для перекачування теплої води від джерела до споживача необхідні значні витрати електроенергії. У теплі періоди опалювального сезону відбувається перетоп будівель, що наводить до необґрунтованих перевитрат на вироблення і передачу надлишок теплової енергії [9].

Загальна протяжність тепломреж України, за даними порталу Energy Map, на початок 2020 року становила майже 9346 км, із них реконструкції потребували близько 7334 км, або 78%. Через такий стан мереж тепловтрати в них становлять в середньому 13%, однак в окремих регіонах доходять до 40%. Зокрема, за інформацією, Energy Map, частка втрат тепла в Херсонській області становить майже 40%, у Луганській – 35%, у Львівській – 26,4%, в Києві, а також у Вінницькій області – 23,8%, в Чернігівській – 22,9%, в Черкаській – 22,7% [11].

У розвинених капіталістичних країнах розвиток теплофікації розпочав свою діяльність з парових систем теплопостачання. І досі найбільші з них функціонують в Нью-Йорку і Парижі. Тобто, повсякчас на більшості промисловостей працюють паропроводи і лише при похолоданні включають у роботу найменш економічні джерела. Такі самі принципи існують і сьогодні, коли бідували водяні системи централізованого теплопостачання в Данії, Швеції, Фінляндії, Німеччини. Усі вони працюють за допомогою кількісного регулювання, тобто коли настає похолодання збільшення навантаження компенсується за рахунок збільшення витрати теплоносія. Фактично температура в теплових мережах або фіксується (близько 110° С), або

ступінчато змінюється в діапазоні 100-110-120° С. Навіть у літній період підтримується температура більше 100° С для забезпечення роботи абсорбційних холодильних машин, перетворюють теплоту мережевої води на холод для систем кондиціонування будівель [12].

Кількісне регулювання дозволило масово використовувати схему спільної роботи ТЕЦ і котелень. При похолоданні спочатку збільшується витрата теплоносія від ТЕЦ, а потім запускаються котельні, що забезпечують відсутня кількість теплоносія, закачуючи його своїми насосами в загальну мережа.

У Радянському Союзі повсюдно було прийнято якісне регулювання, коли при слабо змінюваній витраті компенсація збільшення навантаження при похолоданні здійснюється збільшенням температури теплоносія (зазвичай з 70 до 150° С).

В умовах українського клімату вітчизняні системи тепlopостачання були дешевшими, ніж з кількісним регулюванням. Потрібен менший запас по діаметрах мереж, вдавалося здійснювати грубе ручне регулювання при повній відсутності автоматики в мережах і у споживачів.

Одним з істотних недоліків цього методу є складність використання пікових котелень. Додаткова витрата не потрібна і пікові котельні можуть використовуватися тільки для догріву теплоносія, того, хто надходить від ТЕЦ, для чого ТЕЦ і котельню доводиться з'єднувати виділеною тепломережею (без споживачів), а споживачів підключати до мереж після котелень. Така схема не отримала розвитку через дорожнечу і складності її виконання. Фактично пікові котельні розміщуються безпосередньо на території ТЕЦ. При цьому, на більшості ТЕЦ є істотні запаси теплової потужності, і пікові котли включаються тільки в найсильніші морози - досить теплової потужності парових теплофікаційних відборів турбін, теплота від яких обходиться набагато дешевше, ніж від пікових котлів [13].

Результатом такої нераціональної політики став сучасний стан ТЕЦ, котелень і теплових мереж. Більшість об'єктів вітчизняної теплоенергетики були зведені в роки радянського союзу. Експлуатація морально і фізично застарілих ТЕЦ, котелень і мереж веде до проблем, які пов'язані не тільки з зростаючою необхідністю ремонтів, часткової, а то й повної заміни найважливіших елементів на даних

об'єктах, але й з невдалими спробами експлуатувати застарілі об'єкти в сучасних реаліях.

1.2. Існуючі проблеми та заходи щодо вдосконалення систем централізованого теплопостачання

Фізичний знос котельного та турбінного обладнання ТЕЦ в середньому по Україні перевищив 60%. Через фізичний знос і старіння обладнання значна кількість енергоблоків ТЕЦ в найближчі роки буде працювати в підвищеній зоні ризику виникнення аварій.

Фізичний знос енергетичного обладнання більшості котелень України ще вище: за останніми даними він досягає 68%. В особливо поганому технічному стані знаходяться муніципальні котельні, прийняті від збанкрутілих промислових підприємств і організацій. Котельні, працюючі на газі, з котлами одиничною потужністю понад 4 Гкал/год мають досить високий ККД (до 87-90%). Значно гірші показники котелень, обладнаних котлами малої потужності [14].

Основні проблеми функціонування українських котелень і ТЕЦ складаються у наступному:

- 1) Високий фізичний знос та старіння обладнання котелень та ТЕЦ;
- 2) Суттєвий надлишок теплових потужностей джерел теплопостачання;
- 3) Невисокі ККД котлоагрегатів і, як наслідок, підвищені питомі витрати палива на виробництво теплової енергії;
- 4) Низька насиченість приладовим урахуванням споживання палива та/або відпуску теплової енергії в котельнях;
- 5) Порушення термінів та регламентів проведення робіт з налагодження режимів котлів;
- 6) Зниження якості палива, що викликає відмови в роботі котлів;
- 7) Низький рівень автоматизації котелень (відсутність автоматики або застосування непрофільної автоматики);
- 8) Відсутність (або низька якість) водопідготовки в котельнях;
- 9) Висока вартість палива для котелень і ТЕЦ;

10) Нестача та недостатня кваліфікація обслуговуючого персоналу котельень [15].

Заходи, створені задля вдосконалення систем централізованого теплопостачання, представлені на рис. 1.2.

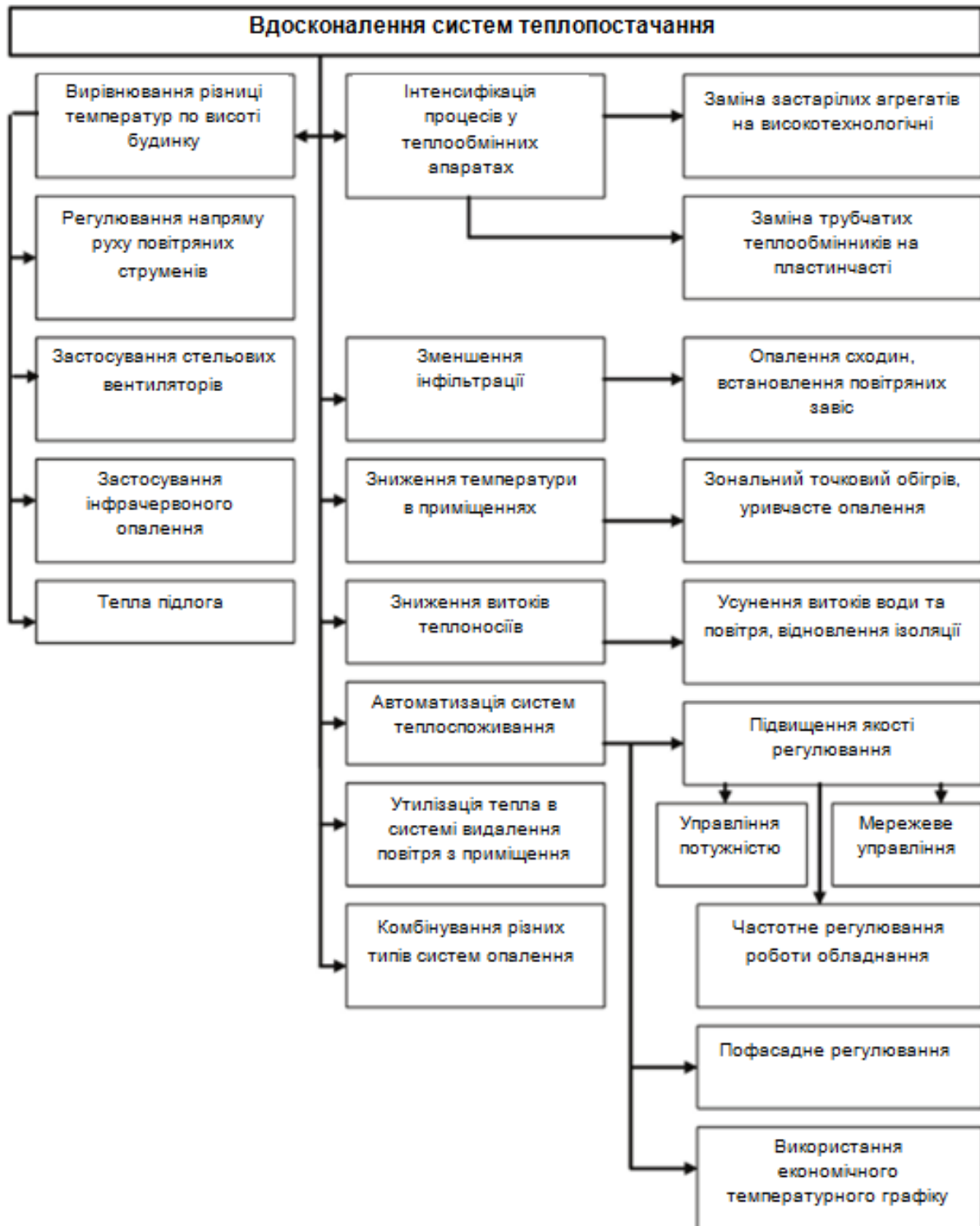


Рис.1.2 - Енергозберігаючі заходи при вдосконаленні систем централізованого теплопостачання

1.3. Сучасний стан теплових мереж України

У багатьох містах України втрати тепла через корродовані трубопроводи та відсутність (або виходу з ладу) ізоляції на окремих ділянках мереж досягають 40% та в середньому оцінюються 20%. Шлях зниження втрат один – планова заміна всіх труб теплових мереж на попередньо ізольовані у пінополіуретані. Трубопроводи прийшли в старий стан і в більшості міст навіть не піддаються гідравлічним випробуванням не тільки на тиск на 1,25 від робітника, але навіть на робочий тиск. І, як результат, підвищена аварійність у теплових мережах, при цьому вся встановлена в мережах запірна арматура морально та фізично застаріла і часом неможливо відключити окремі ділянки.

Теплові мережі розрегульовані. Більшість систем теплопостачання міст, особливо малих, працюють за нестійких режимів. Споживачі, підключені до мережі у найбільш віддалених точках від джерела тепла, не догріваються та, для забезпечення циркуляції, мережева вода із систем опалення зливається у каналізацію. Проводиться розробка оптимальних режимів з подальшим впровадженням та регулюванням теплової мережі з навчанням персоналу правильним методам експлуатації. Ця технологія вкрай необхідна, тому що припиняються скарги на незадовільне теплопостачання, і кожен споживач отримує стільки тепла, скільки йому необхідно.

Близько 50% всіх експлуатаційних витрат у системах теплопостачання України може бути віднесено на обслуговування теплових мереж. Для систем теплопостачання, які потрапили в зону високої ефективності централізованого теплопостачання, частка витрат на транспорт теплової енергії не перевищує 30-35% сумарних витрат у системах теплопостачання.

Технічний стан теплових мереж багатьох населених пунктів незадовільний: теплогідроізоляція відсутня, в осінньо-весняний період теплові мережі затоплюються водою, що призводить до збільшення втрат і підвищенню витрати палива; відсутність підготовки води в котельнях призводить до значної корозії і зниження довговічності. Відкладення з'єднань заліза на стінках трубопроводів призводять до зменшення пропускної здатності теплових мереж, перевитрати

палива та електроенергії. Багато мереж гідравлічно розрегульовані, оскільки дуже часто елементи системи теплових мереж не відповідають розрахунковим даним (діаметри розподільних мереж) або відсутні зовсім (дросельні шайби) [17].

Основні проблеми функціонування теплових мереж полягають у наступному:

1) високий рівень фактичних втрат теплової енергії в теплових мережах (за рахунок значного фізичного зносу і збільшення частки теплових мереж, потребують термінової заміни);

2) занижений (порівняно з фактичним) рівень втрат теплової енергії в теплових мережах, що включається в тарифи на теплову енергію. Цей фактор істотно знижує економічну ефективність витрат на реконструкцію теплових мереж;

3) високий рівень витрат на експлуатацію теплових мереж (до 50% всіх витрат у системах тепlopостачання країни);

4) значний ступінь фізичного зносу теплових мереж і, як наслідок, перевищення в ряді населених пунктів України критичного рівня частоти аварій та інцидентів;

5) порушення гідравлічних режимів теплових мереж (гідравлічне розрегулювання) і супутні цьому фактору «недотопи» і «перетопи» будівель;

6) нестача та недостатня кваліфікація персоналу для експлуатації теплових мереж, особливо на об'єктах систем тепlopостачання невеликих поселень [18].

Основні напрямки розвитку систем тепlopостачання:

- Максимальне наближення джерела енергопостачання до споживача для зменшення втрат під час транспортування.

- Застосування двотрубних теплових систем із встановленням у ІТП пластинчастих теплообмінників.

- Системи опалення для можливості індивідуального регулювання повинні виконуватись у двотрубному виконанні.

- Підвищення теплотехнічних властивостей конструкцій будівель, що захищають.

- Безканална зовнішня прокладка теплових мереж із попередньо ізольованих труб.

- Максимальна автоматизація технологічного устаткування.
- Застосування індивідуальних та групових засобів обліку споживання енергоресурсів.
- Підвищення рівня екологічного захисту довкілля. Гнучка паливна технологія застосування природного газу, вугілля, нафти та біомаси.

1.4. Висновки першого розділу

На основі аналітичних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Централізовані системи теплопостачання мають багато проблем. Висвітлено вітчизняний і зарубіжний досвід розробки та впровадження нових технологій у сектор енергетики для підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання.

2. Для підвищення ефективності вітчизняної теплофікації та централізованих систем теплопостачання в цілому необхідно вирішення наступних науково-технічних проблем:

- зниження теплових втрат у теплових мережах та підвищення якості та ефективності централізованого теплопостачання;

- економія енергоресурсів на промислових енергогенеруючих підприємствах.

3. Виходячи з цього, актуальним є питання підвищення ефективності централізованого теплопостачання шляхом використання обладнання, що працює на альтернативних джерелах енергії, а саме теплових насосів і вітроенергетичних установок.

РОЗДІЛ 2. ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ

2.1. Використання геліосистем в схемі централізованого теплопостачання

Розроблені схеми геліонагріву призначені для заміщення частини навантаження централізованої системи опалення. Основним недоліком існуючих схем спільної роботи геліоопалення та систем централізованого теплопостачання є те, що в них існує необхідність нагрівати теплоносії у сонячних колекторах до температури, що дорівнює температурі мережної води системи централізованого теплопостачання. Для виключення цього недоліку передбачається застосовувати сонячні колектори для нагрівання не прямої мережної води, як у стандартних системах, а для нагрівання частини зворотної мережної води, що йде через перемичку для змішування з прямою. Крім опалення, система геліонагріву застосовується для здійснення нагріву водопровідної води потреб гарячого водопостачання. Для найбільш ефективного використання потужності сонячних колекторів пропонується здійснювати нагрівання водопровідної води до (або після) першого ступеня підігрівача ГВП і при необхідності догрівати у верхньому шаблі, оснащена системою автоматичного регулювання температури. Для здійснення згладжування добових нерівномірностей надходження сонячної радіації передбачається використовувати бак-акумулятор, оснащений вбудованими теплообмінниками. Схема установки здійснює енергоефективний метод геліонагріву зворотної мережевої води у споживачів теплової енергії, обладнаних системами автоматичного регулювання, представлена на рисунку 2.1.

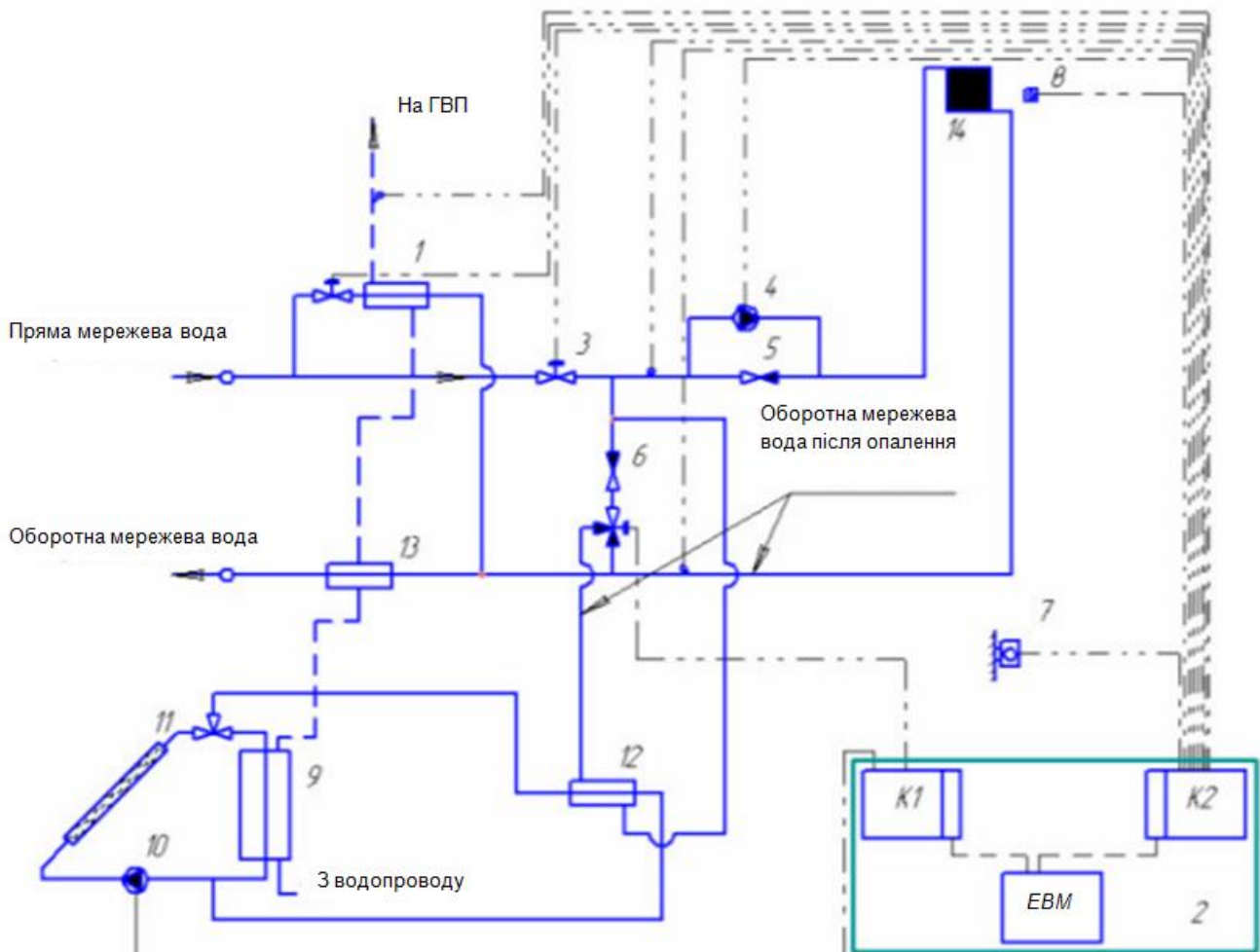


Рис.2.1 – Система геліонагріву оборотної мережевої води:

1 – верхня ступінь підігріву ГВП, 2 – блок управління (K1 – геліоконтуром, K2 – базовою системою), 3 – двошаровий клапан системи опалення, 4 – циркуляційний насос системи опалення, 5,6 – оборотний клапан, 7 – датчик температури зовнішнього повітря, 8 – датчик температури внутрішнього повітря, 9 – бак-акумулятор 10 – насос геліоконтур, 11 – сонячний колектор, 12 – проміжний теплообмінник, 13 – нижня ступінь підігрівача ГВП, 14 – система опалення споживача

Функціонування цієї установки здійснюється наступним чином. Проміжний теплоносії нагрівається у сонячних колекторах та віддає отримане тепло воді в баку-акумуляторі. За умови перевищення температури в баку-акумуляторі над температурою водопровідної води після першого ступеня підігрівача ГВП водопровідна вода проходить через бак і подається до другого ступеня з

температурою вище, ніж після першого. При умови перевищення температури в баку-акумуляторі над температурою зворотної мережної води дана вода проходить через вбудований в бак теплообмінник, де нагрівається і подається на змішування більшому обсязі для підтримки заданої температури мережної води в системі опалення.

Регулювання температури води на потреби ГВП та температури прямої мережної води в системі опалення здійснюється системою автоматичного регулювання залежно від її налаштувань, температури зовнішнього повітря та часу доби.

В даний час розроблено значну кількість різних схем використання енергії сонця в системах ГВП та водяного опалення. Опалення приміщень теплим повітрям на основі джерел теплоти різних типів дозволяє у багатьох випадках значно зменшити капітальні витрати та експлуатаційні витрати. Застосування геліонагріву з використанням сонячних колекторів різного типу в системах повітряного опалення дозволить значно підвищити ефективність таких систем, а також збільшити ступінь заміщення традиційних джерел теплоти. У таких системах нагрівається залежно від температурного режиму вода або повітря. Також може здійснюватися спільне нагрівання води для потреб ГВП та повітря для опалення. Оскільки наше кінцеве завдання – нагрівання повітря в приміщенні, то саме такі комплекси дозволяють досягти максимальної ефективності, виключивши ряд проміжних процесів та перетворень. Як джерело тепла вони можуть використовувати як тепло палива, що горить, так і тепло, одержуване сонячними колекторами.

Універсальність систем обумовлює широку сферу їхнього застосування: від будинку котеджного типу до опалення великих промислових приміщень та тепличних комплексів. Більшість переваг цієї схеми реалізується тільки при використанні в сонячних колекторах рідин, що незамерзають.

Нагрівання повітря можна проводити як у проміжному теплообміннику від рідини, нагрітої в колекторі, і безпосередньо в ньому. На рисунку 2.2 представлена схема використання теплоти сонця, що дозволяє поєднувати ці способи.

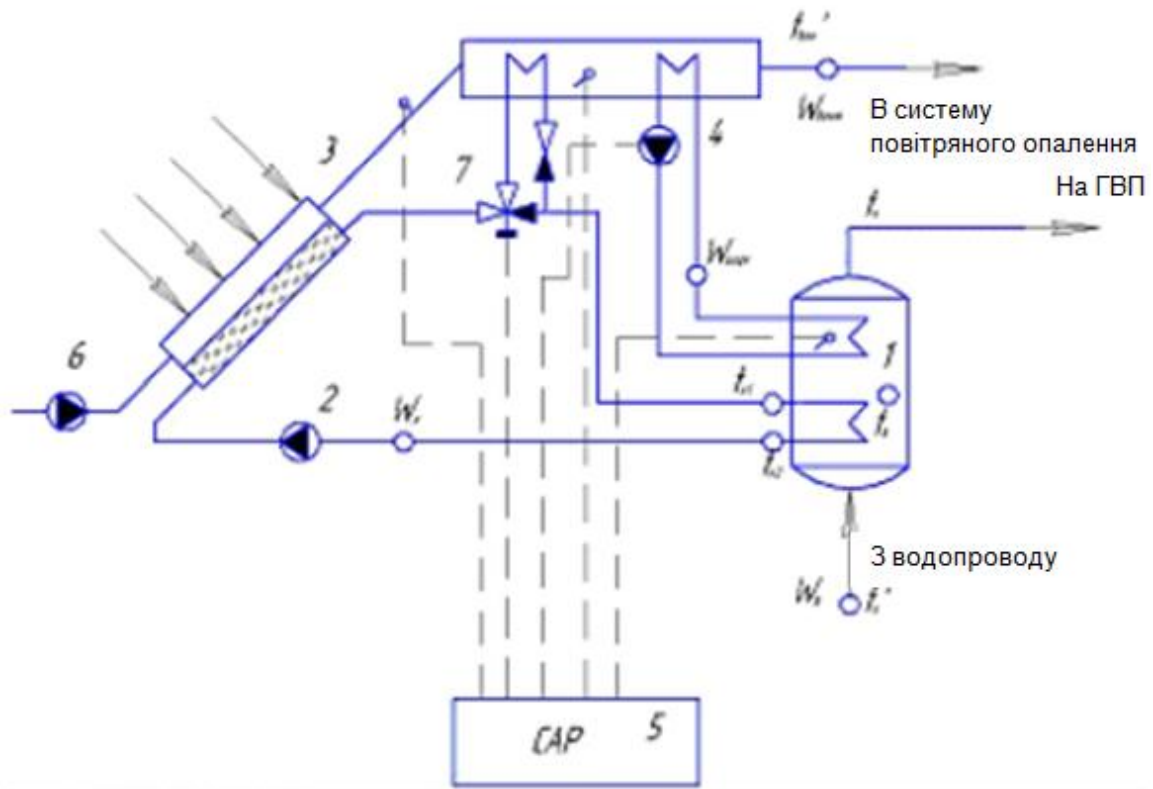


Рис.2.2 – Система геліоповітряного опалення:

1 – бак-акумулятор, 2 – насос геліоконтур, 3 – геліоповітряний сонячний колектор, 4 – калорифер, 5 – система автоматичного регулювання, 6 – вентилятор приточного повітря, 7 тришаговий клапан геліоконтур

Застосування даної схеми дозволить використовувати переваги повітряних систем опалення при впровадженні сонячних колекторів комбінованого типу (зі спільним нагріванням повітря та рідкого теплоносія), а також знизити температуру променевосприймаючої пластини і, як наслідок, втрати випромінюванням.

Для найбільш ефективного використання сонячної потужності колекторів передбачається здійснювати нагрівання водопровідної води після першого ступеня підігрівача ГВП і при необхідності догрівати у верхньому шаблі, оснащеної системою автоматичного регулювання температури. Для здійснення згладжування добових нерівномірностей надходження сонячної радіації передбачається використовувати бак-акумулятор, оснащений вбудованими теплообмінниками. Застосування даної схеми дозволить використовувати переваги повітряних систем

опалення при впровадженні сонячних колекторів комбінованого типу (зі спільним нагріванням повітря та рідкого теплоносія).

2.2. Застосування теплових насосів в системах теплопостачання

Тепловий насос-це пристрій, який може відбирати тепло від джерела з низьким потенціалом і передавати його споживачеві. Іншими словами, тепловий насос передає внутрішню енергію від джерела зі зниженою температурою до приймача з підвищеною температурою [21].

2-й принцип термодинаміки забороняє передачу енергії від менш нагрітого тіла до більш нагрітого, тому для приведення в дію теплового насоса необхідно використовувати зовнішню (приводну) енергію (рис.2.3).

Надійними компонентами будь-якого теплового насоса є джерело і приймач тепла. Джерело тепла - це енергоносіє, який забезпечує низькотемпературну теплову енергію для виконання робочого циклу теплового насоса. Теплоприймач - це енергоносіє, який отримує тепло від джерела за рахунок теплопровідності, конвективного теплообміну і (або) теплового випромінювання. Крім того, тепла енергія надходить до одержувача в переробленому вигляді, тобто не при низьких температурах, а при температурах, які можуть покрити теплові потреби споживачів.

Особливістю теплового насоса є те, що енергія, що подається на його роботу (енергія приводу), в кілька разів перевищує корисну теплову енергію, що виробляється їм. Ця особливість пояснюється тим, що фактично тепловий насос не виробляє теплову енергію, а подає її споживачеві від джерела.

Основними елементами теплового насоса є випарник, компресор, конденсатор і регулятор витрати (розширювальний клапан), з'єднані трубопроводом.

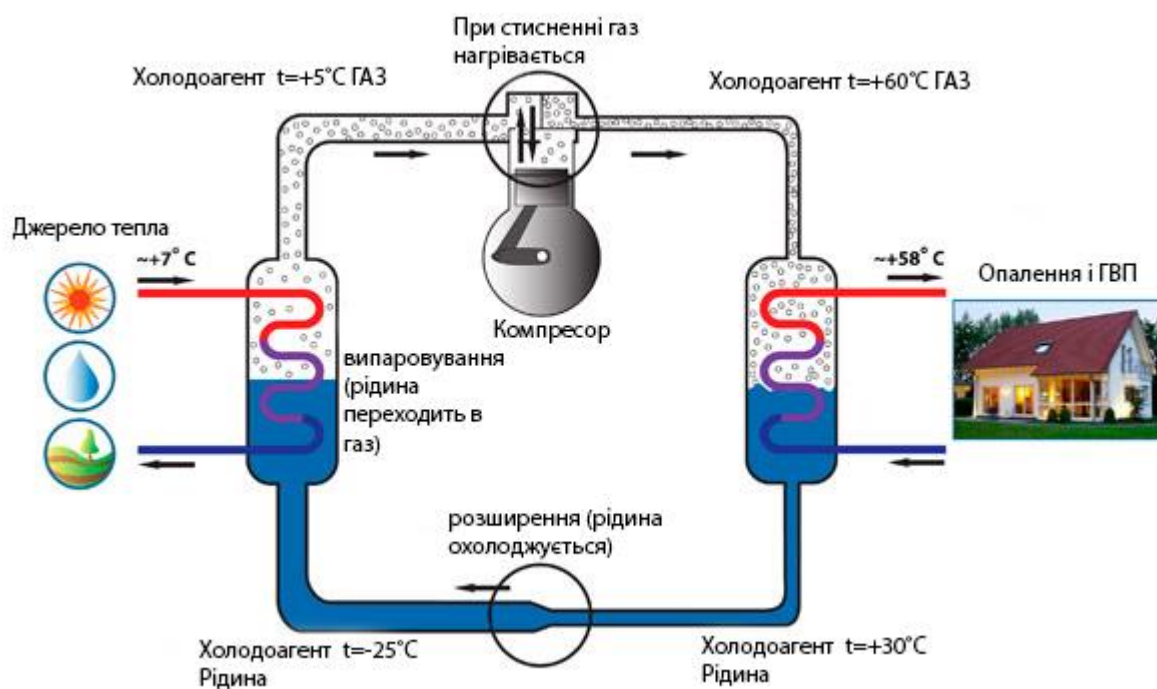


Рис. 2.3 – Принцип дії теплового насоса

Рідкий холодоагент забирає тепло з джерела з низьким потенціалом, а потім регулює тиск за допомогою розширювального клапана, який регулює подачу холодоагенту в випарник, забезпечуючи постійну розрахункову температуру кипіння. При кипінні холодоагент забирає тепло, що надходить з колектора, з навколишнього середовища. Газ, за допомогою якого обертається холодоагент, надходить в компресор, де він стискається і нагрівається, а потім виштовхується в конденсатор, який є ланкою відводу тепла теплового насоса. Тут тепло передається воді в системі опалювального контуру, а газ охолоджується і повертається в рідкий стан. Потім холодоагент відводиться до розширювального клапана і повертається в випарник. Потім робочий цикл повторюється.

Тепловий насос можна представити у вигляді системи з 3-х замкнутих контурів. У першому циркулює холодоагент, який збирає тепло навколишнього середовища, в іншому – холодоагент, який випаровується при низьких температурах, забирає тепло зовнішнього теплоприймача, а в третьому видаляється внутрішня схема системи опалення та гарячого водопостачання.

Зовнішній контур, наприклад, являє собою трубопровід, що веде до землі, колодязя або воді, по якому циркулює антифриз, що представляє собою незамерзлу рідину.

Природними джерелами потенційного тепла є ґрунт, скелі, озера, річки, океани і т.д. наприклад, вихід теплого повітря з системи вентиляції промислових підприємств, Технічна вода, яка використовується у виробничому процесі, і т. д. його можна назвати штучним джерелом низькопотенційного тепла.

Інші контури включають випарник, який взаємодіє із зовнішнім контуром, конденсатор, який взаємодіє з контуром опалення Системи, пристрій, що змінює тиск холодоагенту, Розширювальний клапан і компресор, а також пристрій для автоматичного управління тепловим насосом і всією системою опалення.

Третій-це опалювальний контур, який включає в себе традиційні радіатори і системи підігріву підлоги, бойлери для нагріву води і т. д.

Інтеграція відновлюваних технологій у мережі теплопостачання стає все більш привабливою для сприяння переходу енергії до декарбонізований сценарій [9, 12, 30]. Цьому переходу також сприяє використання теплових насосів у системах централізованого теплопостачання та охолодження, що забезпечує значно вищу ефективність порівняно з газовими котлами [14, 15].

Основне теплове навантаження централізованої системи теплопостачання покривають базовим джерелом теплоти, як якого використовують мережні підігрівачі теплофікаційних турбін ТЕЦ, а пікове теплове навантаження покривають автономним джерелом теплоти. Для забезпечення пікового навантаження можуть використовуватись теплові насоси.

При зниженні в магістралі, що подає, централізованої системи теплопостачання витрати мережної води, контрольованого датчиком витрати, нижче заданих величин автономне джерело теплоти використовують у як базовий. У цей час місцеву систему теплопостачання споживача відключають від подавальної та зворотної магістралей централізованої системи теплопостачання

Перевагою цих технологій є можливість залишати у роботі автономні джерела теплоти абонентів при аварійних ситуаціях на ТЕЦ та перебоях із

централізованим теплопостачання, що дозволяє захистити систему теплопостачання від замерзання та суттєво підвищити її надійність. У зимовий час така система дозволить скоротити втрати під час транспортування теплової енергії.

Система технічного водопостачання складається із трьох замкнутих контурів [18]:

1. Контур технічної води на теплообмінники замкнутих контурів охолоджувальної води обладнання та механізмів.

2. Замкнутий контур охолоджувальної води на охолодження обладнання та механізмів блоку.

3. Замкнутий контур охолоджувальної води охолодження механізмів.

Замкнений контур охолоджувальної води на охолодження обладнання та механізмів блоку призначений для подачі охолоджувальної води на повітроохолоджувачі генератора ПТ, на охолоджувачі ПТ, на теплообмінники станції вакуумування ПТ, на холодильники відборів проб води та пари блоку, на охолоджувачі конденсату блоків автономних конденсаторів, на охолоджувачі брудного конденсату, на охолоджувачі повітря електродвигунів водопідготовчої установки. Пом'якшена вода з температурою 45 °С надходить у теплообмінник, де її температура знижується до 35 °С. Охолоджена вода прямує назад у бак запасу води замкнутого контуру.

Замкнений контур охолоджувальної води охолодження механізмів призначений для подачі охолоджувальної води на охолодження підшипників літніх та зимових мережевих насосів (СНЛ, СНЗ) та охолодження олії в маслоохолоджувачах маслостанцій СНЗ контура подається до теплообмінників, де охолоджується до 30 °С, далі надходить на охолодження обладнання та механізмів, а потім повертається назад у баки.

Контур технічної води (охолоджувальної води) технічної води охолоджуючим середовищем є технічна вода, подана насосами з напірного циркуляційного водоводу на теплообмінники замкнутих контурів теплообмінників виробляється в зливний циркуляційний водовід. Крім того, в градирню надходить і циркуляційна технічна вода, що охолоджує конденсатор ПТ (рис. 2.4).

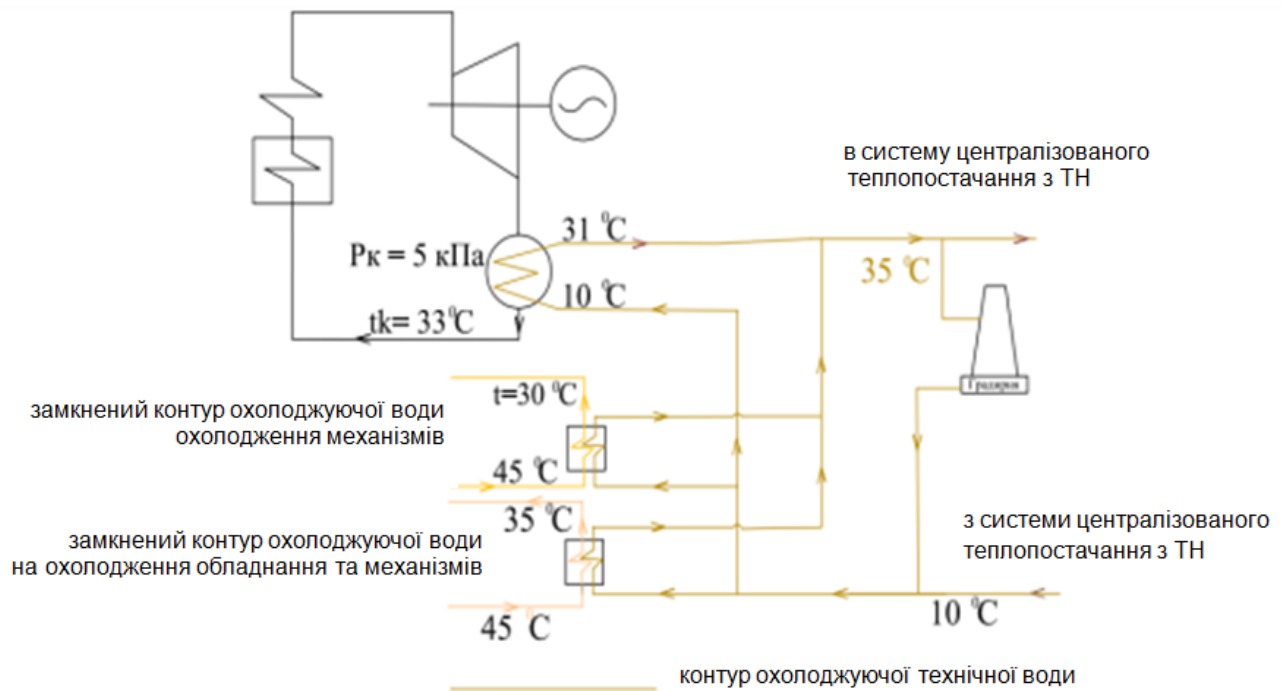


Рис.2.4 - Контури системи технічного водопостачання ТЕЦ

Запропоновано технічну воду з контуру охолоджувальної води з температурою 40°C минаючи градирню передавати в теплові пункти споживачів, а охолоджену в теплових насосах воду повертати назад (рис. 2.5).

Вода транспортується мережевим трубопроводом 1 до віддалених теплових пунктів, обладнаних компресійними тепловими насосами, працюючими на систему опалення (3) та гарячого водопостачання (4) споживачів. ТН використовує отриману теплоту як джерело низькопотенційної теплоти. На вхід випарника теплового насоса системи гарячого водопостачання переважно прямує вода побутових стоків споживача [17].

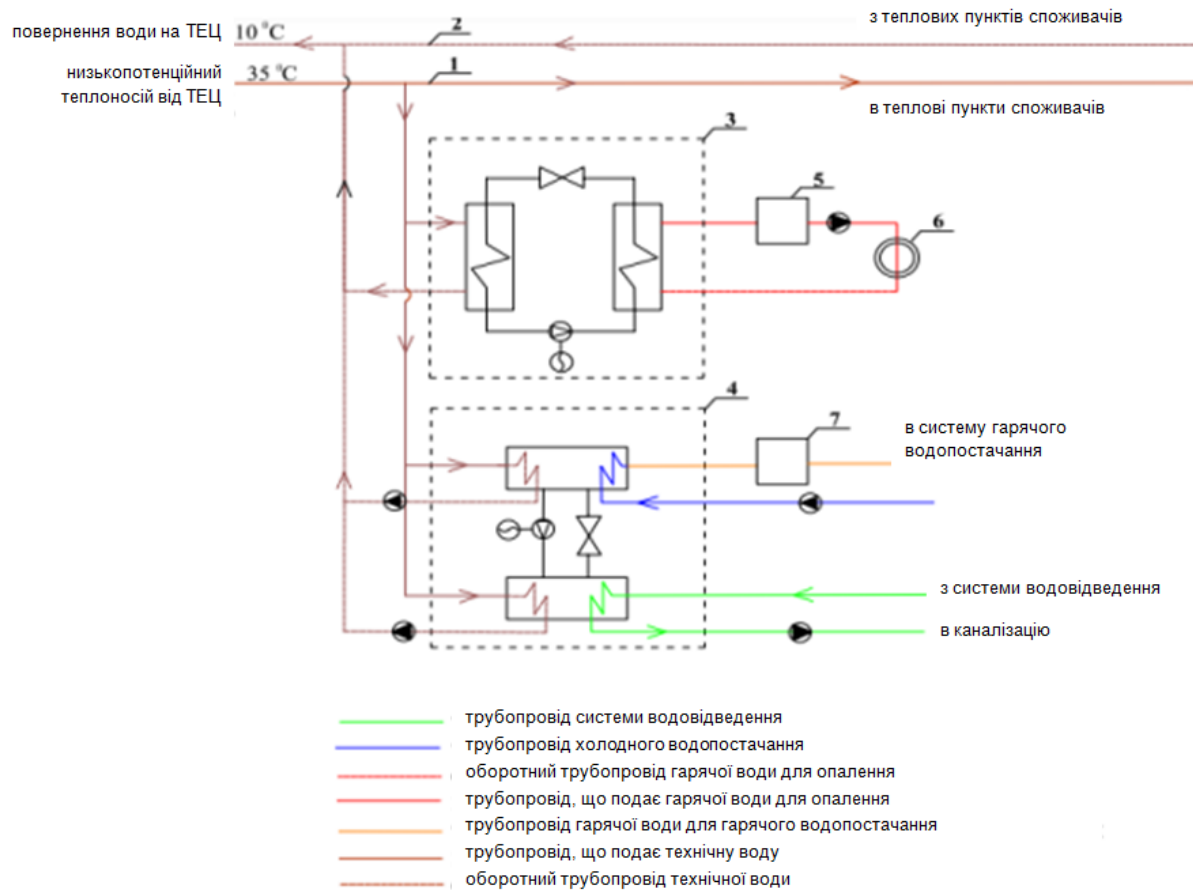


Рис. 2.5 – Система централізованого теплопостачання з тепловим насосом:
1, 2 - прямий та зворотний трубопроводи мережної води, 3, 4 - тепловий насос,
5 - бакакумулятор гарячої води системи опалення, 6 - споживачі теплоти, 7 -
бакакумулятор гарячої води

Технічним результатом є:

- забезпечення вимоги енергетичної безпеки в частині неприпустимість використання монопалива (газу) більше половини паливного балансу міст та регіонів;
- поліпшення екології як в містах, що обслуговуються, і в місцях розміщення ТЕЦ;
- покращення економічних показників електростанції за рахунок додаткового вироблення теплоти;
- збільшення частки використання низькопотенційних вторинних енергетичних ресурсів ТЕЦ

Найбільшу температуру має охолодна вода після маслоохолоджувача та газоохолоджувача генератора турбін. Використання джерела низькопотенційної теплоти з високою температурою сприяє збільшенню коефіцієнта трансформації теплового насоса, але витрати даного теплоносія достатньо лише для нагрівання води на потреби гарячого водопостачання чи нагрівання води перед ХВО із застосуванням теплових насосів. З урахуванням витрати для тепlopостачання районів міста, можна використовувати теплову потужність охолоджувальної води вакуумноконденсаційної системи.

2.3. Використання індивідуальних теплових пунктів

Враховуючи переваги і недоліки систем тепlopостачання, стає зрозуміло, чому компанії віддають перевагу найбільш ефективним на сьогоднішній день системам тепlopостачання - розподіленим системам.

Розподілені системи тепlopостачання вважаються більш надійними і якісними, хоча вибір палива для таких систем обмежений. Централізовані системи тепlopостачання також мають свої переваги і недоліки, але вони не в повній мірі відповідають сучасним вимогам по економічності і результативності експлуатації. Відсутність автоматизації не забезпечує достатньої надійності і якості системи тепlopостачання.

Недоліки відкритої системи тепlopостачання:

- Гаряча вода та опалення від 1 труби;
- Низька якість гарячого водопостачання;
- Складна і дорога хімічна очистка і водопідготовка на теплових електростанціях;
- Гаряча вода, що пройшла хімічну обробку, подається в кран;
- Централізоване управління тепlopостачанням (на теплоджерелі) і нестабільним режимом роботи теплової мережі ("перелив"/"недопотік").

Варіантами відключення системи тепlopостачання є ЦТП, ІТП (гаряче водопостачання) та ІТП (гаряче водопостачання разом з опаленням).

Індивідуальний тепловий пункт - це комплекс обладнання, призначений для підключення систем опалення, гарячого водопостачання та вентиляції будівель до теплової мережі, зміни температури і гідравлічного режиму теплоносія, вироблення теплової енергії індивідуальні теплові пункти є найважливішими елементами інфраструктури будівлі, що впливають на теплопостачання, гаряче водопостачання і вентиляцію будівель. а також холодне водопостачання, вентиляція та бухгалтерський облік. Встановлення індивідуальних теплових пунктів має такі наслідки, як підвищення енергоефективності, перехід на замкнуту систему теплопостачання та нову якість послуг теплопостачання.

У переліку робіт, які підпадають під програму капітального ремонту, необхідно передбачити індивідуальні теплові пункти як цілісні об'єкти. Поділ центральних теплових пунктів і перехід до індивідуальних теплових пунктів є однією з сучасних ефективних стратегій розвитку систем теплопостачання (рис.2.6).

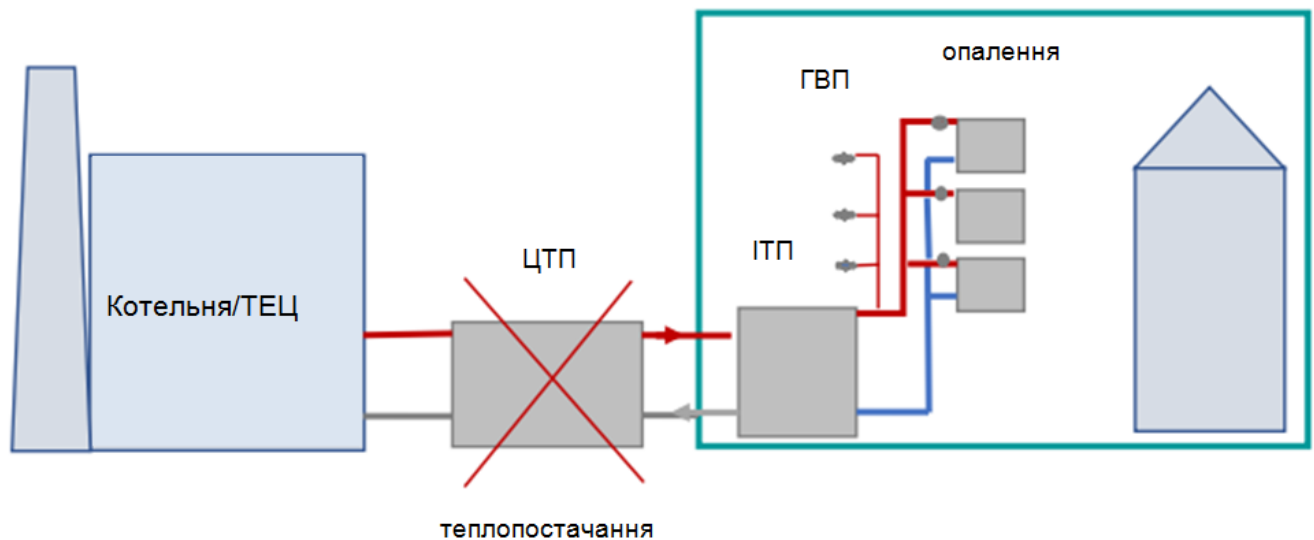


Рис.2.6 – Схема переходу на ІТП

Найновішими ІТП можна керувати віддалено через Інтернет або мобільний пристрій. Завдяки віддаленому моніторингу ви можете скористатися всіма перевагами централізованих систем контролю та управління. У разі збою в споживанні теплової або охолоджуючої енергії можуть бути прийняті негайні заходи. Це полегшує моніторинг рівня енергозбереження, тому ІТП може стати важливим інструментом планування для компаній-постачальників.

Переваги поділу центрального теплового пункту (СТР) (перехід до індивідуального регулювання в домашніх умовах):

- Зниження втрат теплоносія при розподілі, усунення втрат в мережі гарячого водопостачання (ГВП), що призводить до зниження витрат на паливо;

- Технічне обслуговування трубопроводу протяжністю в 2 рази (прочищення мережі гарячого водопостачання);

- Індивідуальне регулювання системи опалення будівлі дозволить знизити теплову потужність, споживану системою, як мінімум, на 15% (в порівнянні з автоматизацією центральних теплових пунктів) і призведе до підтримки комфортного температурного режиму.;

- Реалізація будівлі ТСК як об'єкта комерційної нерухомості;

- Економія коштів на капітальному ремонті ТСК;

- Економія коштів на обслуговуванні ТСК і його ремонті.

Ефект, отриманий при переході від центрального теплового пункту до індивідуального теплового пункту:

- 1) Зниження витрат після закінчення експлуатації центрального теплового пункту;

- 2) зниження витрат в кінці експлуатації мережі;

- 3) зниження споживання теплової енергії;

- 4) можливість отримання додаткових переваг за рахунок економії коштів;

- 5) усунення витрат на електроенергію в СТР;

- 6) зниження температури обробки (приблизно на 7°C);

- Зниження енергоспоживання, необхідного для перекачування (приблизно на 10%);

- Підвищення рентабельності продажів електроенергії;

- 7) збільшення тепловіддачі за рахунок виключення періоду відключення тепла через аварійну ситуацію;

- 8) усунення витрат на витік;

- 9) підвищення температури гарячої води.

При монтажі ІТР можна використовувати пластикові труби, які не схильні до корозії і служать довго, в порівнянні з металевими трубами в системах централізованого теплопостачання, при цьому якість води не змінюється і процес її очищення стає простіше. Системи теплопостачання з ІТП володіють високою маневреністю і безпекою, тривалим терміном служби, рівномірним розподілом тепла між споживачами, стійкістю до корозії і використанням недорогих матеріалів з мінімальними тепловтратами. Використання такої системи не тільки значно підвищує технічний рівень розподілу і споживання теплової енергії, а й сприяє економії паливних ресурсів в країні і їх раціональному використанню.

Переваги заміни центральних теплових пунктів індивідуальними тепловими пунктами для споживачів:

- Контролювати якість подачі гарячої води і оптимальний температурний режим, а також покращувати здатність до збереження тепла;
- Функціонування системи теплопостачання будівлі не залежить від тимчасового режиму мережевої компанії;;
- Зниження витрат на опалення (у разі попереднього переповнення);
- Підвищення якості холодного водопостачання (ОВКВ);
- Зниження темпів зростання платежів за теплопостачання;
- Відпадає необхідність в будівництві ТСК;
- Відсутність нерівномірного обігріву будівлі;

Індивідуальний тепловий пункт - це сукупність пристроїв, розташованих в ізольованому приміщенні (зазвичай в підвалі), що складається з елементів, що забезпечують підключення систем опалення та гарячого водопостачання до мережі центрального опалення. Теплоносій подається в будинок по підвідному трубопроводу [44]. За допомогою 2-го зворотного трубопроводу вже охолоджений теплоносій з системи надходить в котельню.

Схема підключення абонентів через індивідуальні теплові пункти показана на рис.2.7.

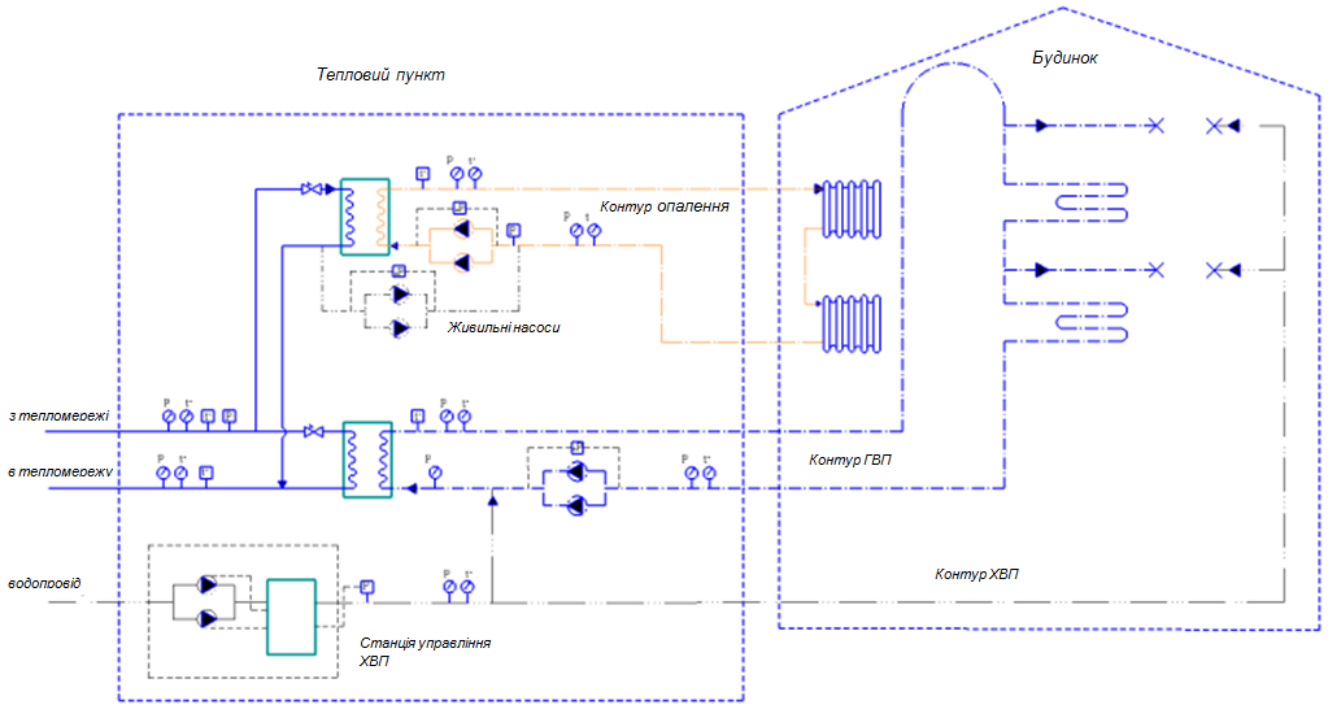


Рис.2.7 - Схема приєднання абонента через ІТП

У сучасних системах централізованого теплопостачання економія енергії досягається, зокрема, за рахунок контролю температури теплоносія, для чого корегується зміна температури повітря навколишнього середовища. Для цих цілей в кожній тепловій точці використовується набір пристроїв (рис. 2.8) забезпечують необхідну циркуляцію в системі опалення (циркуляційний насос) і контролюють температуру теплоносія (регулюючий клапан з електроприводом, контролер з датчиком температури).

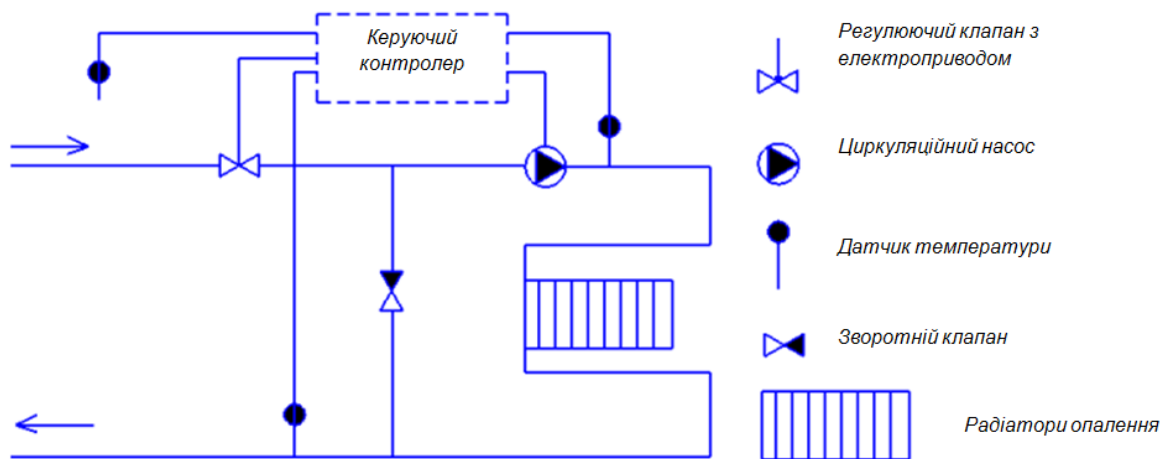


Рис.2.8 - Принципова схема ІТП

Більшість опалювальних станцій також оснащені теплообмінником для підключення до ГВП в парі з циркуляційним насосом. Комплект обладнання залежить від конкретного завдання і вихідних даних. Саме тому сучасні ІТП називаються модульними через різноманітність варіантів конструкції, а також їх компактності і транспортабельності (рис. 2.9).



Рис.2.9 - Сучасний модульний ІТП

В ІТР, де для підключення системи опалення використовується зовнішня теплова мережа, циркуляція теплоносія в контурі опалення підтримується циркуляційним насосом. Насос автоматично управляється за допомогою контролера або відповідного блоку управління. Автоматична підтримка необхідного температурного режиму в опалювальному контурі також здійснюється електронним блоком управління.

Регулюючий клапан, що розташований на подаючому з боку зовнішньої теплової мережі гарячу воду трубопроводі, який контролюється приладом (контролером). Між трубопроводом подачі та зворотним трубопроводом встановлений міст змішувача із зворотним клапаном, так що перемішування

здійснюється з лінії повернення теплоносія в трубопровід подачі з нижчими температурними параметрами.

В ІТР, де для підключення системи опалення використовується зовнішня теплова мережа, циркуляція теплоносія в контурі опалення підтримується циркуляційним насосом. Насос автоматично управляється за допомогою контролера або відповідного блоку управління.

Тому для вибору оптимального технічного рішення по оптимізації системи теплопостачання підприємства рекомендується розглянути деталі формування вищевказаної системи і прийняття найбільш ефективної системи теплопостачання з економічної і технічної точок зору.

2.4. Використання комбінованих теплогенеруючих установок

Найбільш перспективними для ефективного використання ТН є теплове навантаження і навантаження на систему гарячого водопостачання, коли тепло виділяється у вигляді гарячої води з відносно низькою температурою. У цих умовах ТН забезпечує значну економію палива.

Для роботи в системах централізованого теплопостачання і приведення в дію компресорів ТН парокомпресійного типу з досить великою механічною потужністю (більше декількох мегават) рекомендується використовувати газотурбінну установку (ГТУ). Це дозволяє плавно змінювати продуктивність компресора за рахунок плавної зміни числа обертів. У той же час тепло вихідної газової турбіни повинно використовуватися для нагрівання основної води [13].

Таким чином, комбінований опалювальний агрегат (КТУ)[3], що включає в себе газотурбінний двигун, водогрійний котел і парокомпресійний тепловий насос, є вельми перспективним для досліджень. Вихлопні гази газотурбінного двигуна надходять в додаткову камеру згоряння, використовуючи кисень, що міститься в цих газах, в якості окислювача, і при необхідності в цю повітряну камеру додається кисень. В котел-утилізатор надходить вода, що нагрівається конденсатором теплового насоса. Технологічна схема досліджуваної установки зображена на рис 2.10.

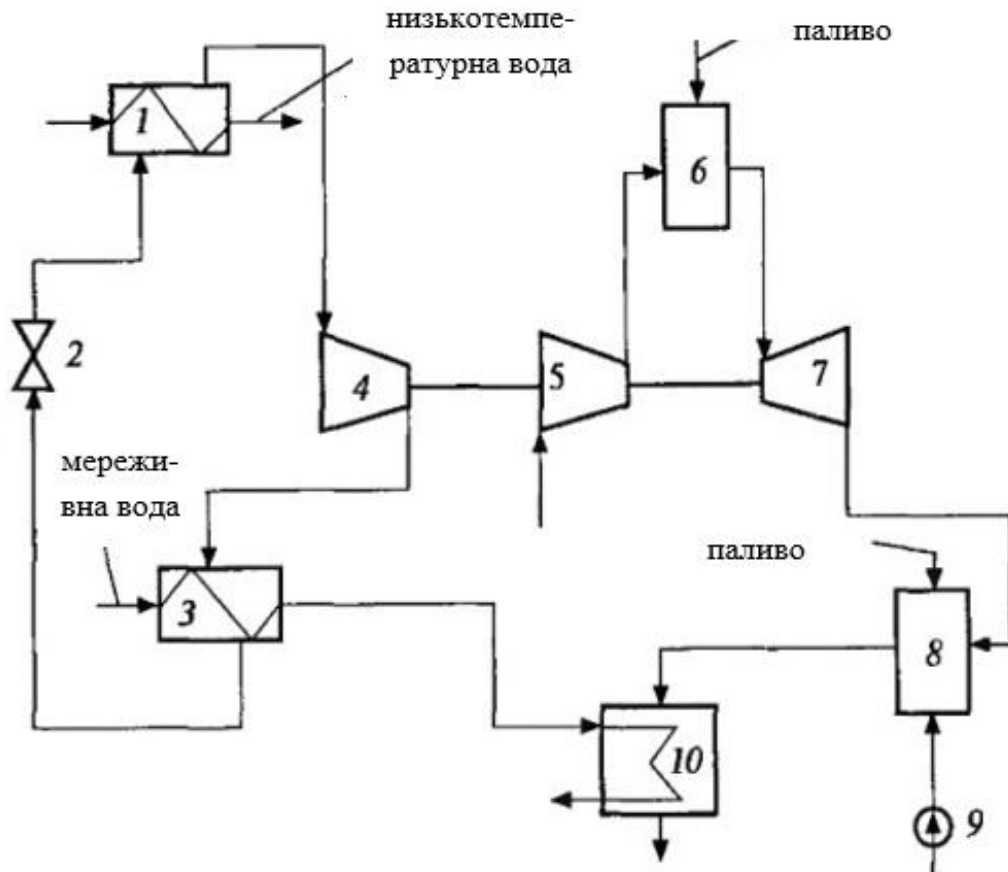


Рис.2.10 - Технологічна схема комбінованої установки

1 - випарювач теплового насоса; 2 - дросель; 3 - конденсатор теплового насоса,
 4 - компресор теплового насоса; 5 - повітряний компресор; 6 - основна камера згоряння;
 7 - газова турбіна; 8 – додаткова камера згоряння; 9 - повітрянагнітач;
 10 - водогрійний котел-утилізатор

Тепло від низькопотенційного джерела в випарнику 7 (наприклад, холодної води, якщо поблизу є працюючий резервуар) передається робочої рідини теплового насоса (фреону), яка при низьких значеннях тиску і температури перетворюється в пар і стискається в компресорі 4 зі збільшенням ентальпії і температура, обумовлена операціями стиснення. Після компресора пара високого тиску надходить в конденсатор 3, де конденсується при більш високій температурі і нагріває основну воду. Потім конденсат проходить через дросельний клапан, де тиск знижується, з частковим випаровуванням робочої рідини і зниженням її температури. Після відкриття дросельної заслінки холодоагент повертається у випарник. Основна вода,

нагріта конденсатором 3, надходить у водогрійний котел 10, який в кінцевому підсумку нагрівається до температури, необхідної споживачем. Установка газової турбіни складається з повітряного компресора 5, камери згоряння 6 і газової турбіни 7. Вихлопні гази з турбіни надходять в додаткову камеру згоряння 8, де при необхідності спалюється додаткове паливо. Далі продукти згоряння надходять у водогрійний котел 10, де нагрівається основна вода, після чого вони викидаються в атмосферу [36].

Однак недоліком даної системи є наявність в системі водогрійного котла і додаткової камери згоряння, в якій крім камери згоряння газотурбінного двигуна відбувається надмірне згоряння палива, що призводить до додаткових витрат палива і, як наслідок, до значного скидання палива. продукти згоряння потрапляють в атмосферу.

Розглянемо варіант удосконалення ГТУ, що підвищує енергоефективність централізованого теплопостачання та веде до зниження витрати палива.

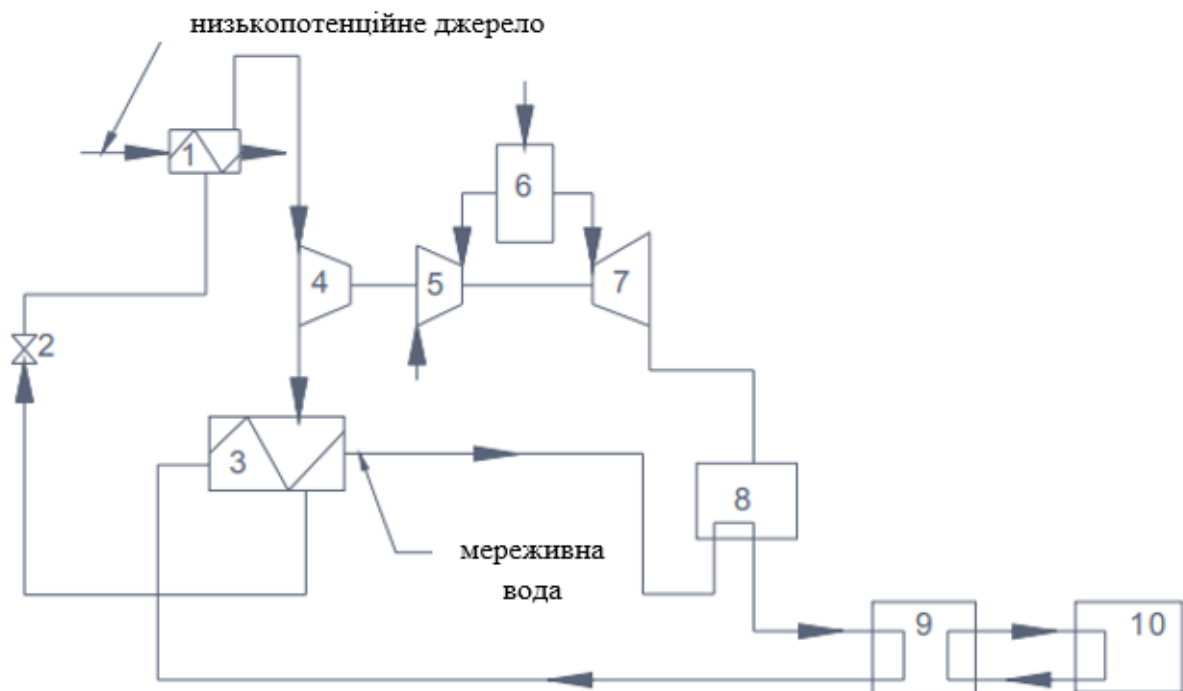


Рис.2.11 - Технологічна схема КТУ з віддаленим пунктом

1 - випарювач теплового насоса; 2 - дросель; 3 - конденсатор теплового насоса, 4 - компресор теплового насоса; 5 - повітряний компресор; 6 - основна

камера згоряння; 7 - газова турбіна; 8 - газомережний підігрівач; 9 - віддалений тепловий пункт (котельня, обладнана тепловим насосом); 10 – споживач

Принцип роботи установки полягає в наступному: в процесі нагріву основної води безпосередньо з теплової мережі від центрального теплового пункту до віддаленого теплового пункту вода нагрівається до температури близько 7°C в мережевому нагрівачі Gagas газом, що надходять з газової турбіни на 600°C . с, надходить у віддалений тепловий пункт 9, в нашому випадку в котельню, - це тепло основної води, воно перетворюється в роботу теплового насоса, який одночасно поглинається фреоном для випаровування. Потім фреоновий пар стискається компресором, надходить в конденсатор і віджимається. Крім того, в конденсаторі під час конденсації фреону він нагрівається до високої температури (в залежності від потреб споживача), яка використовується для нагріву внутрішньої магістральної води споживача, і її якісна регулювання може регулюватися роботою компресора теплового насоса, тиск в системі і вибір бажаного фреону [42].

Крім того, у відкритій системі теплопостачання охолоджена до $45\text{-}55^{\circ}\text{C}$ вода використовується в системі гарячого водопостачання, потім по зворотному трубопроводу змішується з підживлювальної холодною водою для подальшої циркуляції, охолоджена Магістральна вода прямої теплової мережі надходить в конденсатор 3 і нагрівається за рахунок тепла від поновлюваного джерела енергії, що відбирається випарником теплового насоса 1, вона нагрівається і підігрівається в компресорі 4, тим самим знижуючи витрати на нагрів води газом від газотурбінного двигуна.

Отже, при використанні даної технічної схеми досягається більш висока ефективність за рахунок відсутності котлів-утилізаторів і додаткових камер згоряння, в результаті чого досягаються викиди шкідливих речовин, що призводить до подорожчання. Крім того, знижуються тепловтрати в трубопроводі прямого водопостачання, в результаті чого знижується знос трубопроводу через низьку температуру циркулюючого теплоносія, а якісне регулювання води в блоці тепловим насосом дозволяє усунути проблеми "переливу" і "недостатній потік".

Недоліком даної системи можуть бути додаткові витрати на споживання електроенергії, при якій працює тепловий насос.

Основною метою реформи системи централізованого теплопостачання є скорочення споживання палива в муніципальному енергетичному секторі на 20-30%. Поставлені цілі можуть бути досягнуті наступними способами:

- Збереження і збільшення комбінованого вироблення електроенергії на основі споживання тепла як найбільш ефективного методу виробництва;
- Зниження втрат теплової енергії в транспортних комунікаціях;
- Підвищення ефективності регулювання розподілу теплової енергії великій кількості абонентів;
- Підвищення енергоефективності опалювальних будівель.

Діяльність енергетичних компаній, як і все інше, спрямована на отримання прибутку, але навіть в ринкових умовах виробництво тонкої енергії з виробленого продукту (енергії) має бути ідеально збалансовано з його споживанням. Саме споживач формує порядок отримання енергії.

Визнаючи, що тарифи на енергоносії відповідають ціні на паливні ресурси і вартості сучасного енергетичного обладнання, споживачі потребують доступному і достатній кількості необхідних товарів (наприклад, в той же час споживачам необхідно самим вирішити, опалювати чи сьогодні всю квартиру або тільки кімнату і кухню). Кількість продукції (енергії) для реалізації цих можливостей. Необхідно створити систему споживання тепла, яка дозволить покупцеві енергії самому вирішувати поставлене завдання.

Але вимоги споживачів теплової енергії не відповідають інтересам виробників енергії. Таке споживання теплової енергії порушує баланс між її виробництвом і споживанням. Теплова енергія виробляється в джерелі тепла, де витрачається паливо, і споживач має можливість відмовитися від вже вироблених товарів, які неможливо зберігати.

Розподілені системи теплопостачання широко використовуються в багатьох європейських країнах. У такій системі подача теплової енергії в квартиру в багатоквартирному будинку здійснюється від індивідуальних джерел, наприклад,

газових водогрійних котлів. Побутовий конденсаційний котел фірми "Wissmann" володіє ККД 95% і автоматично підтримує задану температуру повітря в опалювальному приміщенні, забезпечуючи значну економію палива. У такій системі теплопостачання регулювання подачі теплової енергії здійснюється шляхом відключення потужності котла.

Беручи до уваги досвід створення децентралізованих систем в європейських країнах, можна сформулювати завдання реформування системи централізованого теплопостачання України. Вона полягає в придбанні такої системи теплопостачання, яка поєднує в собі переваги як однієї системи, так і іншої.

В якості пропонованої системи теплопостачання традиційно може розглядатися варіант, що складається з джерела тепла, транспортних комунікацій і системи теплоспоживання, включаючи тпу.

Подача електричної енергії і криогенного теплоносія в ТНУ вимагає наявності системи споживання тепла в кількості, строго необхідному для підтримки заданої температури повітря в опалювальному приміщенні будівлі.

Як низькотемпературне тепло ТНУ, тепло, яке відводиться конденсатором від пари, витраченої на турбіні, і вважається тепловими відходами, може бути використано при виробництві електричної енергії в парових турбінах або на теплових електростанціях комбінованого циклу.

В даному випадку мова може йти про створення низькотемпературної системи теплопостачання на базі ТНУ з високоавтоматизованим регулюванням подачі тепла в систему опалення.

Використання ТН в системі опалення будівлі дозволяє підтримувати температуру повітря в опалювальному приміщенні в автоматичному режимі. В цьому випадку регулювання теплового навантаження здійснюється відповідно до температури повітря в приміщенні, а не зовнішнього повітря, як це відбувається в системах з погодним регулюванням.

2.5. Використання теплових насосів в поєднанні з вітряними електростанціями

Використання теплових насосів (ТН) в поєднанні з вітряними електростанціями (ВТУ) дозволить підвищити ефективність централізованого теплопостачання і заощадити енергоресурси для енерговиробничих підприємств.

Вітер має значний вплив на режим теплопостачання. Вітер, як відомо, є 2-м параметром після температури зовнішнього повітря, який визначає витрату тепла. Зі збільшенням швидкості повітряного потоку збільшується коефіцієнт тепловіддачі, що впливає на збільшення тепловтрат від опалювального обладнання та теплопровідних трубопроводів [21].

Основним параметром при створенні карти режимів теплопостачання є температура зовнішнього повітря, яка може не враховувати реальну картину споживання тепла. Коригування вітру здійснюється у вигляді постійного коефіцієнта для середньої розрахункової швидкості вітру в даному регіоні. При швидкості вітру, що перевищує розрахункову, встановлена температура води в магістральному водопроводі безпосередньо залежить тільки від температури зовнішнього повітря і не враховує додаткові втрати тепла, викликані примусовою конвекцією в результаті посилення вітру. Однак внесення змін в температурний режим прямого водопостачання викликає багато труднощів [19]. Це пов'язано з тим, що швидкість вітру непостійна і може сильно відрізнятись.

Відомо, що теплоспоживання будівлі при відсутності вітру і розрахунковій температурі зовнішнього повітря $T_{\text{вн}}$ становить близько 5% від теплоспоживання при розрахунковій швидкості вітру $V_{\text{р}}=80$ м/с.

Тому виникає потреба в технічних рішеннях, що дозволяють знайти способи регулювання температури магістральної води для центрального опалення з урахуванням такого важливого параметра, як вітер, який впливає на якість теплопостачання [18].

Для вирішення цих проблем теплопостачання в якості базового варіанту пропонується комбінована робота теплового насоса і вітроелектростанції.

Для цього абсорбційний тепловий насос повинен бути встановлений безпосередньо в ТЕЦ на лінії відведення охолоджуючої води з конденсатора парової турбіни для збору низькопотенційного тепла. Привід абсорбційного теплового

насоса використовує енергію вітру, перетворену вітроелектростанцією в теплову енергію. Вся енергія, що отримується в теплонасосному агрегаті, передається магістральної воді, яка йде на потреби тепlopостачання.

Для вирішення вище зазначених проблем у системах централізованого тепlopостачання пропонується використовувати комбіновану роботу абсорбційного ТН з ВЕУ, розташованих безпосередньо на теплоелектроцентралі (ТЕЦ) і включених до основного циклу. Для цього абсорбційний ТН встановлюється на лінії скидання охолоджувальної води з конденсатора парової турбіни для збору теплоти низького потенціалу. Як привід ТН використовується енергія вітру, перетворена на теплову за допомогою ВЕУ. Вся отримана енергія в ТН передається мережевій воді, що йде на потреби тепlopостачання. Можливі два варіанти застосування установки: підігрів прямої мережевої води (рис. 2.11) і підігрів зворотної мережевої води (рис. 2.12).

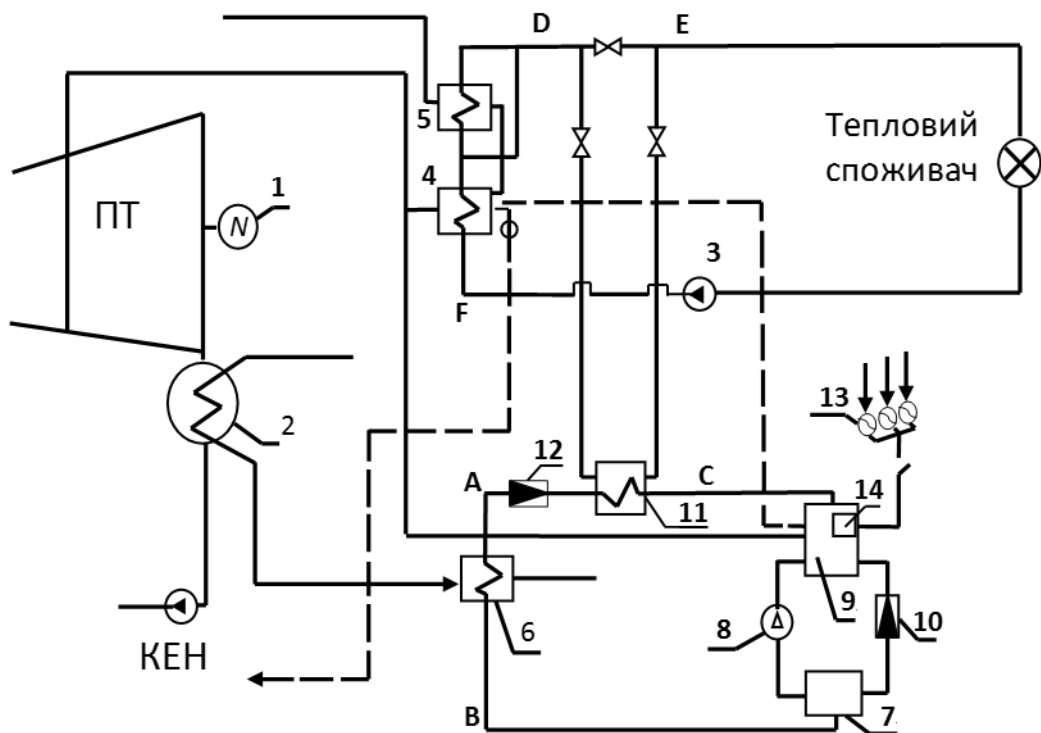


Рис.2.11 - Принципова схема КТУ при підігріві прямої мережевої води

1- електрогенератор; 2 - конденсатор парової турбіни; 3 - мережевий насос; 4 і 5 - мережеві підігрівачі; 6 - випаритель; 7 - абсорбер; 8 - насос; 9 - генератор ТН; 10 -

дросельний клапан; 11 - конденсатор ТН; 12 - дросельний клапан; 13 - вітроенергетична установка; 14 - електронагрівач;

Агрегат комбінованого теплопостачання працює наступним чином. Відпрацьований пар з парової турбіни 1 направляється в конденсатор 2 для конденсації і забезпечення теплом охолоджуючої води. Після конденсатора 2 нагріта охолоджуюча вода надходить у випарник теплового насоса 6, де вона віддає тепло холодній парі холодоагенту і потім викидається в навколишнє середовище. Нагріті пари холодоагенту направляються в абсорбер 7, де вони поглинаються поглиначем рідини при низькому тиску. Потім рідина насосом 8 перекачується в генератор 9, де тепло подається від електронагрівача 14, потужність якого являє собою струм, що генерується вітряною турбіною 13, в вітрогенераторі 9 пари холодоагенту випускаються з абсорбера і направляються в конденсатор 11, абсорбер надходить до дросельного клапану 10, а потім знову в абсорбер 7. У конденсаторі 11 пари холодоагенту віддають своє тепло прямій (зворотній) мережній воді (тобто воді, нагрітій в мережевих нагрівачах 4 і 5 парою з турбіни відбору). Потім холодоагент надходить до дросельного клапана 12, який призначений для зниження його тиску і температури [15,17].

При такій установці робота теплового насоса повністю залежить від швидкості вітру. В результаті Додатковий нагрів основної води може прямо залежати від швидкості вітру. Іншими словами, збільшення швидкості вітру обов'язково призводить до збільшення тепловтрат від теплотраси і поверхні опалювального будинку. Однак ці втрати компенсуються самим вітром, так як працює тепловий насос, який безпосередньо підвищує температуру води, що подається пропорційно збільшенню швидкості вітру.

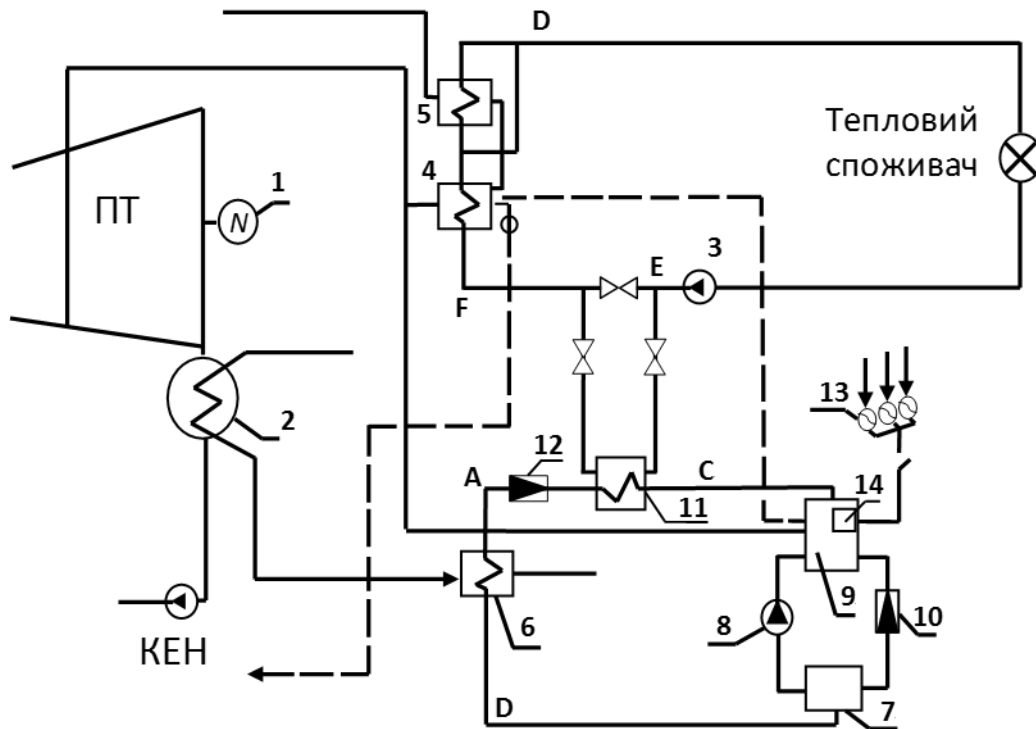


Рис.2.12 - Принципова схема КТУ при підігріві зворотної мережевої води
 1- електрогенератор; 2 - конденсатор парової турбіни; 3 - мережевий насос; 4 і 5 - мережеві підігрівачі; 6 - випаритель; 7 - абсорбер; 8 - насос; 9 - генератор ТН; 10 - дросельний клапан; 11 - конденсатор ТН; 12 - дросельний клапан; 13 - вітроенергетична установка; 14 - електронагрівач;

За відсутності вітру, щоб уникнути простого обладнання або виключити теплову інертність генератора, пропонується до генератора теплового насосу підвести додаткове теплове джерело у вигляді пари з теплофікаційного відбору парової турбіни. При низьких швидкостях вітру температура в генераторі теплового насоса за допомогою пари з відбору турбіни може підтримуватися на тому рівні, при якому тепловий насос буде віддавати необхідну кількість теплоти споживачеві.

Слід зазначити, що підігрів прямої мережевої води за допомогою комбінованої енергетичної установки (рис.2.10) має місце при якісно-кількісному регулюванні теплоспоживання. При підігріві зворотної мережевої води за допомогою комбінованої енергетичної установки (рис.2.11) від регулювання теплоспоживання непринциповий.

2.6. Висновки другого розділу

1. Застосування нетрадиційної енергетики в комбінації з традиційною дозволяє вирішити ряд складних питань, що виникають при їх роздільній роботі.

2. В даний час розроблено значну кількість різних схем використання сонячної енергії в системах гарячого водопостачання. Опалення приміщень теплим повітрям, засноване на різних типах джерел тепла, часто дозволяє значно знизити капітальні та експлуатаційні витрати.

3. Системи тепlopостачання з ІТР володіють високою маневреністю і безпекою, тривалим терміном служби, рівномірним розподілом тепла між споживачами, стійкістю до корозії і використанням недорогих матеріалів з мінімальними тепловтратами. Використання такої системи не тільки значно підвищує технічний рівень розподілу і споживання теплової енергії, а й сприяє економії паливних ресурсів в країні і їх раціональному використанню.

4. Застосування теплових насосів для потреб тепlopостачання економічно доцільно.

5. Враховуючи європейський досвід створення централізованих систем в, можна реформувати систему централізованого тепlopостачання в Україні використовуючи або створення ІТП, або застосування ТН, або за допомогою геліосистем чи об'єднуючи усі способи.

РОЗДІЛ 3. ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ

3.1 Аналіз методів гідравлічних розрахунків теплових мереж

При проектуванні та експлуатації теплових мереж гідравлічних розрахунок є однією з головних складових, що впливають на якість та надійність теплопостачання. У процесі експлуатації теплових мереж метою гідравлічного розрахунку найчастіше є визначення фактичних тисків і напорів у різних точках мережі з урахуванням фактичного стану трубопроводів і реальних навантажень споживачів.

У деяких випадках може бути поставлене також завдання визначення пропускної спроможності трубопроводів при відомому їх діаметрі та наявному натиску (перепад тисків).

В результаті гідравлічного розрахунку можна отримати інформацію:

- для визначення капіталовкладень, витрати металу (труб) та основного обсягу робіт із спорудження трубопроводів теплової мережі;
- для визначення характеристик мережевих циркуляційних та підживлювальних насосів, кількості насосів та їх розміщення;
- для з'ясування умов роботи джерел теплоти, теплової мережі та абонентських систем, а також вибору схем приєднання тепло споживаючих установок до теплової мережі;
- для вибору засобів автоматичного регулювання параметрів теплоносія в тепловій мережі на групових, місцевих теплових пунктах та на абонентських ввідів;
- для розробки режимів експлуатації систем теплопостачання.

При розробці розрахункових гідравлічних режимів слід виходити з умови забезпечення надійного теплопостачання споживачів, економічної та безпечної роботи обладнання та мінімальних витратах електричної енергії на перекачування теплоносія.

Гідравлічний режим визначається взаємозв'язком між витратою теплоносія та тиском у різних точках системи у певний момент часу.

При розробці гідравлічного режиму часто використовують лінійну одиницю тиску – натиск.

Гідравлічний розрахунок системи опалення ґрунтується на рівнянні:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \sum \Delta P_{\text{м}}$$

Де $\Delta P_{\text{л}}$ - лінійні втрати тиску, Па, спричинені силами тертя у трубах;

$\sum \Delta P_{\text{м}}$ - сума місцевих втрат тиску, Па, обумовлених зміною структури потоку (швидкості, напрямки, злиття) у фітингах, запірно-регулюючих пристрої та обладнання.

Втрати тиску на тертя визначають за формулою Дарсі:

$$\Delta P_{\text{л}} = \lambda \frac{l}{d} P_{\text{д}}$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного тертя; l і d - відповідно довжина та внутрішній діаметр трубопроводу ділянки системи опалення, м;

$P_{\text{д}}$ - динамічний тиск у трубопроводі, Па [70].

Під ділянкою системи опалення розуміють таку її частину, яка має однакову витрату теплоносія та постійний діаметр трубопроводу. У довжину труби ділянки, як правило, включають довжини фітингів і запірно-регулюючої арматури. Довжина обладнання (опалювальних приладів, теплообмінників, грязевиків і т.д.) оцінюється коефіцієнтом місцевого опору для кожного елемента системи.

З численних залежностей визначення коефіцієнта гідравлічного тертя у вітчизняній практиці застосовується формула Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{k_e}{d} \right)^{0,25}$$

В комп'ютерних програмах застосовують формулу Колбрука-Уайта:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k_e}{3,71d} \right)$$

Та її модифікований варіант:

$$\lambda = \left[-2 \lg \left(\frac{6,1}{Re^{0,915}} + 0,134 \frac{k_e}{d} \right) \right]^{-2}$$

де Re – число Рейнольдса; k_e - еквівалентна шорсткість, м.

При використанні сталевих труб рекомендується застосовувати формулу Альтшуля, труб з інших матеріалів – модифіковану формулу Колбрука Уайта.

Місцеві втрати тиску визначають за формулою Вейсбаха, Па:

$$\Delta P_m = \xi P_d = \xi \frac{\rho v^2}{2}$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору; v - середня за площею швидкість теплоносія, м/с; ρ - щільність теплоносія, кг/м³.

На основі вищенаведених залежностей існує кілька способів гідравлічного розрахунку, основними з яких є:

- за питомими лінійними втратами тиску;
- за характеристиками гідравлічного опору.

Обидва способи набули широкого застосування, як у вітчизняній, так і зарубіжної практики проектування. Єдиного підходу у поданні гідравлічних характеристик виробниками елементів системи опалення немає.

Тому при ручних розрахунках та розробці комп'ютерних програм використовують комбінування способів або адаптацію наявних гідравлічних характеристик під конкретний розрахунок.

3.2. Математичне моделювання гідравлічного режиму теплової мережі

Міські тепломережі є складними розгалуженими гідравлічними системами. При їх експлуатації частою проблемою стає недостатній перепад тиску між прямим і зворотним трубопроводом, підвищення тиску в зворотному трубопроводі, розрегульованість мережі у споживачів та ін.

Причинами зазначених проблем можуть бути підвищена витрата теплоносія, або недостатній діаметр трубопроводів, зменшення внутрішнього діаметра труб через відкладення на їх внутрішній поверхні [7]. Ефективним інструментом для найдостовірнішого визначення основних причин зазначених проблем, наявних у будь-якій конкретній тепломережі, є комп'ютерні моделі, які дають можливість відтворити гідравлічні та температурні режими роботи, розглядаючи тепломережі як єдині системи (з урахуванням будь-якої кількості внутрішніх кільцевих структур). У основі комп'ютерних моделей лежать дві умови: виконання балансу витрат, тобто рівності припливу та відтоку води в кожному вузлі та рівність нулю втрат напору при обході кожного кільця.

Цих співвідношень формально достатньо для побудови замкнутої системи рівнянь алгебри щодо невідомої витрати у гілках мережі та тиску в її вузлах. Зважаючи на квадратичну залежність напору від витрати з урахуванням коефіцієнта опору, система рівнянь виходить нелінійною.

Для вирішення таких систем застосовуються ітераційні методи з використанням комп'ютерів. При побудові моделі використовується повна інформація про об'єкт: довжина і діаметр трубопроводів, ступінь їх шорсткості, стан запірних арматур, позначки висоти розташування обладнання, витрата середовища в теплових камерах, характеристика насосного встаткування. Для максимального наближення комп'ютерної моделі до реальної теплової мережі виконується її верифікація використанням наявних експериментальних даних щодо витрати та тиску теплоносія в різних точках мережі. Відповідність створеної математичної моделі реальній системі тепlopостачання залежить від кількості експериментальних даних становить 1-3%.

Після виконання ідентифікації можна вважати, що комп'ютерна модель реальна теплова мережа (її еквівалент) побудована. Такі моделі дозволяють виконувати практично будь-які обчислення експериментів стосовно даної теплової мережі - визначати поточний стан щодо розподілу тиску швидкості та витрати в різних точках теплової мережі, знаходити дійсні причини недостатнього перепаду тиску і підвищеного тиску у зворотних трубопроводах, визначати ділянки, де відбуваються максимальні втрати напору. Важливою перевагою моделі є можливість проведення будь-яких змін у мережі з метою усунення наявних проблем (зміна діаметра трубопроводу, відкриття або закриття засувки, зміна характеристик насосів, можливість підключення додаткових навантажень на ділянках мережі). Модель дозволяє оцінити можливість тепломережі прийняти додаткове навантаження, а також виконати проектування нових ділянок чи теплових висновків. мережі, що дозволяє оперативно вживати заходів зміни поточного режиму, а також вибрати найкращі варіанти реконструкції теплової мережі [10].

В даний час створено численні програми, що дозволяють моделювати гідравлічні режими у теплових мережах. Принципово ці програми вирішують три взаємозалежні завдання:

- виконують гідравлічні розрахунки мережі у певному розрахунковому режимі;
- розраховують на підставі гідравлічних розрахунків у цьому режимі діаметри отворів у дросельних пристроях, які мають бути встановлені на абонентських вводах;
- виконують розрахунки гідравлічних режимів роботи мережі у поточному режимі, тобто в умовах, що відрізняються від розрахункових.

У розрахунковому режимі кожен абонент має отримати витрату води у повному відповідно до свого теплового навантаження. Після виконання налагоджувальних розрахунків передбачається, що дросельні пристрої «встановлені» в відповідно до умов роботи мережі у розрахунковому режимі, тобто. мережа віртуально налагоджено. Потім можна моделювати будь-який поточний режим роботи мережі відрізняється від розрахункового режиму положенням

запірної арматури, кількістю підключених абонентів, новими режимами роботи мережевих насосів та ін.

Для отримання повністю достовірних результатів гідравлічних розрахунків необхідно створити таку комп'ютерну модель мережі, реакція якої на будь-які зміни режимів роботи точно відповідає реакції на ці ж зміни моделюваної мережі.

Повністю завдання може бути вирішено лише за виконання низки умов:

- відповідність фактичних витрат тепла на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання кожного споживача витрат, введених у модель через його опис;

- наявність технічних характеристик ділянок трубопроводів моделюваної мережі (діаметрів, товщини стінки та шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводів), отриманих на підставі вимірювань витрат та тисків води у характерних точках мережі.

На підставі цих даних формується опис цих ділянок моделі. Модель дозволяє досить точно прогнозувати режим роботи моделюється мережі при введених вихідних даних. У цьому випадку з'являється можливість провести теоретичний аналіз роботи мережі, що моделюється, виявити її недоліки чи переваги, побачити якщо не кількісну, то принаймні мірою, якісну реакцію мережі зміну режимів роботи. Однак на практиці зустрічаються теплові мережі, для яких вибір розрахункового режиму далеко не однозначний, а, отже, і результати налагоджувальних розрахунків можуть бути різними. До таких мереж належать системи централізованого тепlopостачання (СЦТ) великих муніципальних об'єднань.

3.3. Висновки третього розділу

1. Гідравлічний розрахунок є однією з головних складових, що впливають на якість та надійність тепlopостачання.

2. Ефективним інструментом для найдостовірнішого визначення основних причин зазначених проблем, наявних у будь-якій конкретній тепломережі, є комп'ютерні моделі, які дають можливість відтворити гідравлічні та температурні

режими роботи, розглядаючи тепломережі як єдині системи (з урахуванням будь-якої кількості внутрішніх кільцевих структур).

3.У основі комп'ютерних моделей лежать дві умови: виконання балансу витрат, тобто рівності припливу та відтоку води в кожному вузлі та рівність нулю втрат напору при обході кожного кільця.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ СПОСОБУ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Впровадження теплонасосної установки індивідуального теплового пункту вирішує цілий ряд проблем. По-перше, необхідно транспортувати високотемпературний теплоносій на велику відстань від джерела тепла до споживача, так як до сих пір з усіх українських джерел тепла низькопотенційний теплоносій з температурою 30-350°з подається в індивідуальні пункти обігріву за допомогою теплового насоса. В цьому випадку втрати тепла по трубопроводу значно знижуються, тим самим досягається економія палива джерела тепла.

По-друге, можна буде використовувати пластикові труби для систем теплопостачання, стійких до корозії і мають тривалий термін служби. При транспортуванні води по таких трубах її якість не погіршується, а процедура очищення води в котельнях і теплових електростанціях може бути спрощена.

Корисне використання тепла, що відводиться від конденсаторів парових турбін в ТН, підвищує паливну економічність, перетворюючи ТЕЦ в практично безвідходне виробництво.

Немає необхідності в будівництві центрального теплового пункту. Його основне призначення-розподіл теплової енергії по квартальних тепломережах і контроль середньої температури в цих мережах.

Проблема нерівномірного обігріву окремих будівель усунена, і всі споживачі, оснащені теплові пункти з тепло насосними агрегатами, матимуть однакові параметри теплоносія на вході абонента.

Використовуючи установку теплового насоса, ви можете усунути інерційність централізованої системи теплопостачання і підвищити якість регулювання температури в опалювальному приміщенні.

Таким чином, система теплопостачання з оновленими індивідуальними тепловими пунктами від ТН володіє наступними перевагами:

- Максимальна маневреність;
- Безпека;

- Висока надійність і термін служби;
- Мінімальні втрати тепла в чотири рази;
- Зниження експлуатаційних витрат;
- Рівномірний розподіл теплової енергії між споживачами;
- Можливість використання недорогих нез'язаних матеріалів для виготовлення трубопроводів;

Впровадження такої системи не тільки значно підвищить технічний рівень розподілу і споживання теплової енергії, а й призведе до економії паливних ресурсів в країні і їх раціонального використання.

4.1. Оцінка ефективності системи тепlopостачання

Системи тепlopостачання населених пунктів переглядаються та актуалізуються з урахуванням зміни навантажень споживачів. Проекти актуалізованих систем тепlopостачання обговорюються на публічних слуханнях. Для затвердження схем централізованого тепlopостачання пропонується методика оцінки її ефективності, в основі якої лежить твердження, що із зменшенням витрат паливо-енергетичних ресурсів на вироблення та транспортування теплової енергії ефективність системи тепlopостачання зростає. Ефективність оцінюється чисельним значенням на основі чотирьох груп факторів (технологічних, експлуатаційних, екологічних та економічних) з урахуванням їх значимості.

1. Технологічні чинники

До технологічних факторів віднесемо показники, пов'язані з характеристиками матеріалів труб, компенсаторами, гідро- та теплоізоляцією, витратами енергоресурсів.

В даний час поширені такі матеріали теплових мереж:

- сталеві труби з ППУ або ППМ тепловою ізоляцією;
- гнучкі гофровані труби з нержавіючої сталі з ППУ ізоляцією, з ППР ізоляцією;
- гнучкі полімерні труби з тепловою ізоляцією;
- хризотилцементні труби з теплостійкими кільцями.

На розрахункову товщину стінки трубопроводу впливають такі показники:

- корозія та знос (за нормами проектування з урахуванням розрахункового терміну експлуатації);
- навантаження на одиницю довжини трубопроводу від ваги ґрунту та продукту, заповнює трубу;
- навантаження на одиницю довжини трубопроводу від ваги труби та ізоляції;
- номінальна допустима напруга при розрахунковій температурі стінки, Па.

Номінальна допустима напруга залежить від характеристики міцності металу при розтягуванні, запасу міцності, умовної межі плинності металу, умовної межі тривалої міцності при розтягуванні, умовної межі повзучості при розтягуванні, що допускається напруги розтягування – стиснення, відносного подовження, межі міцності на зсув і т.д.

Застосування теплових насосів веде до зростання споживання електроенергії, але скорочення споживання теплоти. Для співвідношення різних величин пропонується перекласти всі витрати енергоресурсів на вироблення та передачу теплової енергії в тонни умовного палива та оцінити питоми споживання енергоресурсів на 1 Гкал споживаної енергії:

$$b = \frac{Q_{\text{туп}} + N_{\text{ТН}}}{Q_{\text{рік}}}$$

де $N_{\text{ТН}}$ - річне споживання електричної енергії тепловими насосами та мережевими насосами, т.у.т.;

$Q_{\text{рік}}$ – річне споживання теплової енергії споживачами, Гкал;

$Q_{\text{туп}}$ - річне споживання теплової енергії від ТЕЦ з урахуванням втрат у теплових мережах, т.у.п.

2. Експлуатаційні фактори

- *питома витрата теплоносія*: середньогодинна витрата мережевої води в трубопроводі, що подає системи тепlopостачання, т/год, з урахуванням різної витрати на ділянках та розгляду різних конфігурацій теплової мережі, віднесеної до одиниці відпущеної теплової енергії.

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot L_i}{\sum_{i=1}^n L_i}$$

де G_i - витрата теплоносія на ділянці, т/год;

L_i – довжина ділянки, м;

n - кількість ділянок;

- *втрати тиску на головній гілці теплової мережі:*

$$P = \sum_{i=1}^m P_i^r \cdot L_i^r, \text{ Па}$$

де P_i^r - втрати натиску на i ділянці, що входить у головну гілку, Па/м;

L_i^r - довжина i ділянки, що веде в головну гілку, м;

- *питома витрата електричної енергії на транспортування теплової енергії,*

кВт·год/Гкал:

$$E_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{тр}}}{Q_p}, \text{ кВт} \cdot \text{г/Гкал}$$

де $N_{\text{тр}}$ - витрати електроенергії на транспорт теплоносія, кВт · год;

Q_p – річне споживання теплової енергії споживачами, Гкал;

– *відносна частка втрат теплової енергії через ізоляцію теплової мережі:*

$$q_{\text{вт}} = \frac{Q_{\text{вт}} \cdot n}{Q_p}$$

де $Q_{\text{вт}}$ - годинні теплові втрати за проектними нормами теплових втрат для середньорічних умов функціонування теплової мережі, Гкал/год;

n – кількість годин опалювального періоду, година;

- *частка втрат теплової енергії з витоками теплоносія від річного споживання теплової енергії:*

$$q_{\text{вит}} = \frac{Q_{\text{вит}}}{Q_p}$$

де $Q_{\text{вит}}$ – нормативні значення річних технологічних теплових втрат витіканням теплоносія із трубопроводів теплових мереж, Гкал;

- *питоме теплове навантаження на один кілометр траси теплових мереж:*

$$Q_L = \frac{Q_p}{\sum_{i=1}^n L_i}, \frac{\text{Гкал}}{\text{год}} / \text{км}$$

- різницю температур води в прямому та зворотному трубопроводі:

$$\Delta t = \tau_1 - \tau_2, \text{ } ^\circ\text{C}$$

де τ_1, τ_2 - розрахункова температура теплоносія в прямому та зворотньому трубопроводах, $^\circ\text{C}$.

3. Екологічні чинники

Велике місто при розвитку інфраструктури та будівництві нових будівель, житлових та промислових районів постійно збільшує довжина інженерних комунікацій. У межах міста трубопроводи прокладають підземне, що робить сильний техногенний вплив на геологічне середовище, змінює її характеристики. Трубопроводи теплових мереж, що мають високу температуру, надають на ґрунти теплову дію, а втрати теплоносія з витокami підвищують рівень ґрунтових вод, як наслідок змінюється геологічна обстановка, деградація рослинного та ґрунтового покриву. Крім того з урахуванням вимог щодо умов експлуатації в технічних зонах теплотрас видаляється рослинність. Основною причиною пошкоджень трубопроводів теплової мережі є корозія металу. А ліквідація майже половини всіх пошкоджень на трубопроводах пов'язана з проведенням земляних робіт (розкопок). Витоки теплоносія, що виникають під час експлуатації теплових мереж, змінюють геохімічну та гідрогеологічну обстановку у зоні прориву трубопроводу, провокуючи розвиток процесів підтоплення.

Збільшення витрати теплоти у зв'язку з втратами при транспорті викликає необхідність збільшення обсягів палива, що спалюється, а як наслідок, та викидів димових газів.

Також необхідно врахувати необхідність утилізації матеріалів, які застосовуються при будівництві теплових мереж: металу, пластику та старої ізоляції.

4. Економічні чинники

В економічних показниках необхідно врахувати витрати на трубопроводи та компенсатори:

- *питомі капітальні вкладення в теплову мережу:*

$$KB_{\text{пит}} = \frac{KB}{Q_p}$$

де KB – капітальні вкладення теплової мережі, тис. грн.

- *питомі експлуатаційні витрати у теплову мережу:*

$$EK_{\text{пит}} = \frac{EK}{Q_p}$$

де EK – річні експлуатаційні витрати на ремонт та обслуговування теплової мережі, тис. грн.

- *питома матеріальна характеристика, м·м/(Гкал/год):*

$$M_Q = \frac{\sum_{i=1}^n M}{Q_p}$$

M - матеріальна характеристика теплової мережі – сума добутку зовнішнього діаметра трубопроводу та довжини окремих ділянок теплової мережі, м·м.

4.2. Економічна ефективність впровадження ТН в схему централізованого теплопостачання

Енергетичний аналіз системи підключення складного обладнання до контуру ТЕЦ показав, що збільшення енергетичної ефективності після включення комбінованої установки для нагріву робочої води не відповідало традиційному опаленню на ТЕЦ.

Коли тепла установка працювала відповідно до графіка опалення при включенні до складу ТЕЦ для підігріву зворотної мережної води, підвищувався енергетичний ККД в порівнянні зі звичайним виробництвом тепла на ТЕЦ, в той же час на висновках парової турбіни було отримано додаткове збільшення генерується потужності $N_e=0,6$ МВт генератор.

Зниження загальної витрати гарячої пари на одну турбіну спостерігається, якщо до складу ТЕЦ включити КТУ з теплопродуктивністю для нагріву зворотної

магістральної води при роботі з постійним електричним навантаженням. У той же час, коли теплове навантаження парогенератора було знижено на 5,9 МВт, загальний витрата палива знизився на 0,1 кг/сек, а підвищення ефективності вироблення тепла склало 1% в порівнянні зі звичайним виробництвом тепла на теплових електростанціях.

Робота, що витрачається в циклі КТУ, обернено пропорційна температурі стічних вод з конденсатора парової турбіни і абсолютній температурі нагріву основної води в тепловому насосі. На рис. 4.1 представлено графік залежності $\eta_{ex}^{ТЭЦ+КТУ} = f(T_{с.в.вих})$,

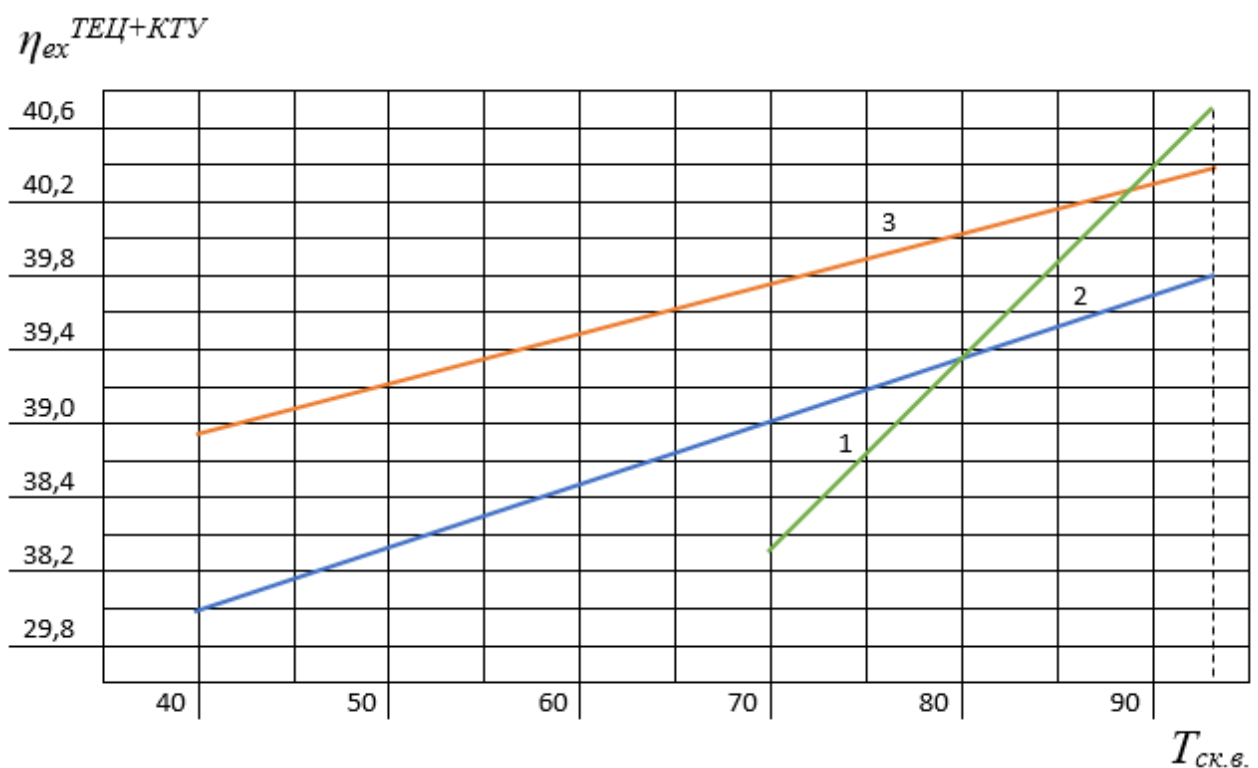


Рис.4.1 – Залежність $\eta_{ex}^{ТЭЦ+КТУ} = f(T_{с.в.вих})$, при $T_{ск.в.} = 30^{\circ}C$

- 1 - залежність $\eta_{ex}^{ТЭЦ+КТУ} = f(T_{с.в.вих})$ при підігріві прямої мереживої води,
- 2 - залежність $\eta_{ex}^{ТЭЦ+КТУ} = f(T_{с.в.вих})$ при підігріві зворотної мереживої води з додатковим виробництвом електричної енергії турбогенератором,
- 3 - залежність $\eta_{ex}^{ТЭЦ+КТУ} = f(T_{с.в.вих})$ при підігріві зворотної мереживої води без додаткового виробництва електричної енергії турбогенератором, але зі зниженням загального теплового навантаження на парогенератор.

На рис. 4.1 показано, що при температурі нагнітання 350°C максимальна температура нагрітої води в установці становить 930°C . У той же час енергетичний ККД ТЕЦ досягає свого максимального значення при нагріванні водопровідної води в діапазоні 90–930с (крива 1). Перетин кривих 1 і 3 показує зручність переходу з прямого нагріву мережної води на зворотний нагрів мережної води без додаткового вироблення електроенергії, але при цьому знижується загальне парове навантаження турбогенератора і, в кінцевому рахунку, теплове навантаження парогенератора. Крива 2 відповідає режиму нагріву зворотної магістральної води, але з додатковим виробленням електричної енергії (проходження надлишкової пари в проточну частину циліндра низького тиску за рахунок зменшення парового навантаження при відборі тепла). Цей режим не дуже ефективний у порівнянні з режимом нагріву зворотної магістральної води без додаткового вироблення електроенергії (крива 3), але при порівнянні з режимом нагріву прямої магістральної води (крива 1) ми бачимо, що при інтервалі нагріву основної води $70\sim 830\text{с}$, тут є перетин, що вказує на те, що додаткове вироблення електроенергії призводить до нагрівання зворотної магістральної води.

4.3. Висновки четвертого розділу

1. Використання комбінованої установки теплопостачання в системі централізованого теплопостачання може бути досягнуто за рахунок отримання додаткового вироблення тепла та електроенергії від ТЕЦ споживачеві при постійній витраті палива в основному циклі.

2. Був проведений ексергетичний аналіз режимів роботи різних схем включення комбінованого вузла теплопостачання на теплоелектростанції і проведена подальша оптимізація цієї енергетичної системи. Збільшення енергетичної ефективності теплових електростанцій склало: 0,87% - при прямому нагріванні мережної води; 1% - при зворотному нагріванні мережної води.

ВИСНОВКИ

В результаті досліджень отримано нове рішення **актуального наукового завдання**, встановлення закономірності тепломасообмінних процесів, які протікають в системі централізованого теплопостачання, при застосуванні теплових насосів, можна зробити наступні висновки.

1. Основними недоліками існуючих систем централізованого теплопостачання є низька ефективність транспорту та розподілу теплової енергії за численними абонентами за відсутності системи якісного регулювання температури повітря в опалювальних приміщеннях. Виробництво теплової енергії в 2-3 рази перевищує необхідну потребу і частина житлових будинків отримує надлишкове кількість теплоти, тобто переопалюється, що і призводить до пропорційному перевитраті споживаних паливних ресурсів.

2. Низький рівень якості регулювання систем опалення шляхом зміни витрати теплоносія пояснюється тим фактором, що мережева вода при тому рівні температур в прямому трубопроводі містить в собі малу кількість ексергії (працездатної енергії), тобто саме тієї енергії, яка в процесі теплообміну здатна підвищити температуру нагріваної середовища (зовнішнього повітря).

3. Реформування систем централізованого теплопостачання має бути направлено на застосування в системах опалення комбінованої енергії, тобто одночасно теплової та електричної, що використовуються в ТНУ, встановлених в окремих квартирах (квартирне опалення) або в ІТП будівлі (будинкове опалення).

4. ТНУ дозволяють сформувати необхідний тепловий потік у необхідному кількості в автоматичному режимі, виключаючи переопалювання і недоопалювання.

5. Джерела теплопостачання, такі як водогрійні котельні повинні бути перетворені в ТЕЦ, шляхом встановлення в них газотурбінних установок з скиданням газу в енергетичні котли або котли-утилізатори.

6. Температура прямої мережевої води може бути на рівні 60° С, що забезпечує отримання гарячої води в закритих системах ГВП на рівні 50 - 55° С.

Температура води, що подається в опалювальні прилади, проходячи ТНУ, підвищується до 80 - 90° С.

7. Розроблено систему теплопостачання, що включає ТЕЦ, з'єднану трубопроводом мережної води з віддаленими тепловими пунктами, причому кожен тепловий пункт обладнаний тепловим насосом системи опалення та тепловим насосом системи гарячого водопостачання. При цьому трубопроводом передається вода з температурою 40 °С, нагріта від теплових вторинних енергоресурсів ТЕЦ

8. Застосування комбінованої теплопостачальної установки в системі централізованого теплопостачання дозволяє підвищити енергоефективність шляхом отримання додаткового вироблення відпускової теплоти та електроенергії від ТЕЦ споживачеві при незмінній витраті палива в основному циклі.

9. Ексергетичний аналіз режимів роботи різних схем включення комбінованої теплопостачальної установки до складу теплоелектроцентралі з подальшою оптимізацією даної енергетичної системи. Приріст ексергетичного ККД теплоелектроцентралі склав:

0,87% - при підігріві прямої мережевої води;

1% - при підігріві зворотної мережевої води.

10. Термін окупності комбінованої теплопостачальної установки в системі централізованого теплопостачання становить 7,5 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ayou D. S., Wardhana M. F., Coronas A., Performance analysis of a reversible water/LiBr absorption heat pump connected to district heating network in warm and cold climates // *Energy*. – 2023. – № 268. – P. 126679, ISSN 0360- 5442. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126679>.

2. Barco-Burgos J. Review on the integration of high-temperature heat pumps in district heating and cooling networks/ Barco-Burgos J., Bruno J.C., Eicker U., Saldaña-Robles A.L., Alcántar-Camarena V. // *Energy*. – 2022. – № 239, Part E. – P. 122378, ISSN 0360-5442. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122378>.

3. Billerbeck A. Policy frameworks for district heating: A comprehensive overview and analysis of regulations and support measures across Europe/ Billerbeck A., Breitschopf B., Winkler J., Burger V., Kohler B., Vacquet A., Popovski E., Fallahnejad M., Kranzl L., Ragwitz M. // *Energy Policy*. – 2023. – № 173. – P. 1133-1177, ISSN 0301-4215. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113377>.

4. Bloess A, Schill WP, Zerrahn A. Power-to-heat for renewable energy integration: a review of technologies, modeling approaches, and flexibility potentials // *Appl Energy*. – 2018. – 212. – P. 1611–1626, ISSN 0306-2619. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.073>.

5. Boldrini A. The role of district heating systems to provide balancing services in the European Union/ Boldrini A., Jiménez Navarro J.P., Crijns-Graus W.H.J., Broek M.A. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2022. – 154. – P. 11853, ISSN 1364-0321. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111853>.

6. Besner R., Environmental and economic analysis of sector-coupling battery energy storage systems used for frequency containment reserve/ Besner R., Wigger H., Draheim P., Brand-Daniels U., Vogt T. // *Journal of Energy Storage*. – 103 2023. – № 68. – 107743, ISSN 2352-152X. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107743>.

7. Calise F. A comparative thermoeconomic analysis of fourth generation and fifth generation district heating and cooling networks / Calise F., Cappiello F.L., Cimmino L.,

Dentice d'Accadia M., Vicidomini M. // *Energy*. – 2023. – № 284. – P. 128561, ISSN 0360-5442. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128561>.

8. Denysova, A. Energy Efficiency of Heat Pumps Heating Systems at Subsoil Waters for South-East Regions of Europe / Denysova, A., Klymchuk, O., Ivanova, L., Zhaivoron, O. // *Problemele Energeticii Regionale*. – 2020. – 4(48), P. 78-89. ISSN 1857-0070. DOI: 10.5281/zenodo.4317115

9. Galindo-Fernandez M. Integrating renewable and waste heat and cold sources into district heating and cooling systems – case studies analysis, replicable key success factors and potential policy implications/ Galindo-Fernandez M., Bacquet A., Bensadi S., Morisot P., Oger A. // Publications Office of the European Union. – 2021. <https://doi.org/10.2760/111509>.

10. Guelpa E, Verda V. Thermal energy storage in district heating and cooling systems: a review // *Appl Energy*. – 2019. – 252. – P. 1134-1174. ISSN 0306-2619. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113474>.

11. Ganesan P., Eikevik T. M. New zeotropic CO₂-based refrigerant mixtures for cascade high-temperature heat pump to reach heat sink temperature up to 180 °C // *Energy Conversion and Management: X*. – 2023. – № 20. – 100407, ISSN 2590-1745. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100407>.

12. Hamid K. Potential evaluation of integrated high temperature heat pumps: A review of recent advances/ Hamid K., Sajjad U., Ulrich Ahrens M., Ren S., Ganesan P., Tolstorebrov I., Arshad A., Said Z., Hafner A., Wang C., Wang R., Eikevik T. M. // *Applied Thermal Engineering*. – 2023. – № 230, Part A. – P. 120720, ISSN 1359-4311. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120720>.

13. O'Hegarty R., Kinnane O., Lennon D., Colclough S. Air-to-water heat pumps: Review and analysis of the performance gap between in-use and product rated performance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2022. – № 155. P. 11887, ISSN 1364-0321. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111887>.

14. Ostergaard P. A., Andersen A.N. Optimal heat storage in district energy plants with heat pumps and electrolysers // *Energy*. – 2023. – № 275. – P. 127423, ISSN 0360-5442. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127423>.

15. Pesola A. Cost-optimization model to design and operate hybrid heating systems – Case study of district heating system with decentralized heat pumps in Finland // Energy. – 2023. – № 281. – P. 128241, ISSN 0360-5442. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128241>.

16. Ruhnau O, Hirth L, Praktiknjo A. Heating with wind: economics of heat pumps and variable renewables // Energy Econ. – 2020. – 92, ISSN 0140-9883. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104967>.

17. Tomita K. Electricity adjustment by aggregation control of multiple district heating and cooling systems/ Tomita K, Ito M, Hayashi Y, Yagi T, Tsukada T. //Energy Procedia. – 2018. – № 149. – P. 317–326. ISSN 1876-6102. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.195>.

18. Tretyakova P. Heat supply system in the areas remote from the centralized source: the case of Tyumen /Tretyakova, P. // International Science and Technology Conference "EastConf". – 2019. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/334850185_Heat_Supply_System_in_the_Areas_Remote_from_the_Centralized_Source_The_Case_of_Tyumen_106

19. Tretyakova P. A. The comparison of thermal insulation materials for a process pipeline / Tretyakova, P.A., Stepanov, O. A., Tretyakova, T.V // Materials Science Forum 927 MSF. – 2018. – P. 176-182

20. Turk A., Wu Q., Zhang M., Ostergaard J. Day-ahead stochastic scheduling of integrated multi-energy system for flexibility synergy and uncertainty balancing // Energy. – 2020. – P. 117130, ISSN 0360-5442. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117130>

21. Vasilyev G. P., Peskov N. V., Lichman V. A., Gornov V. F., Kolesova M. V. Simulating the thermal operating conditions in the thermal wells of groundsource heat-pump heat supply systems. Part II: consideration of porous moisture phase transitions in soil // Therm. Eng. – 2015. – Т. 62. – № 10. – P. 751-756.

22. Vering C. Simulation-based design optimization of heat pump systems considering building variations / Vering C., Tanrikulu A., Mehrfeld P, Müller D. // Energy

and Buildings. – 2021. – № 251. – P. 111310, ISSN 0378-7788. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111310>.

23. Wenxin Li, Xiangdong Li, Yong Wan, Jiyuan Tu. An integrated predictive model of the long-term performance of ground source heat pump (GSHP) systems. *Energy and Buildings*, 2018, vol.159, P.309 – 318.

24. Xiao S. Large heat pumps with hot water store in local heating systems – Investigation of operation strategies / Xiao S., Nefodov D., Richter M., Wördemann M., Urbaneck T. // *Journal of Energy Storage*. – 2023. – № 63. P. 106924, ISSN 2352-152X. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106924>.