

Криворізький національний університет  
Кафедра теплоенергетики

Кляцький Олег Валерійович  
група ТЕП – 23м

УДК 621.444

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ШАХТНИХ ВОД**  
Спеціальність 144-м – Теплоенергетика

Кваліфікаційна магістерська робота

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

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

**Кляцький Олег Валерійович**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: *Дослідження методів утилізації теплоти шахтних вод*

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

2. Термін здачі студентом закінченої роботи \_\_ 01 \_\_ грудня 2024 р. \_\_\_\_\_

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Вступ.

Розділ 1. Аналіз методів утилізації теплоти шахтних вод

Розділ 2. Порівняльні дослідження методів утилізації теплоти шахтних вод

Розділ 3. Закономірності процесів утилізації теплоти шахтних вод з використанням теплових насосів

Розділ 4. Розробка рекомендацій по впровадженню методу утилізації теплоти шахтних вод з використанням теплових насосів

Висновки

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

1 Схема використання тепло насосної установки для утилізації тепла шахтних вод

2 Технологія утилізації низькопотенційного тепла шахтних вод

3 Приклади принципів схем утилізації низько потенційного тепла шахт

4. Схема теплонасосної установки шахти «Благодатна»

5. Трисекційна установка для виробництва тепла з шахтних виробок

5. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 08 серпня 2024 р. \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**  
виконання атестаційної роботи магістра

№№ пп	Назва етапів атестаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	08 серпня	виконано
2	Аналіз методів утилізації теплоти шахтних вод	09 серпня – 20 вересня	виконано
3	Порівняльні дослідження методів утилізації теплоти шахтних вод	21 вересня – 20 жовтня	виконано
4	Закономірності процесів утилізації теплоти шахтних вод з використанням теплових насосів	21 жовтня – 15 листопада	виконано
5	Розробка рекомендацій по впровадженню методу утилізації теплоти шахтних вод з використанням теплових насосів	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

Дефіцит паливних ресурсів, зростання цін на енергоносії змушують шукати шляхи зниження споживання енергії, розвивати та застосовувати енергозберігаючі технології. До них належать теплонасосні технології перетворення низькопотенційної природної та непридатної теплоти промислових установок у високопотенційну теплоту для використання її в системах опалення та гарячого водопостачання. Джерела низькопотенційної теплоти на шахтах – шахтна вода, витяжне повітря, терикони. Використання шахтної води як джерело низькопотенційної теплоти значно спрощує систему її збору та подачі до теплових насосів, що робить вугільні шахти з великим припливом води вельми привабливими об'єктами для впровадження теплонасосних технологій.

У роботі проведено аналіз методів утилізації теплоти шахтних вод.

Порівняно існуючі методи утилізації теплоти шахтних вод.

Визначено закономірності теплових процесів утилізації теплоти шахтних вод з використанням теплових насосів.

Розроблено рекомендації по впровадженню методу утилізації теплоти шахтних вод за допомогою теплових насосів.

Ключові слова: шахтна вода, низькопотенційне тепло, утилізація, тепловий насос, тепло насосна установка, коефіцієнт перетворення.

## Перелік умовних позначень

ККД – коефіцієнт корисної дії

ТН – тепловий насос

ТНУ – теплонасосна установка

АБТН – абсорбційний тепловий насос

ПКТН – парокompресійний тепловий насос

ГВП – гаряче водопостачання

ХВО – хімводоочистка

ДНТ – джерело низькопотенційної теплоти

ДВТ – джерело високопотенційної теплоти

## Зміст

Вступ	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ШАХТНИХ ВОД	11
1.1. Теплота шахтних вод, як джерело низькопотенційної теплоти	11
1.2. Властивості та склад шахтних вод	12
1.3. Застосування теплових насосів у вугільній промисловості	15
1.4. Перспективи утилізації теплоти шахтних вод з використанням теплових насосів	16
1.5. Висновки до розділу 1	21
РОЗДІЛ 2. ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ШАХТНИХ ВОД	22
2.1. Технологічна схема утилізації низькопотенційного тепла шахтних вод	22
2.2. Технологічний комплекс утилізації низькопотенційної теплоти шахтної води шахти «5-6» АТ «Вугільна Компанія «Прокопіввугілля»	24
2.3. Технологічний комплекс утилізації низькопотенційного тепла шахтної води для «Зіньківська»	27
2.4. Дослідно-промислова технологія утилізації низькопотенційного тепла на шахті «Осинниківська»	34
2.5. Схема ТНУ в системі теплопостачання шахти, з утилізацією теплоти шахтних вод на шахті ім. В. М. Бажанова	38
2.6. Теплонасосна установка для утилізації бросового тепла шахтної води шахти «Благодатна»	40
2.7. Висновки до розділу 2	43
РОЗДІЛ 3. ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ШАХТНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ	44

**НАСОСІВ**

<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ МЕТОДУ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ШАХТНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ</b>	<b>48</b>
4.1. Метод утилізації тепла шахтних вод і вентиляційного повітря за допомогою ТНУ	48
4.2. Економічний потенціал від впровадження теплонасосних технологій	52
4.3. Висновки до розділу 3	57
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>58</b>
Список використаних джерел	60

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Дефіцит паливних ресурсів, зростання цін на енергоносії змушують шукати шляхи зниження споживання енергії, розвивати та застосовувати енергозберігаючі технології. До них належать теплонасосні технології перетворення низькопотенційної природної та непридатної теплоти промислових установок у високопотенційну теплоту для використання її в системах опалення та гарячого водопостачання [1, 2].

До переваг теплонасосних технологій можна віднести енергетичну ефективність, екологічну чистоту, можливість повної автоматизації управління процесами.

Фактор, що стримує їхню реалізацію, – висока вартість, причому не тільки теплонасосного обладнання, а й систем збирання низькопотенційної теплоти. Щоб використовувати теплоту, що виділяється різними матеріальними потоками, що утворюються в процесі видобутку вугілля, доцільно застосовувати теплові насоси, в яких теплота перетворюється з високою енергетичною ефективністю, оскільки це екологічно чисті, надійні в експлуатації, універсальні за низькопотенційним джерелом і рівнем потужності, повністю автоматизовані і із тривалим терміном служби установки. Зазвичай на 1 кВт витраченої енергії парокompресійному насосі споживачеві може бути передано 3–4 кВт і більше енергії. За прогнозами Міжнародного енергетичного агентства, до 2030 р. 75% опалювальних установок у системах теплопостачання розвинених країн світу працюватимуть, використовуючи енергозберігаючу теплонасосну технологію.

Джерела низькопотенційної теплоти на шахтах – шахтна вода, витяжне повітря, терикони. Використання шахтної води як джерело низькопотенційної теплоти значно спрощує систему її збору та подачі до теплових насосів, що робить вугільні шахти з великим припливом води вельми привабливими об'єктами для впровадження теплонасосних технологій [3, 4].

Недолік шахтної води як джерела низькопотенційної теплоти - забрудненість зваженими частинками, хімічна агресивність по відношенню до металів та ін.



бажано застосувати схему з проміжним контуром, в якому циркулює чиста вода або низькозамерзаючий холодоносіє.

Враховуючи викладене, встановлення закономірностей тепломасообмінних процесів, які протікають при використанні шахтної води як джерела низькопотенційної теплоти є **актуальним науковим завданням** в галузі енергетики як у науковому, так і в практичному відношенні і має великі перспективи як у малій енергетиці, і на великих станціях.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика роботи пов'язана із: Законом України № 3534-ІХ, яким внесено зміни до законів України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» від 13 січня 2024 р.

**Мета і завдання дослідження.** Метою випускної роботи магістра є дослідження методів утилізації теплоти шахтних вод, з метою розробки рекомендацій їх впровадження.

Для реалізації поставленої мети було сформульовано наступні задачі:

- провести аналіз методів утилізації теплоти шахтних вод;
- провести порівняльні дослідження методів утилізації теплоти шахтних вод;
- визначити закономірності теплових процесів утилізації теплоти шахтних вод з використанням теплових насосів;
- розробити рекомендації по впровадженню методу утилізації теплоти шахтних вод за допомогою теплових насосів.

**Об'єкт дослідження** – процеси, що протікають при використанні теплонасоних установок при утилізації тепла шахтних вод.

**Предмет дослідження** – параметри процесів, що протікають при використанні теплонасоних установок при утилізації тепла шахтних вод.

**Методи дослідження:** Узагальнення відомих наукових і технічних результатів, теоретичні та аналітичні методи дослідження шляхів використання методів утилізації теплоти шахтних вод.

**Наукова новизна одержаних результатів**

- отримали подальший розвиток закономірності тепломасообмінних методів утилізації теплоти шахтних вод за допомогою теплонасосних установок.

**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.

**Наукове значення роботи.** Встановлені закономірності теплообмінних процесів, які протікають при утилізації теплоти шахтних вод за допомогою теплонасосних установок.

Практичне значення отриманих результатів

- розроблено рекомендації по впровадженню теплонасосних установок при утилізації тепла шахтних вод.

**Структура роботи.** Дипломна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 25 найменувань. Загальний обсяг дипломної роботи становить 63 сторінки, 4 таблиці та 13 рисунків.

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ШАХТНИХ ВОД**

### **1.1. Тепло шахтних вод, як джерело низькопотенційної теплоти**

На сьогоднішній день антропогенний вплив на природне середовище значно зріс. Обсяги шкідливих викидів від промислових підприємств України перевищують допустимі норми у 3-7 разів і постійно зростають. Забезпечення економічної та екологічної безпеки країни залежить від ефективного управління промисловими об'єктами. Останнім часом відбувається розвиток екологізації виробництва як одного з важливих механізмів управління. Екологізація розглядається як закономірний процес еволюції суспільства від індустріальної до постіндустріальної епохи. Одним із ключових напрямів цього процесу є перехід на безвідходні технології та замкнуті цикли виробництва, а також впровадження екологічно чистих джерел енергії, таких як відновлювані та альтернативні джерела. Для реалізації завдань екологізації енергетики потрібна фінансова підтримка на державному та місцевому рівнях, а також розвиток вітчизняного виробництва промислового обладнання. Проблема екологізації виробництва є актуальною і визначає екологічну культуру суспільства. Вирішення цієї проблеми вимагає оптимізації виробничих процесів, використання відновлюваних ресурсів та мінімізації відходів [3].

Україна має значні ресурси геотермальної енергії, джерелами якої є геотермальні води, тепло нагрітих сухих гірських порід, нагрітих підземних вод, які виводяться разом з нафтою і газом на свердловинах нафтогазових родовищ, а також вод, що відкачуються при видобутку вугілля. Геотермальна енергія може бути використана для обігріву, водопостачання та кондиціонування повітря будівель. В даний час найбільш придатними для технічного використання є геотермальні води, енергетичний потенціал яких оцінюється в 47,5 ГВт.

Сьогодні утилізація скидного тепла шахтних вод стримується здебільшого через відсутність ефективних технологій.

## 1.2. Властивості та склад шахтних вод

Склад шахтних вод формується під впливом різноманітних процесів, що відбуваються у самих підземних виробках, а також під впливом ряду природних та штучних факторів, що впливають на склад цих вод. Вони забруднені механічними домішками, нафтопродуктами, іншими специфічними забруднювачами, що ускладнює утилізацію низькопотенційного тепла існуючими способами [5].

Шахтні води мають складний склад, основні компоненти якого можна поділити на такі групи:

- зважені речовини та механічні домішки, що складаються переважно з дрібних частинок вугілля та породи;
- мінеральні речовини, представлені в основному хлоридами та сульфатами різних металів;
- важкі метали, присутні у шахтних водах внаслідок вилуговування з гірських порід та представлені у вигляді солей;
- органічні домішки (нафтопродукти, феноли);
- бактерії.

Шахтні, рудничні, кар'єрні та дренажні води видаються на денну поверхню при видобуванні підземних копалин. Формування водоприток безпосередньо залежить від гідрогеології, гірничо-геологічних (потужності та кута падіння пластів, характеристик міцності пластів і порід, що вміщують, в тому числі їх складу) та гірничотехнічних факторів (системи розробки родовища). Склад та властивості шахтних вод залежать головним чином від типу продукції та технологічних процесів [1].

Шахтні води - це води, що утворюються в результаті припливу підземних вод у гірничі виробки при видобутку з корисними копалинами [2].

Склад та властивості вод вугільної промисловості можуть бути різноманітними і залежать в основному від тих, хто живить дане родовища або шахту підземних вод, що від залягають безпосередньо поблизу гірських порід і мінералів, властивостей вугільних пластів. Так само на склад та властивості можуть вплинути клімат, рельєф, навколишня флора та умови роботи апаратів [1].

Шахтні води, як і будь-які інші, діляться на нейтральні, лужні та кислі. Відповідно до цього може відбуватися залужування або закислення підземних та поверхневих вод. Для шахтних вод характерно вміст великої кількості завислих речовин, висока мінералізація. У таких водах найчастіше містяться токсичні речовини та важкі метали [5].

Органічну частину забруднювачів шахтних вод, що знаходиться в ній зваженому та розчиненому стані, представляють частинки вугілля, мінеральні олії, що застосовуються для змащування деталей апаратів, продукти життєдіяльності організмів, що мешкають неподалік, гниття рослин, нафтопродукти. Концентрація нафтопродуктів у шахтних водах може бути в інтервалі 0-50 мг/л і більше. Середня концентрація нафтопродуктів 0,5-2 мг/л.

На значення вмісту нафтопродуктів впливає ступінь механізації шахти. Зважені нерозчинні забруднюючі речовини у шахтних водах представлені у вигляді суспензій з розміром частинок 100 мкм, а також суспензій і колоїдних суспензій з розміром частинок, відповідно, 100-0,1 та 0,1-0,001 мкм.

Грубодисперсні суспензії в шахтних водах представлені вугільними, породними частинками та гідроксидом заліза у колоїдній формі. Зольність суспензії варіюється від 20 до 80. Найтонші суспензії складаються головним чином із глинистих частинок.

Зміст мікроелементів у шахтних водах залежить від кількості в підземних водах вугленосних пластів та виділення елементів із залягаючих гірських порід. Вміст фосфору, алюмінію, марганцю, міді, кобальту, стронцію в шахтних водах більше у порівнянні з вмістом їх у підземних водах. Вміст у воді пов'язаної  $H_2SO_4$  робить процес вилуговування з гірських порід солей Cu, Zn, Al значно швидше.

У кислих шахтних водах при зростанні кількості  $SO_4^{2-}$  спостерігається помітне зменшення  $HCO_3$ . У шахтних та підземних водах із глибиною відбувається зменшення концентрації іонів Ca, Mg,  $SO_4^{2-}$  та збільшення змісту іонів Na та Cl.

Шахтні води стандартно мають сульфатну та загально кислотну агресивність. Агресивність, що вилуговує, характерна для вод з малою тимчасовою жорсткістю. Внаслідок цього відбувається розчинення  $CaCO_3$  та вимивання з бетону гідрату

окису кальцію. Солі кальцію та магнію та велика мінералізація призводить до засолення водойм, погіршення питних якостей, а іноді роблять їх непридатними для господарсько-питних та промислових цілей. Розчинені мінеральні речовини та гази можуть надавати воді смаку. Вода, що має у своєму складі NaCl, стає солоною. MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>, іони заліза надають воді гіркуватий смак. Вода, що містить органічні з'єднання, має солодкуватий смак. Води, що містять гідрокарбонат іони та вуглекислоти мають приємний смак.

У шахтних вод зазвичай немає запаху, але наявність розчиненого сірководню і органіки, що розкладається, може надавати їй тухлий неприємний запах. Температура шахтних вод може бути в інтервалі 6–25 °C залежно від місцезнаходження шахт та глибини залягання. Розчинені та зважені речовини мають особливість надавати воді каламутності та кольоровості [6].

З'єднання заліза надають воді бурого забарвлення, грубодисперсні вугільні частинки надають водам чорного кольору. Якщо у водах містяться природні включення або у значній кількості породні включення, то води набувають сірого відтінку. Жовтувато-сірий відтінок можуть мати води, склад яких є глинисті частинки.

У зв'язку з активною роботою відбуватиметься руйнація природних рельєфів, і як наслідок порушення русел річок, утворення затоплених територій. Через видобувні роботи відбувається ерозія ґрунтів, зсуви, утворення тріщин. Як наслідок, може відбуватися порушення водостійких пластів, поява ефекту суффозії та переривчасте порушення земної поверхні.

Таким чином скидання шахтних вод в поверхневі водоймища призводить до сильного забруднення, зміни органолептичних властивостей, якісної та кількісної зміни складу вод. рН водоймища при скиданні шахтних вод може змінитися з 7,9 до 3,5, а мінералізація може збільшитися в 2 рази, концентрація іонів SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> може зростати в 3 рази. Попадання завислих речовин і грубодисперсних суспензій призводить до підвищення каламутності водойми. Відбувається міграція важких металів та солей із гірських порід у гідросферну оболонку. Усі перелічені чинники

впливають на екосистеми, що у водоймах, і навіть на літосферну оболонку і які у ній організми.

### **1.3. Застосування теплових насосів у вугільній промисловості**

Шахтна вода – ідеальне джерело низькопотенційної енергії для теплових насосів. Крім того стічні води та технічна вода з системи оборотного водопостачання також можуть слугувати додатковим джерелом. Для промислових компаній інвестиції в систему теплових насосів – це інвестиції в системи теплових насосів можуть зменшити витрати на опалення та зменшити залежність від централізованих мереж [8].

Переваги теплових насосів полягають у тому, що вони стабільні в роботі та мають найвищий коефіцієнт рекуперації тепла серед усіх типів теплових насосів.

Недоліки - для стабільної роботи необхідна постійна подача води потрібної якості, висока вартість, причому не тільки обладнання самих теплонасосних установок, але також систем збору низькопотенційного тепла.

Таким чином, основна перевага когенераційних установок порівняно з виробництвом тепла у звичайних енергетичних котлах полягає в тому, що теплові насоси можуть виробляти аналогічну кількість тепла, використовуючи 2/3 залишкового тепла від низькотемпературного потенціалу та 1/3 електроенергії, що споживається компресором ТЕЦ.

Порівняння систем теплопостачання показано на рис 1.1, де порівнюються системи теплопостачання з використанням теплових насосів з існуючими джерелами енергії. Як бачимо, найбільш ефективними є теплонасосні системи, що використовують відновлювані джерела енергії. Враховуючи світову тенденцію зростання цін на нафту і газ, ефективність теплонасосних систем буде постійно зростати. В нашій країні має бути організовано виробництво теплових насосів необхідної потужності з відповідними енергетичними характеристиками.



Рис.1.1 Порівняння заміни різних видів систем теплопостачання на ТНУ

Розрахунки показують, що термін окупності заміни існуючого виду на ТНУ складає 4-8 років, а економія електроенергії 85 тис.грн на рік [2].

У зв'язку з цим застосування теплових насосів у системах утилізації тепла води, що відкачується з шахт і кар'єрів, виглядає дуже привабливо, тому що в даному випадку додаткові витрати на систему збирання низькопотенційного тепла мінімальні.

Використання геотермічного тепла – це важлива проблема також у разі здійснення реструктуризації підприємств вугільної або гірничорудної промисловості, особливо якщо така реструктуризація планує ліквідацію шахт чи експлуатаційних районів.

Важливим питанням при цьому є необхідність визначення можливості утилізації водоносних горизонтів, що ліквідуються, виконують роль потенційних геотермальних водних басейнів. Комплексний аналіз геологічних, гідрогеологічних, геотермічних, технологічних та економічних факторів може призвести до позитивних рішень, які вже після експлуатації шахти забезпечать отримання нового енергоносія екологічно чистої та відновлюваної геотермальної води [1]. При цьому



підземні гірничі виробки після їх експлуатації можуть використовуватися як резервуари тепла [2, 3].

Використання геотермічного тепла, що експлуатується при зневодненні та вентиляції шахт може відбуватися безпосередньо або із застосуванням теплонасосів. Необхідність застосування теплових насосів впливає з пристосування експлуатованого геотермічного тепла до обігрівальних потреб, що залежать від параметрів системи обігріву. Геотермічне тепло із шахт найчастіше є низькотемпературним теплом. Для обігрівальних цілей потрібні вищі температури. Підвищення температури експлуатованої теплової енергії та уможливорює тепловий насос.

Принцип дії теплового насоса буде наступним: низькотемпературний теплоносії (шахтна вода) надходить у випарник теплового насоса та віддає тепло у внутрішній контур теплового насоса. Внутрішній контур заповнений холодоагентом, що має дуже низьку температуру кипіння. Холодоагент, проходячи через випарник, приймає газоподібний стан. Газоподібний холодоагент потрапляє до компресора, де він стискається до високого тиску та температури. Далі газ надходить у конденсатор, де віддає тепло теплоносіям систем опалення або гарячого водопостачання, а потім переходить у рідкий стан. Цикл повторюється [2].

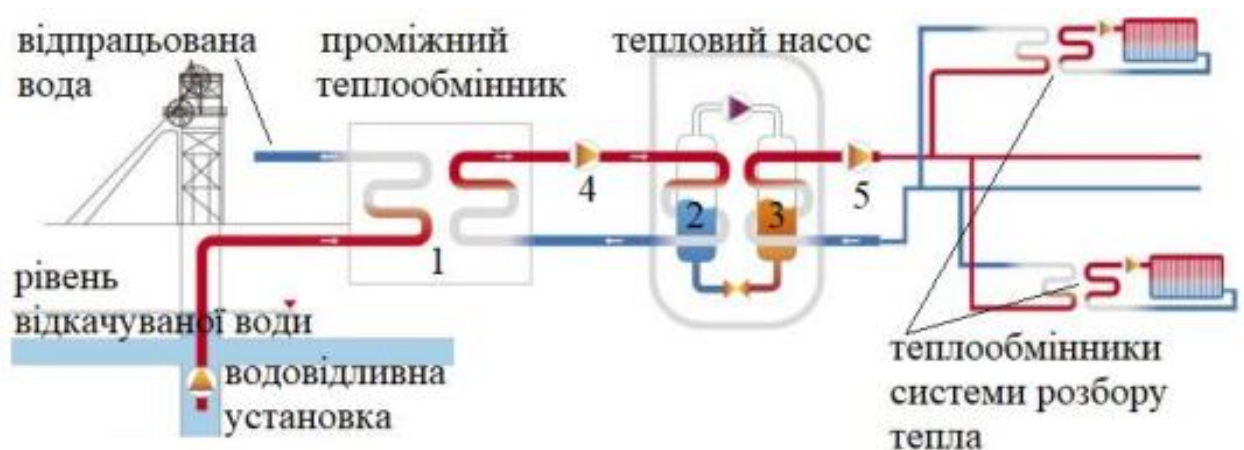


Рис.1.2 Схема використання тепло насосної установки для утилізації тепла шахтних вод

Використання таких систем дозволяє скоротити витрати на опалення та гаряче водопостачання, знизити залежність від імпорту палива, скоротити забруднення навколишнього середовища, збільшити виробництво теплової енергії, підвищити надійність забезпечення споживачів теплом та гарячою водою.

Істотним позитивним фактором застосування теплових насосів, який дуже складно безпосередньо перерахувати на економічний ефект є корисний вплив на середовище. По-перше, отримуємо джерело тепла, яке не викидає в атмосферу продукти спалювання, що відповідає вимогам Кліматичної Конференції у Кіото. По-друге, у разі скидання шахтних вод у поверхневі водотоки, їх температура буде нижче, внаслідок чого вони не будуть негативно впливати на натуральну температуру водотоків.

#### **1.4. Перспективи утилізації теплоти шахтних вод з використанням теплових насосів**

Використання цього джерела теплової енергії можливе поки що лише шляхом застосування спеціального технологічного обладнання, до складу якого входять теплові насоси. Саме теплонасосні установки дозволяють трансформувати низькотемпературну відновлювану енергію до вищих температур, придатних для використання. При цьому діючий тепловий насос не дає жодних шкідливих викидів у навколишнє середовище, що особливо важливо для екологічно несприятливих регіонів. У розвинених європейських країнах теплові насоси застосовуються дедалі більше, а в українській вугільній промисловості вони практично не використовуються [8].

Наразі українські вугледобувні підприємства просто скидають шахтну воду, температура якої сягає 22-26<sup>0</sup>С, у водоймища. А з нею йде і величезна кількість низько потенційної теплоти, яка може і повинна бути утилізована хоча б для власних потреб теплової енергії. Затоплені після виведення з експлуатації вугільні шахти також можуть бути додатковими джерелом теплової енергії, адже температура води на глибині шахт у багатьох випадках сягає 25-30<sup>0</sup>С.

Використання тепла шахтних вод, сумарні обсяги яких становлять  $788 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup>/рік, – один із шляхів вирішення проблеми нестачі теплової енергії. Температура води в шахті стала протягом усього року, і цей ресурс доступний.

Схема існуючої досі циркуляції шахтних вод та запропонованої її модернізації представлена на рис.1.3. Теплова енергія, що міститься у воді та у вентиляційному повітрі, виходить з гірських порід і пов'язана з природним теплом надр землі. Як шахтна вода, і вентиляційне повітря грають у разі роль носія тепла, який транспортує і передає далі тепло від гірської породи до землі. Ефективне використання цього тепла має велику перспективу, оскільки є довготривалим і стабільним процесом для даної шахти. Спосіб застосування тепла рідкого та газоподібного шахтних енергоносіїв для обігрівальних цілей залежить від кількох факторів, до яких належить, перш за все, продуктивність та температура носія тепла.

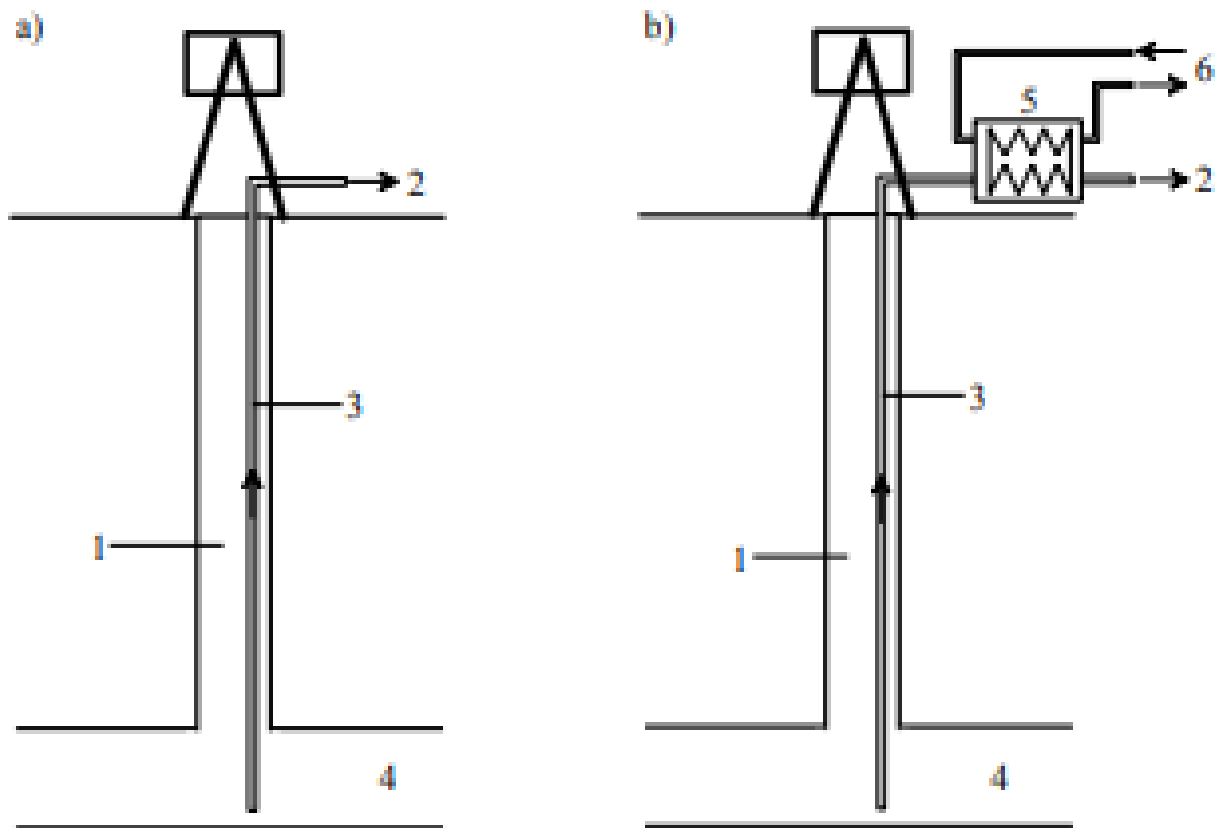


Рис.1.3 Порівняльна схема циркуляції води в шахті без (а) та з (б) утилізацією її теплової енергії (б): 1 – свердловина; 2 – скидання води;

3 - водопровід для викачування води, 4 - гірнича виїмка, 5-тепловий насос; 6 – споживча обігрівальна система

Загалом впровадження проектів теплопостачання за рахунок використання тепла шахтних вод допомагає досягти [9]:

- підвищення безаварійності у зимових умовах за рахунок отримання додаткового тепла;
- запобігання зупинці вентилятора головного провітрювання, простоїв шахти та зниження обсягів видобутку вугілля;
- зниження витрат на реконструкцію котельні;
- одержання екологічно чистої теплової енергії;
- зменшення викидів шкідливих речовин у довкілля;
- значного зниження вартості теплової енергії;
- економії паливно-енергетичних ресурсів;
- можливості повністю зупинити шахтну котельню в літню пору з вивільненням обслуговуючого персоналу.

Останнім десятиліттям у нашій країні спостерігається значний інтерес до теплових насосів. Це пов'язано, насамперед, зі зростанням цін на енергоносії та проблемами екології. Цьому сприяє зарубіжний досвід.

Одним із перспективних напрямів утилізації вторинних енергоресурсів є застосування абсорбційних теплових насосів (АБТН). З точки зору впливу на довкілля та безпеку АБТН мають явну перевагу перед парокомпресійними тепловими насосами (ПКТН), тому що не використовують хладони: фторхлорсодержащие вуглеводні. Відповідно до Монреальського протоколу від 1987 року, фактично всі хладони, що використовуються в ПКТН, проходять ретельніший контроль на «озонобезпечність», «парниковий ефект» та обкладаються жорсткими штрафами при їх неправильному застосуванні та утилізації. В АБТН всі процеси протікають під вакуумом і на відміну від ПКТН. АБТН мають значно більший термін служби, тому що по суті є теплообмінним обладнанням, висока ремонтпридатність, малошумні в роботі.

Найбільш поширеними в АБТН робочими парами є водоаміачний та бромистолітійевий розчини. У першому випадку холодильним агентом є горюча, токсична низькокипляча пара аміаку, а у другому – екологічно безпечна, не токсична висококипляча водяна пара. Саме тому останній найчастіше застосовується у теплових насосах.

Існує дві істотні недоліки АБТН порівняно з ПКТН: нижчий коефіцієнт термотрансформації (ефективність) та більші масогабаритні показники.

Для боротьби з першим недоліком доводиться ще більше ускладнювати схему. Застосовуючи, крім регенеративних теплообмінників, ще й спеціальне обладнання – дефлегматор, який служить збільшення концентрації холодоагенту на вході в конденсатор теплового насоса. Проблема підвищення компактності АБТН в даний час не набула особливого поширення, хоча збільшення цього показника призвело б до суттєвого зменшення капітальних витрат при встановленні теплового насоса і вплинуло б на собівартість одержуваної енергії. Одним із шляхів підвищення компактності є застосування рідинно-кільцевих машин як заміна холодильного контуру: конденсатор-насос-випарник у підвищувальному циклі термотрансформатора.

### **1.5. Висновки до розділу 1**

На основі проведеного системного аналізу сучасного стану можна зробити наступні висновки:

1. Для нормальних умов експлуатації шахт потрібне безперервне функціонування водовідливного господарства. Для відкачування шахтної води на поверхню безповоротно губиться її водний і тепловий потенціал і у величезних кількостях витрачається електроенергія. Встановлено, що із закриттям шахт обсяги вод, що відкачуються, не зменшуються.

2. Використання шахтної води як джерело низькопотенційної теплоти значно спрощує систему її збору та подачі до теплових насосів, що робить вугільні шахти з великим припливом води вельми привабливими об'єктами для впровадження теплонасосних технологій.

## РОЗДІЛ 2. ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ШАХТНИХ ВОД

### 2.1. Технологічна схема утилізації низькопотенційного тепла шахтних вод

Одним з найбільш ефективних сучасних напрямків з використання низькопотенційного тепла в системах теплопостачання - застосування теплонасосних технологій, що дозволяють трансформувати низькотемпературну відновлювану природну енергію та вторинну низькопотенційну теплоту до вищих температур придатних для теплопостачання. Метод є екологічно чистим, оскільки немає згоряння палива, викидів у повітря, не витрачається непоправні енергоресурси.

На ряді шахт за результатами хімічних аналізів (кількість завислих речовин, рН, розчинені речовини) можливе подання шахтних вод безпосередньо у випарник теплового насоса.

Теплова схема включає наступні контури:

- Контур подачі шахтної води та повернення шахтної води та відповідної запірної арматури;
- Контур робочої речовини (власне ТНУ), що забезпечує трансформацію теплової енергії, поставляється у повній заводській готовності;
- Контур водопровідної води, що нагрівається в конденсаторах ТНУ, що складається з конденсатора, з'єднувальних трубопроводів із запірною та регулюючою арматурою.

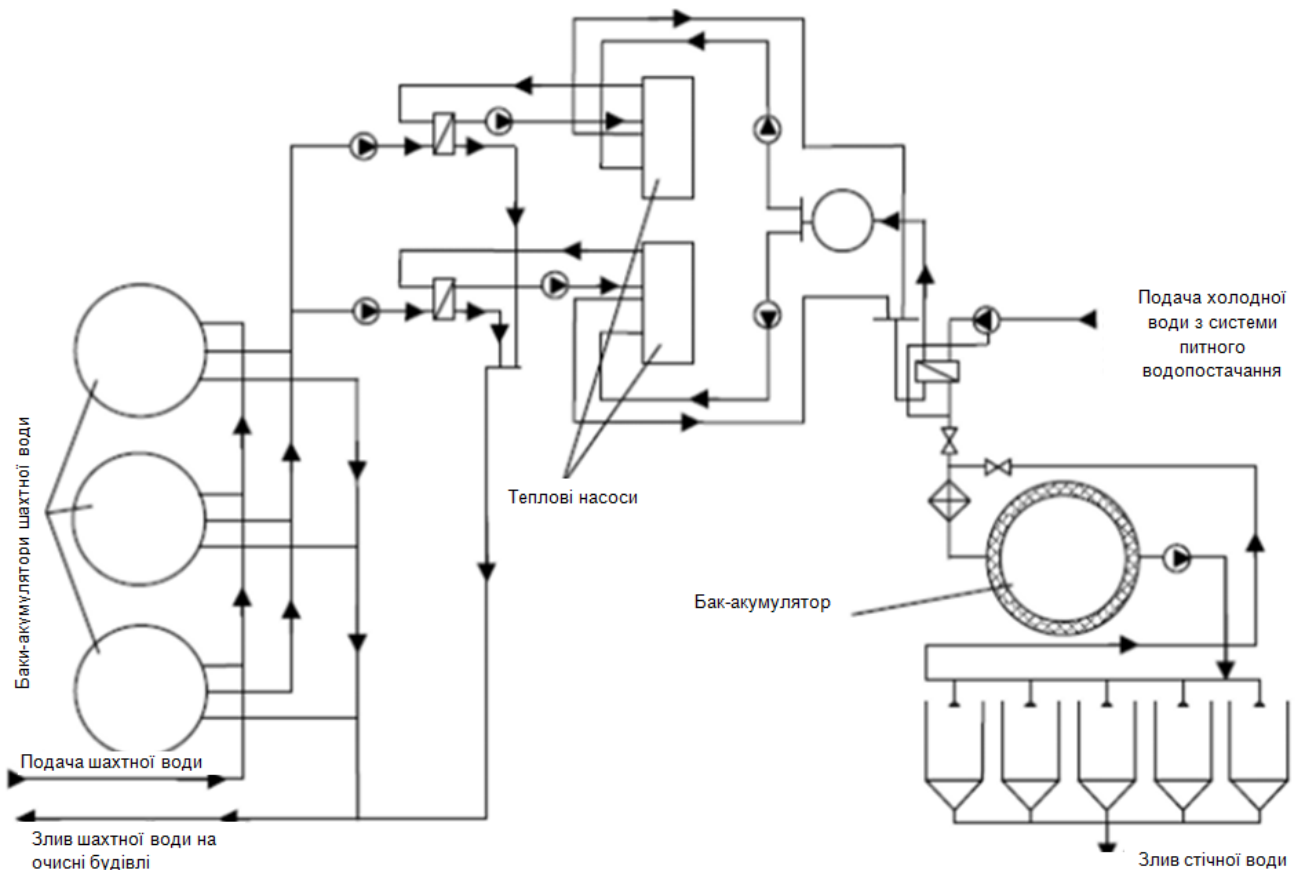


Рис.2.1 Технологія утилізації низькопотенційного тепла шахтних вод

Схема працює наступним чином: шахтна вода головного водовідливу за відгалуженням подається до випарника ТНУ, де охолоджується за рахунок віддачі тепла, що витрачається на випаровування холодоагенту. У випарнику ТНУ відбувається випаровування робочої речовини, що низько кипить, і при цьому теплова енергія, отримана від шахтної води, використовується на фазовий перехід робочої речовини (теплообміну при постійній температурі і тиску). Пари робочої речовини з випарника ТНУ направляються і стискаються компресором до тиску конденсації (визначається температурою і витратою води, що входить до конденсатора).

При стисканні пар компресором підвищується їх тиск і температура, і в результаті при конденсації стислих парів у конденсаторі ТНУ виділяється; теплота фазового переходу (теплота конденсації). Таким чином, здійснюється трансформація низькопотенціальної теплової енергії в придатну для використання на потреби опалення і гарячого водопостачання, при цьому величина одержуваної теплової

енергії дорівнює сумі: енергії, отриманої у випарнику, і енергії, витраченої на привід компресора. Нагріта у конденсаторі шахтна вода подається до системи опалення.

Для підвищення ефективності роботи теплового насоса в контур робочої речовини включений переохолоджувач, до якого перемицці з головного водовідливного ставу подається охолоджувальна шахтна вода, яка потім потрапляє у випарник ТНУ. Розглянемо декілька схем утилізації тепла шахтних вод з використання тепло насосних установок.

## **2.2. Технологічний комплекс утилізації низькопотенційної теплоти шахтної води шахти «5-6» АТ «Вугільна Компанія «Прокоп'їввугілля»**

Теплопостачання шахти «5-6» АТ «Вугільна компанія «Прокоп'євськвугілля» здійснюється від вугільної котельні з котлами ДКВ-6,5/13 – 2 шт, ДКВР-10/13 – 3 шт, ДКВР-20/13 – 2 шт. Ця шахта відчуває велику нестачу теплової енергії. Через відсутність фінансування не проводяться необхідні ремонти, заміна обладнання, і, як наслідок, при роботі в зимових умовах весь обсяг повітря, що подається в шахту, не підігрівається до необхідної температури, виникають аварійні зупинки вентиляторів головного провітрювання, що призводять до виведення робітників із шахти, простою шахти, втрат видобутку вугілля. Для реконструкції існуючої котельні та придбання необхідного котельного обладнання немає достатніх фінансових коштів. Тому було прийнято рішення розробити та впровадити технологію утилізації низькопотенційного тепла шахтних вод із тепловими насосами.

Для забезпечення теплом шахту "5-6" розглядалося кілька варіантів. Будівництво нової котельні чи реконструкція існуючої. У зв'язку з тим, що існуюча котельня морально застаріла, котли не обладнані газоочищенням та економайзером, реконструкція їх вимагатиме великих фінансових коштів. Будівництво нової котельні передбачає, крім закупівлі котельного обладнання, будівництво будівлі, труби та очисних споруд. Альтернативним способом є одержання тепла за допомогою теплових насосів. При цьому закуповується лише тепловий насос та допоміжне обладнання (будівля є).



Оцінку економічної ефективності та термінів окупності проекту утилізації шахтних вод виконано порівняно з чинною системою теплозабезпечення шахти з урахуванням запобіганих екологічним збиткам.

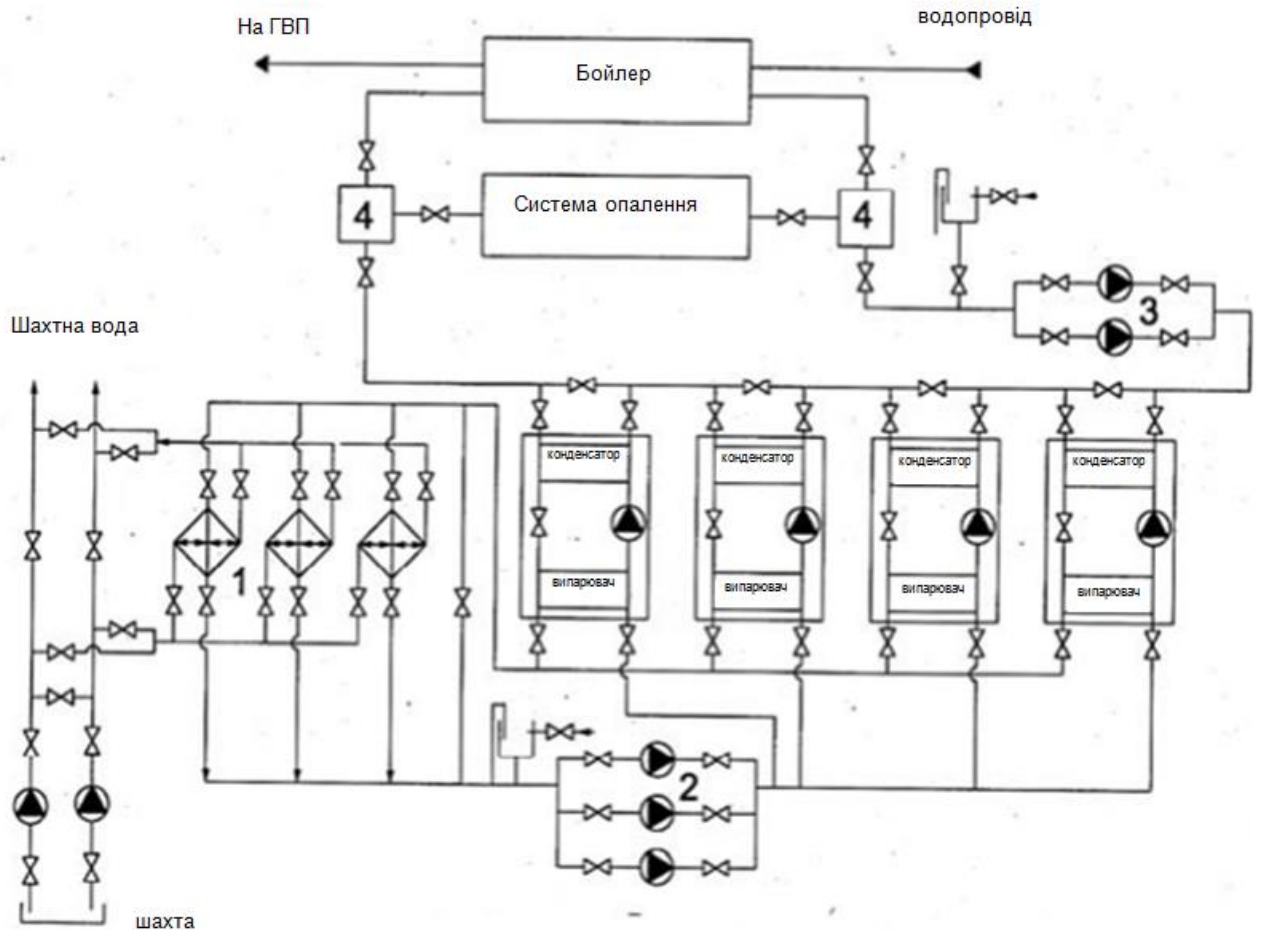


Рис.2.2 Принципова схема утилізації низько потенційного тепла шахти «5-6»

Принципова схема розробленої системи утилізації низькопотенційного тепла шахтних вод представлена на рис. 2.2 яка працює наступним чином: шахтна вода головного водовідливу з температурою  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  від 2-х трубопроводів по відведенням подається на теплообмінники, де охолоджується за рахунок теплообміну з охолодженою у випарниках ТНУ водою. При цьому вода з контуру випарників нагрівається на  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  і знову подається охолодження у випарники ТНУ. У випарниках ТНУ відбувається випаровування низькокиплячої робочої речовини (фреону) і при цьому теплова енергія, отримана від шахтної води, використовується на фазовий перехід робочої речовини (теплообмін за постійної температури та

тиску). Пари робочої речовини з випарника ТНУ відсмоктуються і стискаються компресором до тиску конденсації (визначається температурою і витратою води, що входить до конденсатора). При стисканні пар компресором підвищується тиск і температура, а в результаті при конденсації стислих пар в конденсаторі ТНУ виділяється теплота фазового переходу (теплота конденсації).

Нагріта в конденсаторах мережева вода подається на прямий гребінець, з якого розподіляється на систему опалення та гарячого водопостачання. Зворотна мережева вода із системи опалення збирається на зворотний гребінець і знову подається на нагрівання до конденсаторів.

У таблиці 2.1 подано ефективність проекту порівняно з будівництвом нової котельні.

Таблиця 2.1

## Розрахунок ефективності проекту

Назва	Одиниця вимірювання	ТНУ	Котельня
Річне вироблення тепла	Гкал	25200	25200
Середньорічний коефіцієнт перетворення	-	4,06	-
Середньорічна витрата електроенергії на вироблення тепла	кВт/год	$764 \cdot 10^4$	-
Капіталовкладення ТНУ	тис. грн	3200	-
Капіталовкладення на будову нової котельні та додаткових приміщень	тис. грн	2100	-
Річні експлуатаційні витрати на отримання тепла в котельні	тис. грн	-	1500
Річні експлуатаційні витрати на отримання тепла за допомогою ТНУ	тис. грн	470	-
Річна економія експлуатаційних витрат	тис. грн	822	-

Економія на екологічних витратах	тис. грн	2400	-
Термін окупності проекту з урахуванням запобігання екологічним збиткам	рік	1,2	

При використанні електроенергії від ТЕС тепловий насос взагалі не має шкідливих викидів.

З даних видно, що заміна традиційного отримання тепла від котельні на теплонасосну технологію дозволить скоротити річні шкідливі викиди, на 340 тонн.

### **2.3. Технологічний комплекс утилізації низькопотенційного тепла шахтної води для «Зіньківська»**

У 1994 р. на основі результатів досліджень було виконано робочий проект технологічного комплексу утилізації низькопотенційного тепла шахтної води для шахти «Зенківська» АТ «Прокоп'євськвугілля» [16]. За допомогою даної теплонасосної установки потужністю 2,4 МВт проектом передбачено покривати цілорічне навантаження гарячого водопостачання та базове навантаження опалення шахтної поверхні.

Низькопотенційним джерелом тепла для гарячого водопостачання та опалення споживачів шахтної поверхні на шахті «Зенківська» прийнято шахтну воду з мінімальною витратою 300 м<sup>3</sup>/год та температурою 11 °С.

Однак, як показали хімічні аналізи шахтної води за кількістю завислих речовин, рН та іншими характеристиками, подача шахтної води безпосередньо у випарники ТНУ є неможливою. З метою підвищення довговічності та надійності використання ТНУ передбачено встановлення у контурі шахтної води трьох спіральних теплообмінників із тупиковими каналами для створення проміжного контуру. Як теплоносій у цьому контурі використовується водопровідна вода.

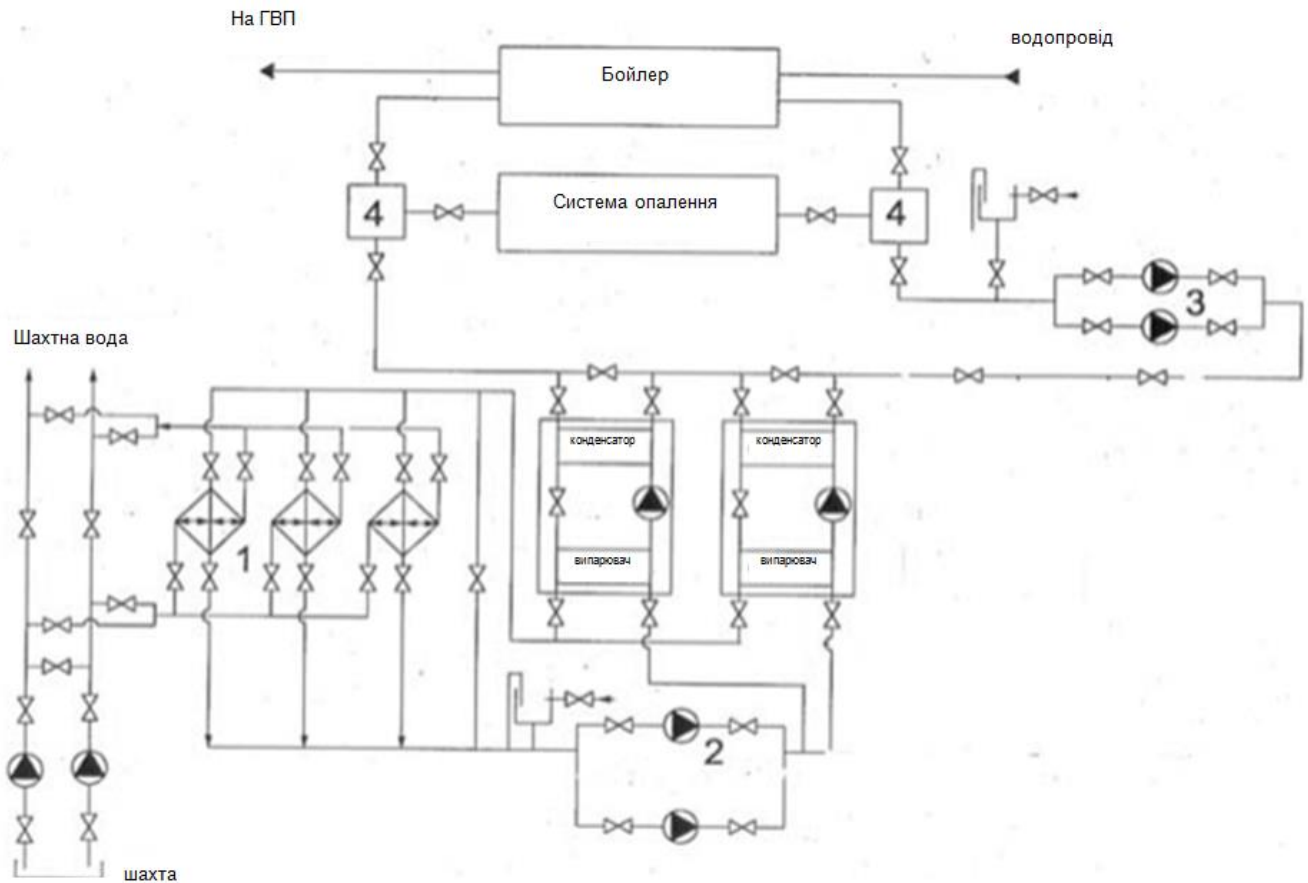


Рис.2.3 Принципова теплова схема ТНС

Для утилізації низькопотенційної теплоти шахтної води необхідне встановлення чотирьох ТНУ одиничною потужністю по 600 кВт кожен. Принципова теплова схема ТНС розроблена (рис.2.3) за умови максимально ефективної утилізації теплової енергії шахтної води. Теплова схема включає наступні контури:

- контур подачі шахтної води, що складається з трьох паралельно з'єднаних спіральних теплообмінників з тупиковими каналами, трубопроводів подачі та повернення шахтної води та відповідної запірної арматури;

- контур низькопотенціального теплоносія випарників ТНУ, що складається з другої порожнини трьох спіральних теплообмінників з тупиковими каналами, трубопроводів замкнутого контуру з відповідною арматурою та трьох циркуляційних насосів К150-125-250. Підживлення контуру здійснюється водопровідною водою через розширювальний бак. Враховуючи незначний тиск у контурі та низьку температуру теплоносія в ньому, для трубопроводу застосовано

поліетилен низького тиску (ПНД). Випарники ТНУ та теплообмінники з'єднані між собою паралельно;

- контур робочої речовини та олії власне ТНУ, що забезпечують трансформацію теплової енергії. ТНУ поставляються у повній заводській готовності;

- контур нагрівається в конденсаторах ТНУ мережевої води, що складається з конденсаторів ТНУ, з'єднувальних трубопроводів із запірною та регулюючою арматурою, двох циркуляційних насосів КМ 80-50-200, прямої та зворотної гребінок, існуючих приладів опалення, а також двох паралельних з'єднань для нагрівачів для нагрівання водопровідної води на ГВП Підживлення контуру здійснюється: у зимовий період хімводоочищеною водою із зворотного трубопроводу системи опалення від ХВО котельні; у неопалювальний період при непрацюючій ХВО котельні - з водопроводу через розширювальний бак. Конденсатори ТНУ між собою з'єднані послідовно з метою можливості роботи зі змінною в часі та просторі температурою конденсації (ступінчастої конденсації робочої речовини), що забезпечує максимальний енергетичний ефект; контур нагрівання водопровідної води для ГВП, що складається з водопідготовчої установки АМО-25-4У, водопровідного лічильника ВТ-100, 2-ї порожнини 2-х водоводяних швидкісних теплообмінних апаратів, а також 2-х насосів сирі води.

Схема працює наступним чином. Шахтна вода головного водовідливу від 2-х трубопроводів Ду300 по перемичці подається паралельно з'єднаних розбірних спіральних теплообмінників, де охолоджується за рахунок теплообміну з охолодженою у випарниках ТНУ водою. Вода з контуру випарників нагрівається на 4,1 °С і подається знову на охолодження у випарники ТНУ. У випарниках ТНУ, з'єднаних між собою паралельно, відбувається випаровування низькокиплячої робочої речовини і при цьому тепла енергія, отримана від шахтної води використовується на фазовий перехід робочої речовини (теплообмін при постійній температурі та тиску). Пари робочої речовини з випарників ТНУ відсмоктуються і стискаються компресором до тиску конденсації (визначається температурою та витратою води, що входить до конденсатора). При стисканні пар компресором підвищується їх тиск і температура, і в результаті при конденсації стислих парів у

конденсаторі ТНУ виділяється теплота фазового переходу (теплота конденсації), приблизно рівна раніше отриманої у випарниках теплоті випаровування, але має велику температуру. Таким чином здійснюється трансформація низькопотенціальної теплової енергії у високопотенційну, при цьому величина високопотенційної теплової енергії, що отримується, дорівнює сумі: енергії, отриманої у випарнику і енергії витраченої па привід компресора.

Конденсатори ТНУ з'єднані послідовно по мережній воді, що нагрівається. Нагріта в конденсаторах мережева вода подається на прямий гребінець, з якого розподіляється на систему опалення та на теплообмінники нагріву води на ГВП. Зворотна мережева вода з теплообмінників та системи опалення АБК збирається на зворотний гребінець і знову подається на нагрівання до конденсаторів ТНУ.

Кількість типорозмірів потужності ТНУ 600 кВт, що випускаються західними фірмами, досить велика. Тому для вибору ТНУ оптимальної конструкції для даних умов та найкращих технічних характеристик було проведено порівняння техніко-економічних показників ТНУ виробництва 2-х провідних західних фірм:

1. GSV111 фірми «Негсо KUNLTECHNIK» (Німеччина), що є провідною у світі з виробництва обладнання для охолодження у гірничо-добувній промисловості.

2. 30HQ370 та 30HQ320 фірми «Carrier» (США), що є провідною у світі з виробництва теплових насосів практично для всіх видів діяльності.

У таблиці 2.2 наведено основні порівняльні характеристики ТНУ зазначених фірм, які наведені до однакових зовнішніх умов:

- температура, що входить у випарник теплоносія (ІНПТ) - 11 °С;
- температура, яка виходить із конденсатора мережної води - 70 °С.

Таблиця 2.2

Порівняльні характеристики тепло насосних агрегатів

Назва	Одиниця вимірювання	GSV-111 Негсо	30HQ370 Carrier
-------	---------------------	------------------	--------------------

Теплопродуктивність	кВт	605	560
Холодопродуктивність	кВт	355	344
Споживана електрична потужність	кВт	280	223
Коефіцієнт перетворення	-	2,16	2,51
Тип компресора	-	гвинтовий	напівгерметичний, поршневий
Робоче тіло	-	R134A	R134A
Кількість компресорів	шт	1	6
Кількість незалежних контурів циркуляції РТ	шт	1	2
Повна заправка РТ	кг	140	184
Повна заправка маслом	кг	260	80
Діапазон регулювання теплопродуктивності	%	10	11
Прилад для регулювання подачі РТ у випарювач	-	поплавковий	FlororonicII
Кількість:	шт		
Конденсаторів		1	2
Випарювачів		1	1
Витрата теплоносіїв через:	м <sup>3</sup> /год		
Випарювач		75	50
Конденсатор		52	47
Гідравлічний опір:	м.в.ст.		
Випарювач		3	0,9
Конденсатор		3	1,3
Встановлена одинична	кВт	315	45

потужність електродвигуна			
Маса агрегату з повною заправкою	кг	6750	7620
Необхідна площа для агрегату	м <sup>2</sup>	14,4	11,9
Наявність маслоохолоджувача	-	є	є
Ціна агрегату	дол. США	220779	170300

Як видно з порівняльних характеристик ТНУ GSV-111 і 30HQ370, практично всі показники мають великі відмінності між собою, що говорить про різні підходи фірм до вирішення однієї задачі. інші показники машини 30HQ370 кращі, ніж у G5Y-111. Тому необхідний додатковий аналіз порівняльних характеристик, у тому числі питомих показників за такими факторами: енергетичними, питомими вартісними, габаритними, надійними, електричними тощо.

1. Енергетичний фактор. Як очевидно з таблиці 2.1, коефіцієнт перетворення машини 30HQ370 на 14% вище, ніж в GSV - 111. Це пояснюється кращими термодинамічними показниками стиснення поршневих компресорів, ніж гвинтових.

2. Одинична, встановлена електрична потужність електродвигуна 30HQ370 у 7 разів менше, ніж у GSV-111. Це значно знижує пускові струми та спрощує підключення їх до енергосистеми.

3. Питома заправка R134A у машини 30HQ370 становить 0,33 кг/кВт, а машина GSV-111 - 0,23 кг/кВт, тобто на 30% більше.

Питома заправка маслом машини 30HQ370 становить 0,14 кг/кВт, а машини GSV -111 - 0,43 кг/кВт, тобто на 67% менше.

4. Питома металомісткість. Для машини 30HQ370 – 13,6 кг/кВт; для машини GSV-111-11,1 кг/кВт., тобто. у машини 30HQ370 на 18% більше.

5. Надійність. При виході з ладу 1 компресора у машини 30HQ370 теплопродуктивність зменшується на 16%, а у машини GSV – 111 – на 100%. При



виході з ладу будь-якого апарату або трубопроводу робочої речовини у машини 30HQ370 теплопродуктивність зменшиться на 50%, а у машини GSV-111 – на 100%. Таким чином, надійність машини 30HQ370 видається вищою, ніж у GSV-111.

6. Питома площа, необхідна розміщення машини 30HQ370 становить 0,020 м<sup>2</sup>/кВт, а машини GSV - 111 - 0,024 м<sup>2</sup>/кВт.

7. Для машини 30HQ370 питома вартість дорівнює 304 дол. США/кВт, для машини GSV-111 питома вартість - 305 дол.

Враховуючи, що у машини 30HQ370 енергетичні, габаритні, вартісні показники кращі, а також надійність її вища, ніж у машини GSV-111 є кращою установка ТНУ фірми Carrier (США).

Для визначення ефективності застосування ТНУ у системі тепlopостачання шахти «Зенківська» проведено порівняння основних техніко-економічних показників ТНУ фірми «Негсо» та «Carrier» порівняно з існуючою котельнею. Результати порівняння наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

#### Порівняння техніко-економічних показників тепlopостачання

Назва	Одиниця вимірювання	Негсо	Carrier	Котельня
Річне споживання теплової енергії	тис.Дж/рік	50	50	50
Річне вироблення теплової енергії	тис.Дж/рік	50	50	55
Середньорічний коефіцієнт перетворення	-	2,59	4,61	-
Річна витрата електроенергії на вироблення теплової енергії	млн кВт год/рік	5,36	4,61	-
Річна витрата первинного палива на вироблення	т.у.п./рік	1705	1466	2750

теплової енергії				
Річна економія палива на котельні: Умовного Натурального	т.у.п./рік	-	-	275 3095
Річна економія первинного палива у системі теплопостачання	т.у.п./рік	1045	1284	-
Капіталовкладення	дол США	883196	631500	-

За екологічними показниками розроблена ТНС є абсолютно чистим виробництвом, оскільки не має жодних шкідливих викидів у навколишнє середовище і за всіма вимогами відповідає кращим світовим стандартам. При цьому використання ТНС запобігає спалюванню не менше 3095 т вугілля на рік у котельні з усіма наслідками. Застосування ТНС дозволить скоротити кількість викидів у довкілля:

- сажі, золи – 87 т/рік; оксидів вуглецю - 52 т/рік; оксидів сірки – 17 т/рік; оксидів азоту – 16 т/рік.

#### **2.4. Дослідно-промислова технологія утилізації низькопотенційного тепла на шахті «Осинниківська»**

В даний час теплопостачання ВАТ «Шахта Осинніковська» ЗАТ УК «Южкузбасвугілля» здійснюється від вугільної котельні. У котельні встановлено: один паровий котел КЕ-10 – для гарячого водопостачання адміністративної будівлі та об'єктів промислового майданчика шахти; чотири котли КТВС-20 - для підтримки необхідної температури повітря в шахті та обігріву стволів у зимовий час. При спалюванні вугілля в атмосферу викидаються шкідливі продукти згоряння (сажа, оксиди сірки, азоту, вуглецю тощо), що ускладнює екологічну обстановку у м. Осинники. У той же час, вартість вугілля безперервно підвищується.

З метою зниження кількості вугілля, що спалюється в котельні, пропонується створити базову дослідну установку з утилізації теплоти скидних шахтних вод за допомогою ТНУ, яка дозволить трансформувати низькопотенційну теплоту шахтних вод із цілорічною температурою 9-11 °С до температур, придатних для теплопостачання та гарячого водопостачання.

Для утилізації низькопотенційної теплоти скидних шахтних вод пропонується встановити тепловий насос НТ-300. Принципова схема дослідної базової технології утилізації низькопотенційного тепла шахтних вод наведена на малюнку (рис 2.4).

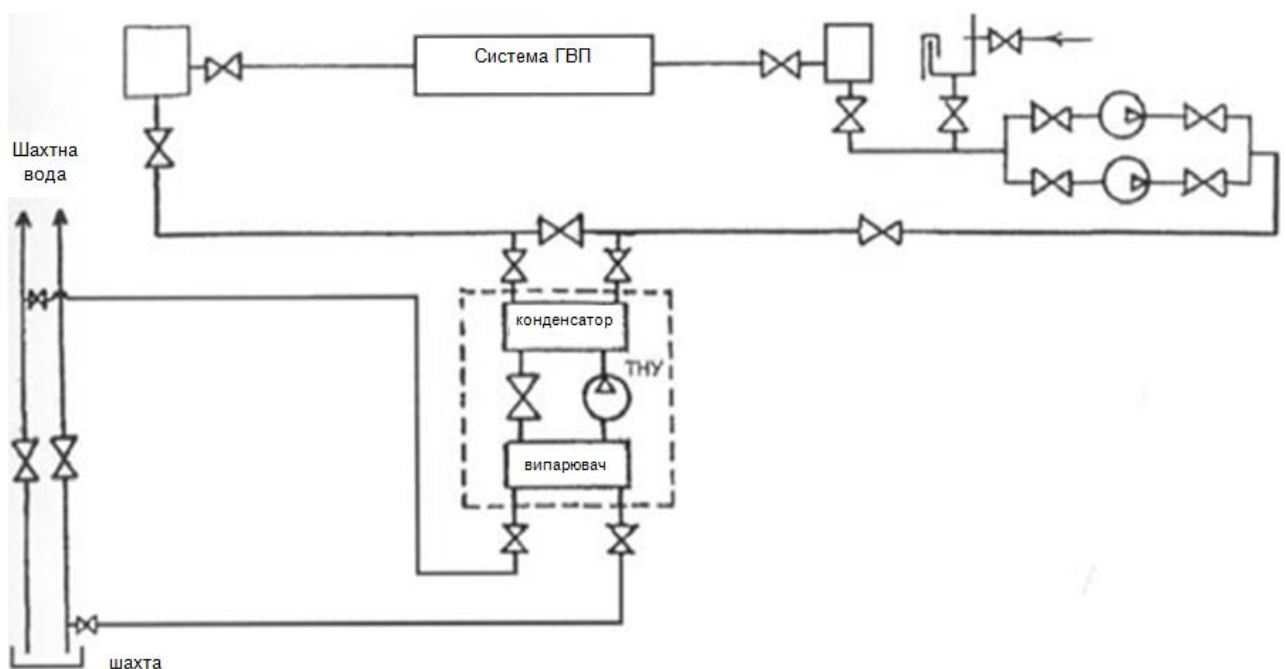


Рис.2.4 Дослідна базова технологія утилізації низькопотенційного тепла шахтних вод

Базова технологічна схема включає наступні контури:

- контур подачі шахтної води та повернення шахтної води та відповідної запірної арматури;
- контур робочої речовини та олії власне ТНУ, що забезпечують трансформацію теплової енергії. ТНУ поставляється у повній заводській готовності;

- контур водопровідної води, що нагрівається в конденсаторі ТНУ, що складається з конденсатора ТНУ, з'єднувальних трубопроводів із запірною та регулюючою арматурою.

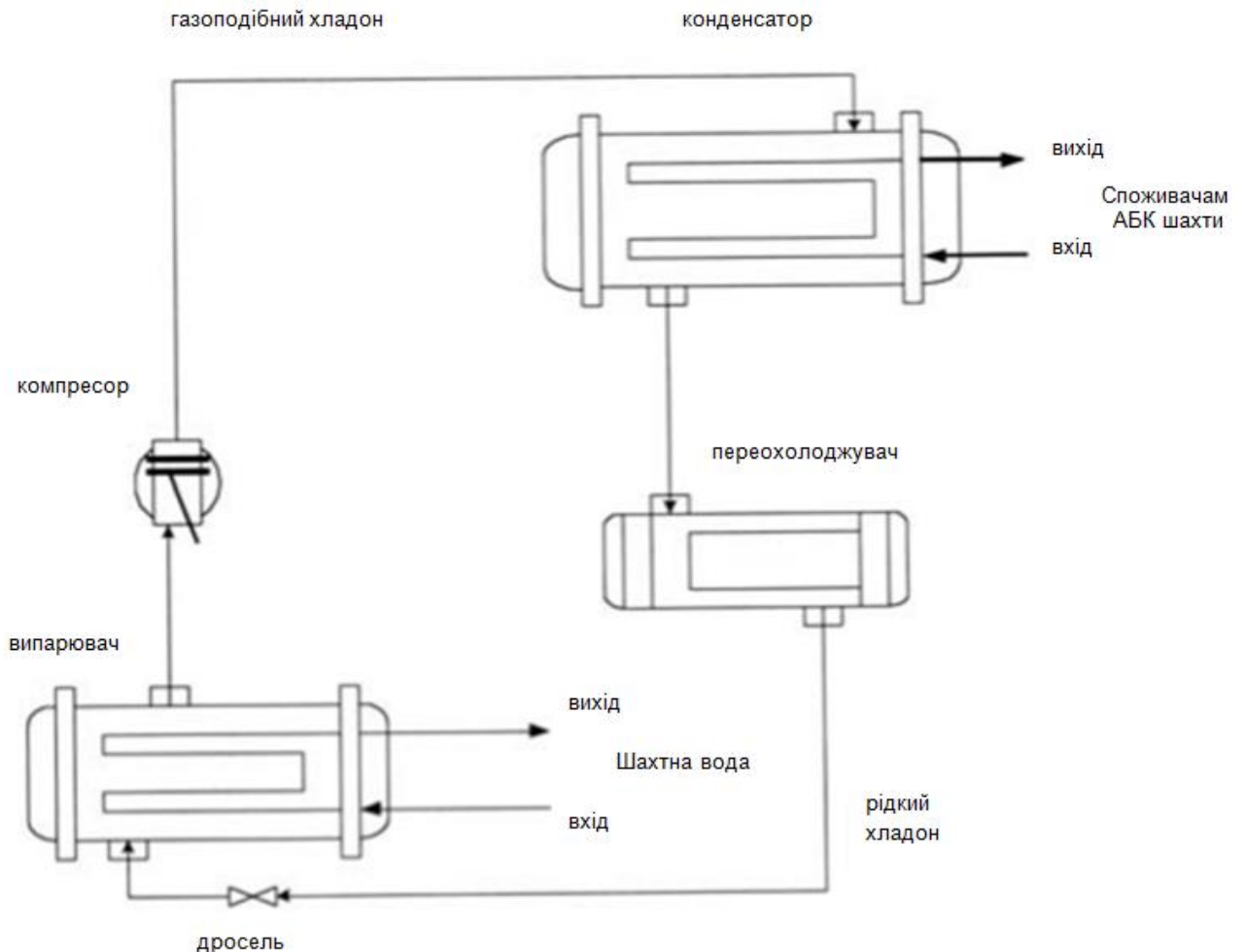


Рис.2.5 Схема роботи ТНУ

Схема роботи ТНУ (рис. 2.5) наступна: шахтна вода головного водовідливу по відгалуженню подається у випарник ТНУ, де охолоджується за рахунок віддачі тепла холодоагенту, що витрачається на випаровування. Нагріта в конденсаторі водопровідна вода подається в ємності бойлерної і насосами в систему гарячого водопостачання адміністративної будівлі шахти.

Для підвищення ефективності роботи в контур теплового насоса включений переохолоджувач, в який по перемичці з головного водовідливного ставу подається шахтна вода, що охолоджує робочої речовини.

2001 р. на шахті «Осинниківська» вперше запроваджено дослідно-промислову технологію утилізації низькопотенційного тепла шахтних вод для гарячого водопостачання шахти. У технологічну схему включений тепловий насос виробництва ЗАТ «Енергія», теплопродуктивність якого становить 110 кВт.

Установка екологічно чистим способом дає 100 м<sup>3</sup> на добу гарячої води, необхідної для гарячого водопостачання шахти, та виключає з роботи шахтну котельню влітку. Як джерело низькопотенційного тепла використовуються шахтна вода водовідливу шахти, яка подається у випарник теплового насоса.

Для утилізації низькопотенційної теплоти шахтної води встановлювався один тепловий насос потужністю 110 кВт.

Теплова схема включає наступні контури:

- контур подачі шахтної води та повернення шахтної води та відповідної запірної арматури;
- контур робочої речовини та олії власне ТНУ, що забезпечують трансформацію теплової енергії. ТНУ поставляються у повній заводській готовності;
- контур водопровідної води, що нагрівається в конденсаторах ТНУ, що складається з конденсатора ТНУ, з'єднувальних трубопроводів із запірною та регулюючою арматурою.

Схема працює наступним чином: шахтна вода головного водовідливу за відгалуженням подається у випарник ТНУ, де охолоджується за рахунок віддачі тепла, що витрачається на випаровування холодоагенту.

Нагріта в конденсаторі водопровідна вода подається в бойлерну ємність. Для підвищення ефективності роботи теплового насоса в контур робочої речовини включений переохолоджувач, який по перемичці з головного водовідливного ставу подається шахтна вода, що охолоджує.

Експлуатація підтвердила високі техніко-економічні та екологічні показники: зниження собівартості теплової енергії, що виробляється 1 Гкал, у 2,5 рази, порівняно з теплом, що отримується від вугільної котельної шахти; повне відключення шахтної котельні, що спалює вугілля у літній та осінньо-зимовий час

та виключення шкідливих викидів в атмосферу, що утворюються при спалюванні вугілля, та штрафів за ці викиди (див. таблицю 2.4).

<b>Показники</b>	<b>Одиниця вимірювання</b>	<b>До впровадження ТНУ</b>	<b>Після впровадження ТНУ</b>
Річна витрата електроенергії на вироблення тепла	тис.кВт год	1441	1156
Річні експлуатаційні витрати на електроенергію	тис.грн	340	243
Собівартість вироблення 1 Гкал	грн	164	78
Економічні збитки за викиди в атмосферу	тис.грн	271	-
Економія	тис.грн	-	474
Строк окупності	років	-	1,5

## **2.5. Схема ТНУ в системі тепlopостачання шахти, з утилізацією теплоти шахтних вод на шахті ім. В. М. Бажанова**

Значний інтерес як джерело теплоти представляють шахтні води, тобто води, що відкачуються з шахти з метою запобігання затопленню виробок при видобутку вугілля. Оскільки їх температура при подачі на поверхню лежить у діапазоні +10...+25 °С, вони цікаві як джерело теплоти значно вищого потенціалу, ніж вищезгадані ґрунтові води невеликих глибин залягання. Іншою їх перевагою є можливість розміщення теплообмінників не в ґрунті (на значних глибинах та при суттєвих площах, що займають розвинені трубні колектори), а на поверхні землі в безпосередній близькості від ТНУ [2, 3]. Крім того, витрати енергії на прокачування теплоносія через ці теплообмінники порівняно невеликі і істотно менше, ніж при забезпеченні циркуляції теплоносія в згаданих трубних колекторах. Таке джерело низькопотенційної теплоти, за відсутності прилеглих водойм, є найкращим для забезпечення споживачів теплоносієм за допомогою ТНУ. Складність полягає в

тому, що можлива теплова потужність ТНУ в цьому випадку обмежується дебетом води, що відкачується, і її температурою.

Розроблена бівалентна схема ТНУ, яка працює на теплоті шахтних вод, що відкачуються на шахті ім. В. М. Бажанова, органічно вписується у теплову схему системи тепlopостачання шахти (рис. 2.6).

На схемі прийнято такі позначення: В1 – господарсько-питний водопровід; В3 – трубопроводи хімочищеної води; В9 – підземна шахтна вода; Т1 – контур теплогенератора; Т2 – контур системи тепlopостачання; Т3 – проміжний контур із тепловим насосом; Х – контур циркуляції холодоагенту.

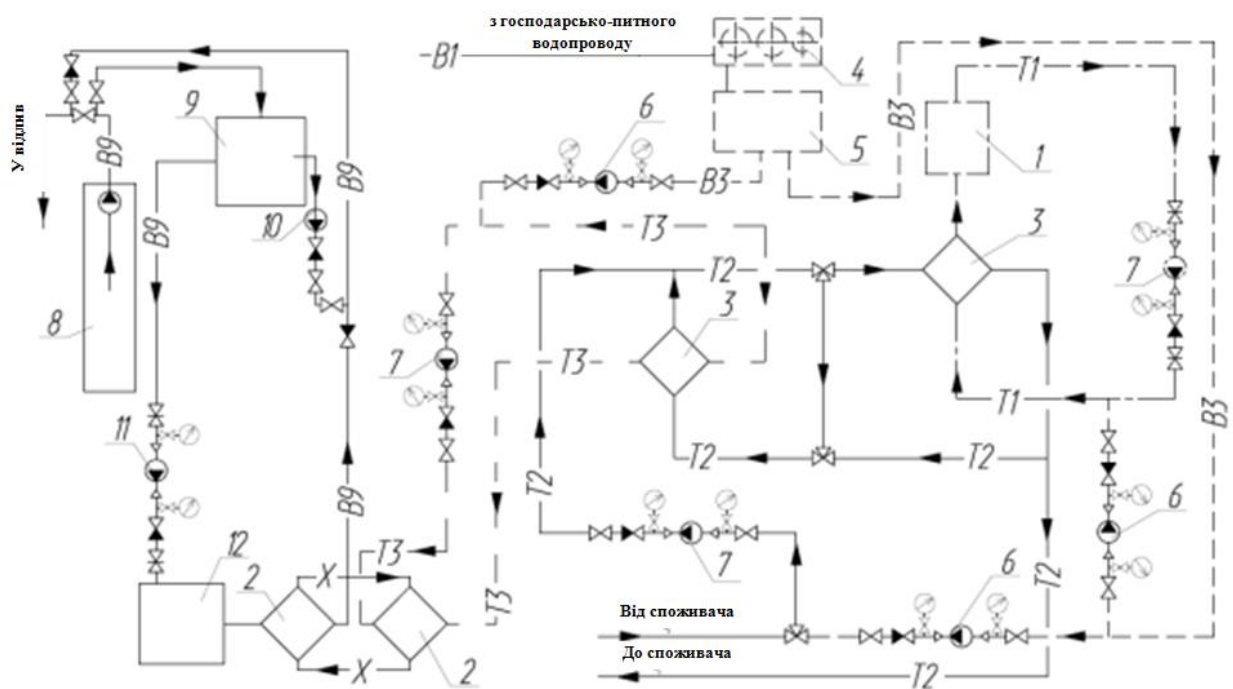


Рис.2.6 Бівалентна теплова схема ТНУ: 1 – теплогенератор на органічному паливі; 2 – випарник та конденсатор ТНУ; 3 – теплообмінники проміжних контурів; 4 – система хімводоочищення; 5 – бак запасу хімочищеної води; 6 – насосні групи підживлювальних насосів; 7 – насосні групи циркуляційних насосів; 8 – шахтний ствол; 9 – ємність запасу та попереднього освітлення шахтної води; 10 - шламовий насос для видалення мулу; 11 – насос шахтної подачі води; 12 – апарат електромагнітної обробки води

Аналіз розрахунків та побудованого за ними річного графіка споживання теплоти дозволяє зробити висновок, що за допомогою непрямого тепла – теплоти шахтних вод – можна покривати до 20 % від загального теплового навантаження шахти у найхолодніший період року. Слід наголосити, що в масштабах усіх шахт економія паливно-енергетичних ресурсів може бути значною. Запропонована ТНУ може бути використана для охолодження приміщень підприємства у спекотний період року, тобто наведена теплова схема може бути доповнена схемою централізованого кондиціонування будівель шахти.

Запропонована теплова схема з ТНУ для використання теплоти шахтних вод, крім того, дозволяє використовувати місцеві види палива, а саме шахтний метан.

## **2.6. Теплонасосна установка для утилізації бросового тепла шахтної води шахти «Благодатна»**

Для умов шахти «Благодатна» температура шахтної води не опускається нижче 16...17 °С, продуктивність шахтного водовідливу – не менше 200 м<sup>3</sup>/год. З метою зниження оплати за спожиту електроенергію відкачування шахтної води виробляється у нічний час, коли діє пільговий тариф сплати за спожиту електроенергію. Відповідно, у цей же час повинна працювати і теплонасосна установка для підготовки гарячої води. Температура води, що подається до системи ГВП шахти, становить 42 °С. Добова витрата води на гаряче водопостачання – 120 м<sup>3</sup>. Джерелом води для системи ГВП є магістральний трубопровід господарсько-питного водопостачання шахти [13].

Щоб забезпечити незалежність роботи систем підготовки та витрачання гарячої води, передбачено її накопичення у п'яти баках-акумуляторах загальною ємністю 100 м<sup>3</sup>.

З метою підвищення регульовальних властивостей установки, її надійності, забезпечення можливості здійснення об'єктивної діагностики стану теплообмінних апаратів та обслуговування теплонасосної установки було прийнято:





Споруджена на шахті «Благодатна» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» установка є першою в Україні та найбільш потужною в країнах СНД теплонасосною установкою, яка використовує тепло шахтної води.

Під час створення установки розробники орієнтувалися устаткування вітчизняних виробників, що дозволило суттєво знизити капітальні витрати на створення установки.

Загальне технічне рішення з визначенням параметрів гідравлічних та теплових режимів встановлення розроблено вченими НГУ Основні елементи установки – теплові насоси та теплообмінники шахтної води – спроектовані та виготовлені ПАТ «Рефма». Робочий проект теплонасосної установки виконано ДП «Дніпрогіпрошахт». Теплонасосна установка, починаючи від опрацювання технічних рішень і до введення в експлуатацію, була створена в стислі терміни - всього за 8 місяців.

У теплових насосах НКТ-270 виробництва ПАТ «Рефма» застосовано гвинтові напівгерметичні компресори фірми «Bitzer», пластинчасті випарники та конденсатори фірми «Альфа-Лаваль». Холодоагент – ознобезпечний фреон R407C. Малі габарити компресорів та теплообмінного обладнання забезпечили компактність конструкції теплових насосів, що дозволило все обладнання теплонасосної установки розмістити в одному приміщенні з розмірами в плані 10,5 x 12 м.

Розрахункові витрати теплоносіїв у контурах кожного модуля становлять: у контурі шахтної води – 66,7 м<sup>3</sup>/год, у контурі чистої води, що нагрівається для системи ГВП – 5,7 м<sup>3</sup>/год, у проміжному контурі випарника – 63 м<sup>3</sup>/год, проміжному контурі конденсатора – 5,7 м<sup>3</sup>/год. Теплопродуктивність теплових насосів НКТ-270 при температурах кипіння холодоагенту +6,5 ° С та конденсації +55 ° С становить 256 кВт. Установка призначена для роботи в автоматичному режимі і не вимагає постійної присутності обслуговуючого персоналу.

Результати проведених експериментальних досліджень теплонасосної установки показали, що виміряні значення витрат середовищ у контурах,

температур та теплопродуктивності установки добре узгоджуються з розрахунковими.

Фактичні значення коефіцієнтів трансформації тепла теплових насосів, розраховані за експериментальними даними, змінювалися в межах від 3,97 до 4,20, а для теплонасосних модулів (з урахуванням електричної потужності, що споживається водяними насосами) – від 3,32 до 3,53. Ці дані свідчать, що кожен 1 кВт·год витраченої електроенергії забезпечує виробництво в установці до 3,5 кВт · год тепла, з яких 2,5 кВт · год припадає тепло, що відбирається у шахтної води, і підтверджують високу енергетичну ефективність установки.

## **2.7. Висновки до розділу 2**

1. Залежно від джерела низькопотенційної теплоти (забруднені та очищені госппобутові та шахтні води, поверхневі та оборотні води, ґрунт, зовнішнє та витяжне повітря тощо) повинні застосовуватися відповідні технології утилізації.

2. Наразі ТНУ економічно ефективні при витісненні прямого електротеплопостачання та комплексного вироблення тепла та холоду. Ефективність порівняно з газомазутними котельнями істотно залежить від співвідношення цін споживаної електроенергії па привід і зекономленого палива, оскільки питомі капіталовкладення в теплові насоси значно вищі, а також від виду і температури низькопотенційного джерела тепла.

3. Розглянуті вище схеми показують, що використання таких систем дозволяє скоротити витрати на опалення та гаряче водопостачання шахт, знизити залежність від імпорту палива, скоротити забруднення навколишнього середовища, збільшити виробництво теплової енергії, підвищити надійність забезпечення споживачів теплом та гарячою водою.

### РОЗДІЛ 3. ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ШАХТНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

Недолік шахтної води як джерела низькопотенційної теплоти - забрудненість зваженими частинками, хімічна агресивність по відношенню до металів та ін. бажано застосувати схему з проміжним контуром, в якому циркулює чиста вода або низькозамерзаючий холодоносій.

Аналогічний проміжний контур з чистою водою доцільно використовувати і для передачі теплоти від холодоагенту до високопотенційного теплоносія, особливо якщо він рухається в розімкнутому контурі (наприклад, у разі нагрівання води для системи гарячого водопостачання). Схема теплонасосної установки (ТНУ) із проміжними контурами наведена на рис. 3.1, координати  $T$  (температура) і  $s$  (ентропія) показаний термодинамічний цикл теплового насоса [13].

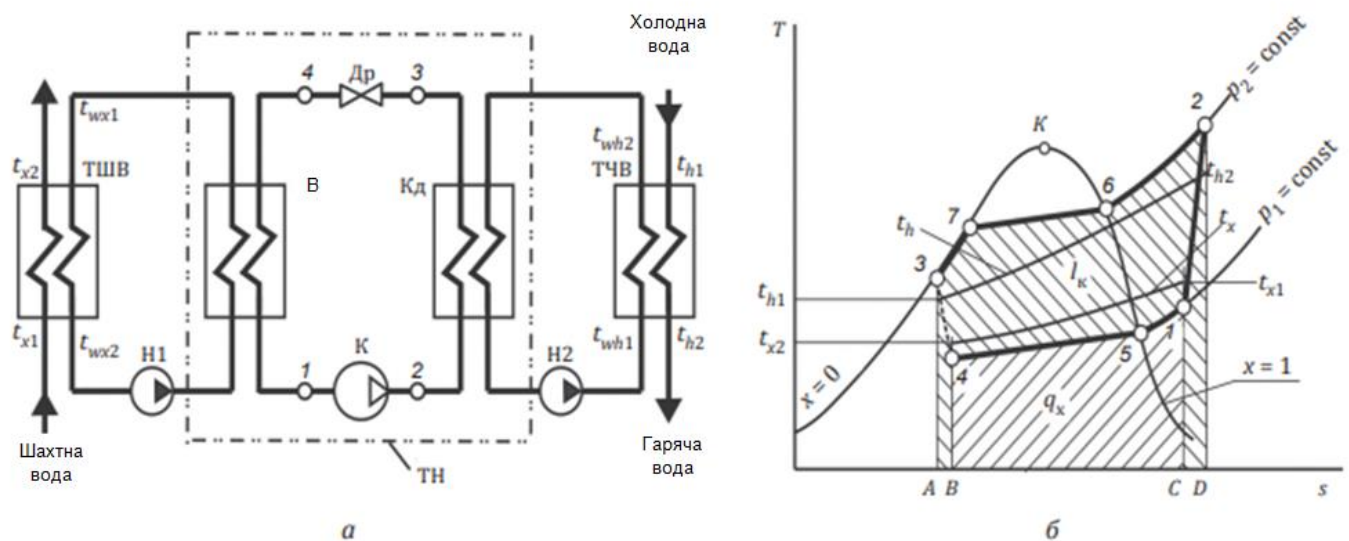


Рис.3.1 Схема теплонасосної установки (а) та термодинамічний цикл (б) теплового насоса: ТН – тепловий насос; К – компресор; В – випарник; Кд – конденсатор; Др - дросель; ТШВ та ТЧВ – теплообмінники шахтної та чистої води; Н1 та Н2 – насоси

Тепловий насос, основні елементи якого компресор, конденсатор, випарник і дросель працює по зворотному термодинамічному циклу. Термодинамічний цикл на

рис. 1, б зображений на тлі ліній насиченої рідини, для якої ступінь сухості пари  $x = 0$ , насиченої сухої пари  $x = 1$ , що сходяться в критичній точці К, і ізобар  $p_1 = \text{const}$  і  $p_2 = \text{const}$ , відповідних тискам всмоктування і нагнітання компресора.

В області вологої пари ізобари показані похило, що характерно для сумішових робочих речовин, що киплять при змінній температурі. Лінія 1–2 відображає процес стиснення пари холодоагенту в компресорі, 2–6–7–3 – охолодження, конденсацію та переохолодження конденсату в конденсаторі, 3–4 – дроселювання та 4–5–1 – кипіння та перегрів пари у випарнику. Заштриховані площі фігур В-4-5-1-С-В та А-3-7-6-2-D-С-1-5-4-В-А відповідають кількості теплоти, що відбирається у низькотемпературного джерела (питомої холодильної потужності циклу  $q_x$ ), та питомої роботі компресора  $l_k$ . Сума цих площ дорівнює питомій тепловій потужності циклу  $q_T$ , тобто кількості теплоти, що віддається високотемпературному джерелу (визначається площею фігури А-3-7-6-2-D-А).

Аналітично рівняння енергетичного балансу теплового насоса може бути записане у вигляді

$$q_T = q_x + q_k$$

або

$$Q_T = Q_x + Q_k$$

де  $Q_T, Q_x$ , та  $Q_k$  - теплова потужність холодильна потужність теплового насоса та потужність компресора, кВт.

Потужності та питомі енергетичні параметри пов'язані між собою співвідношеннями:

$$Q_T = m_{p.T} \cdot q_T; Q_x = m_{p.T} \cdot q_x; N_k = m_{p.T} \cdot l_k$$

де  $m_{p.T}$  - масова витрата робочого тіла (холодоагенту) теплового насоса, кг/с.

Ефективність теплових насосів характеризується коефіцієнтом перетворення енергії COP (скорочено від англійської coefficient of performance), що дорівнює відношенню теплоти, переданої високотемпературному джерелу, до витраченої для цього роботи:

$$COP = \frac{q_T}{l_K} = \frac{Q_T}{N_K}$$

Цикл з перегрівом пари у вихідній частині випарника (лінія 5–1) та переохолодженням конденсату (лінія 7–3), який можна здійснити як у самому конденсаторі, так і в окремому апараті, наведено на рис. 1, б.

В результаті перегріву пара ефективність теплового насоса знижується, проте перегрів необхідний, щоб уникнути попадання рідкої фази холодоагенту в компресор і не допустити роботу компресора «вологим ходом», при якому поверхні елементів робочої порожнини піддаються підвищеному зносу.

Переохолодження конденсату за рахунок віддачі теплоти воді, що нагрівається, навпаки, сприяє підвищенню ефективності насоса, оскільки втрати енергії в процесі дроселювання зменшуються і в випарник потрапляє більше рідкої фази. На випаровування більшої кількості рідини витрачається більше низькопотенційної теплоти, внаслідок чого холодильна  $q_x$  та теплова потужність циклу  $q_m$  збільшуються за однакової роботи компресора  $l_k$ . Особливо істотна дія даного фактора у разі застосування теплових насосів у системах гарячого водопостачання, коли початкова температура холодної води, що нагрівається, низька (взимку 5–10 °С, влітку 15–20 °С).

Ефективність теплового насоса зростає при підвищенні температури кипіння  $t_{\text{кип}}$  і зниженні температури конденсації  $t_{\text{кон}}$  холодоагенту. З рис. 3.1 б видно, що при такій зміні температур лінії 2-6-7-3 і 4-5-1 зближуються, холодильна потужність циклу  $q_x$  збільшується, а робота компресора  $l_k$  зменшується. Можливості підвищення  $t_{\text{кип}}$  і зниження  $t_{\text{кон}}$ , однак, обмежуються температурами відповідно шахтної  $t_x$  і  $t_h$  води, що нагрівається (на рис. 3.1, б зміна цих температур у встановленні від початкової до кінцевої, тобто від  $t_{x1}$  до  $t_{x2}$  і від  $t_{h1}$  до  $t_{h2}$ , показано відповідними лініями).

При прагненні температури кипіння холодоагенту до температури шахтної води ( $t_{\text{кип}} \rightarrow t_x$ ) та температури його конденсації до температури води, що нагрівається ( $t_{\text{кон}} \rightarrow t_h$ ), енергетична ефективність ТНУ підвищується, забезпечуючи

зниження кількості споживаної електроенергії, її вартості та експлуатаційних витрат на встановлення. При цьому площа поверхні теплообміну теплообмінних апаратів, їх вартість та капітальні витрати на спорудження ТНУ зростають. З рис. 3.1 б слідує, що найбільше наближення температур холодоагенту до температур шахтної і нагріваючої води спостерігається в точках 1, 4, 3 і 6 термодинамічного циклу. Температурні напори у відповідних цих точках перерізах теплообмінних апаратів будуть визначатися різницями температур:

$$\begin{aligned}\Delta t_1 &= t_{wx2} - t_1; \Delta t_4 = t_{wx1} - t_4; \Delta t_3 = t_{wh1} - t_3; \\ \Delta t_6 &= t_{wh6} - t_6; \Delta t_{x1} = t_{x1} - t_{wx2}; \Delta t_{x2} = t_{x2} - t_{wx1}; \\ \Delta t_{h1} &= t_{wh2} - t_{h1}; \Delta t_{h2} = t_{wh1} - t_{h2}\end{aligned}$$

Де  $t_1, t_3, t_4, t_6$  – температура холодоагенту в точках 1, 3, 4 та 6 циклу;

$t_{wx1}, t_{wx2}, t_{wh1}, t_{wh2}$  – температура води у проміжних контурах на вході та виході з апарату (рис.3.1 а);

$t_{wh6}$  – температура води, в якому починається конденсація холодоагенту.

Різноплановий вплив зазначених температурних натисків на експлуатаційні та капітальні витрати по ТНУ обумовлює існування мінімуму таких економічних критеріїв, як наведені витрати на її спорудження та експлуатацію або термін окупності капітальних витрат.

Для теплонасосних установок, що утилізують теплоту шахтної води з метою гарячого водопостачання, може бути розроблено метод та алгоритми оптимізації температурного та гідравлічного режимів, основних конструктивних параметрів обладнання, що забезпечують мінімум обраного економічного критерію – наведених витрат або терміну окупності. Комп'ютерні програми оптимізації можливо написати у системі Matlab.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ МЕТОДУ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ШАХТНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

### 4.1. Метод утилізації тепла шахтних вод і вентиляційного повітря за допомогою ТНУ

Для підвищення ефективності запропонований авторами метод (рис. 4.1) використовує тепловий насос типу «вода-вода» і тепловий насос типу «повітря-вода» одночасно для вилучення теплової енергії з шахтної води і вентиляційного повітря та нагрівання води до однакової температури, нагріта вода подається в загальний накопичувальний бак, після чого потоки вентиляційного повітря, шахтної води та нагрітої води врівноважуються. Балансування потоків здійснюється за допомогою відповідного обладнання для автоматизації [20].

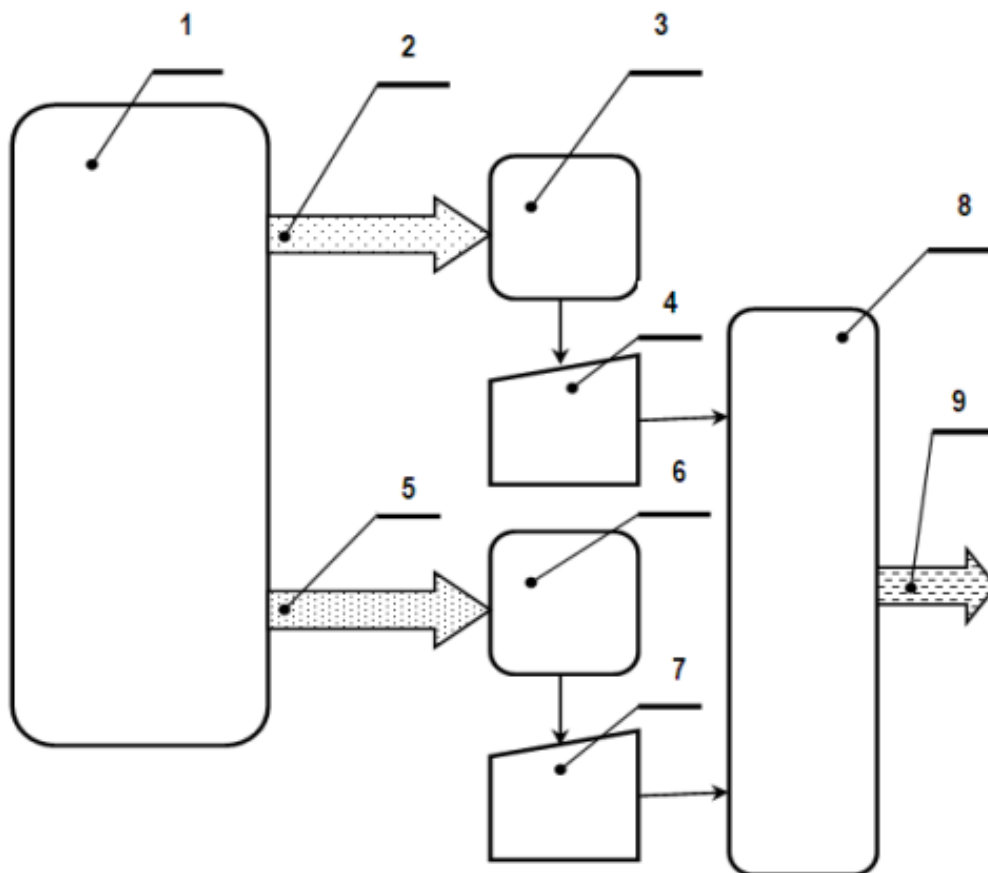


Рис.4.1 Методи отримання теплової енергії з тунелів:



1- тунелі, 2 - вентиляційне повітря, 3-акумуляція вентиляційного повітря, 4 - ТН «повітря-вода», 5 - шахтна вода, 6 - бак шахтної води, 7 – ТН «вода-вода», 8 - бак підігрітої води, 9 – гаряча вода споживачам

Метою такого балансування потоків, яке повинно здійснюватися за допомогою відповідних засобів автоматизації, є максимальне вилучення теплової енергії з шахтного середовища і передача цієї теплової енергії споживачам без втрат. Частина вентиляційного повітря 2 забирається і фільтрується з тунелю 1 і направляється в тунель 1. Вентиляційне повітря 2 забирається і фільтрується з тунелю 1 і направляється в накопичувач вентиляційного повітря 3. Підключений тепловий насос типу «повітря-вода» 4 відбирає теплову енергію з накопичувача вентиляційного повітря 3. Підключений тепловий насос типу «повітря-вода» 4 генерує теплову енергію зі сховища вентиляційного повітря 3 і направляє її в загальний накопичувач підігрітої води 8. Відпрацьоване шахтне повітря відводиться в атмосферу. Одночасно з видаленням вентиляційного повітря 2 з шахти 1 витягується частина шахтної води 5, яка фільтрується і направляється в резервуар для зберігання шахтної води 6.

Підключений тепловий насос типу «вода-вода» 7 отримує теплову енергію з резервуара шахтної води 6 і передає її в загальний резервуар для зберігання нагрітої води 8. Шахтні стічні води скидаються в бак-накопичувач. Вихідні контури теплового насоса 4 і теплового насоса 7 налаштовані на однакову температуру з температурою нагрітої води в загальному резервуарі для зберігання води 8, що забезпечує синхронізовану роботу насосів за рахунок теплової потужності. Крім того, гаряча вода із загального накопичувального бака 8 подається до споживача 9. Потік вентиляційного повітря 2, шахтної води 5 і нагрітої води 9 збалансований для досягнення максимальної ефективності процесу.

Описані вище способи отримання теплової енергії з шахти можуть бути реалізовані різними способами, які залежать від конструктивних особливостей шахти і способу видобутку шахтної води і вентиляційного повітря.

Залежить від способу видобутку вентиляційного повітря:

- одношарове та багатошарове будівництво тунелів;
- однопотокове та багатопотокове відкачування вентиляційного повітря та шахтної води;
- відведення вентиляційного повітря і шахтних вод у віддалені райони і прилеглі водотоки.

Як варіант запропонованого методу розглянемо установку трьох секцій (рис. 2).

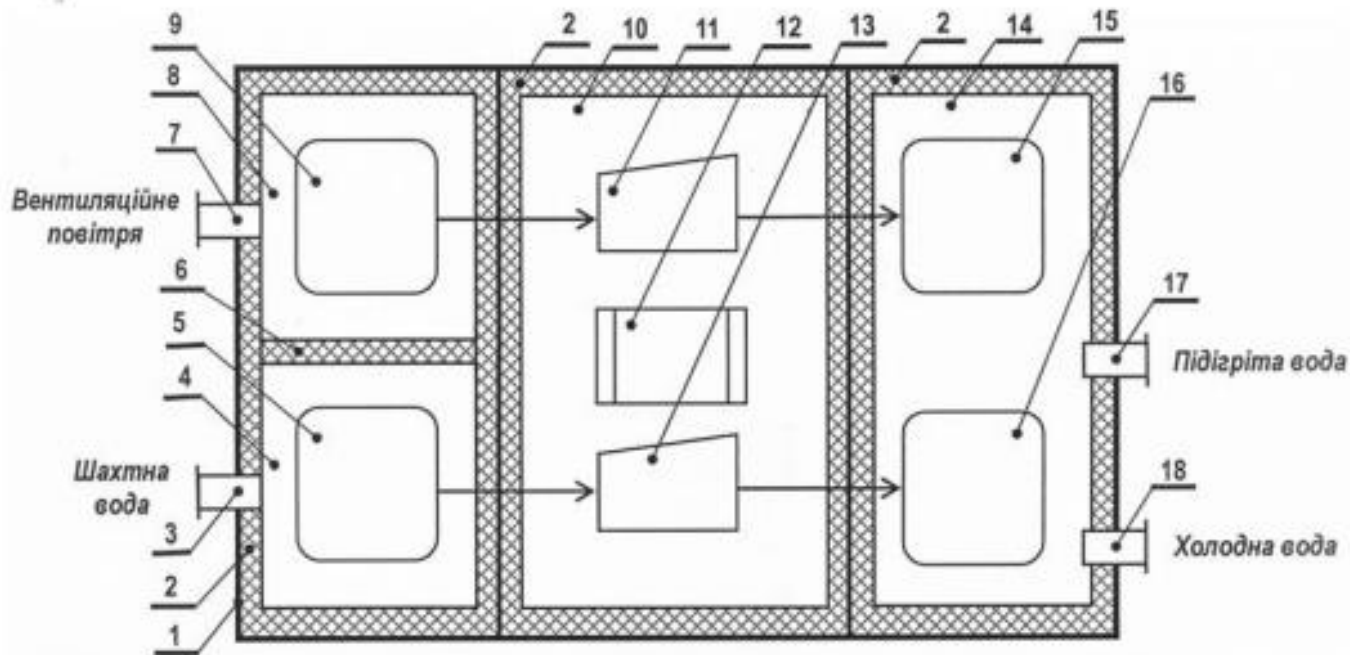


Рис.4.2 Трисекційна установка для виробництва тепла з тунелів:

1 - загальний корпус 3 - секційної установки, 2 - ізоляція секцій, 3 - трубопроводи подачі шахтної води, 4 - накопичувач шахтної води, 5 - теплообмінники шахтної води, 6 - ізоляційні перегородки, 7 - трубопроводи подачі вентиляційного повітря, 8 - акумулятори вентиляційного повітря, 9 - теплообмінники вентиляційного повітря, 10 - робочий простір проміжної секції, 11 - ТН повітря-вода, 12 - панель управління установкою, 13 - ТН типу «вода-вода», 14 - загальні резервуари опалювальної води, 15 - вихідний теплообмінник теплового насоса, 16 - вихідний теплообмінник теплового насоса, 17 - трубопровід подачі охолодженої води теплового насоса, 18 - трубопровід подачі охолодженої води теплового насоса, 19 - трубопровід подачі охолодженої води теплового насоса

Відібрана і відфільтрована частина шахтної води по трубопроводу 3 направляється в накопичувач шахтної води 4 з теплообмінником 5, а відібрана і відфільтрована частина вентиляційного повітря по трубопроводу 6 направляється в накопичувач вентиляційного повітря 7 з теплообмінником 8.

Між резервуаром шахтної води 4 і накопичувачем вентиляційного повітря 8 розміщена ізоляційна перегородка 6, а відпрацьоване шахтне повітря направляється в накопичувач вентиляційного повітря 7, який обладнаний теплообмінником 5 скидається в атмосферу, а охолоджена шахтна вода утилізується у водоймі-накопичувачі (не показано).

У середньому робочому просторі установки 10 встановлено ТН типу «повітря-вода» 11, пульт управління 12 та ТН типу «вода-вода» 13. ТН «повітря-вода» 11 відбирає теплову енергію з вентиляційного повітряного теплообмінника 8 і через теплообмінник 15 передає її в загальний теплообмінник 13.

ТН «повітря-вода» 11 відбирає теплову енергію від вентиляційного повітряного теплообмінника 8 і через теплообмінник 15 передає її в загальний бак-накопичувач гарячої води 14 (на рисунку 2 напрямок передачі енергії показано стрілками). Одночасно ТН «вода-вода» 13 відбирає теплову енергію від теплообмінника шахтної води 5 і через теплообмінник 16 передає її в загальний бак-накопичувач підігрітої води 14. Стабільна температура нагрітої води, що подається споживачеві, досягається за рахунок налаштування вихідних контурів теплових насосів 11 (теплообмінник 15) і 13 (теплообмінник 16) в загальному баку-накопичувачі гарячої води 14 на однакову температуру стабілізує температуру гарячої води, що подається споживачеві. У загальному баку-накопичувачі гарячої води 14, через теплообмінники 15 і 16 нагрівається і подається споживачеві по вихідному трубопроводу 17, а холодна вода від споживача подається в загальний бак 14 для підігріву по подавальному трубопроводу 18. Пульт управління 12 контролює дане балансування теплового потоку.

Перевагами запропонованої трисекційної установки є те, що всі компоненти установки розташовані в трьох ізольованих секціях загального корпусу, а ізольовані перегородки в бічних секціях між баком-накопичувачем колодязної води і баком-

накопичувачем вентиляційного повітря запобігають втратам тепла всередині і зовні корпусу. Панель управління установкою розташована в центрі корпусу поруч з тепловим насосом, балансуючи тепловий потік і забезпечуючи оптимальне управління процесом.

Процес оптимально контролюється за критерієм максимальної ефективності отримання теплової енергії з шахтної води і вентиляційного повітря одночасно. Спільне зберігання води, нагрітої теплообмінником теплового насоса, гарантує стабільну температуру при подачі споживачеві.

#### **4.2. Економічний потенціал впровадження теплонасосних технологій**

Для оцінки економічного ефекту від застосування теплонасосної технології необхідно мати величину наведених річних витрат для альтернативного (традиційного) генератора тепла.

Досяжний економічний ефект може бути пов'язаний не тільки з економією палива. Як правило, вище, ніж обладнання традиційних генераторів тепла.

Загалом економічність, доцільність та практична можливість реалізації проекту тепlopостачання за допомогою теплових насосів залежить від поєднання ряду факторів:

- вид та параметри (насамперед температурні) джерела низькопотенційного тепла (ДНТ);
- наявність споживача високопотенційного тепла з прийнятними параметрами ДВТ, насамперед температурними;
- наявність ефективного ТН необхідного типу;
- доцільність реалізації проекту з погляду одержуваної економії палива, що залежить від поєднання перших трьох факторів;
- економічна ефективність проекту, яка, крім доцільності за попереднім пунктом, залежить від багатьох вартісних показників: необхідних капітальних вкладень, тарифів на електроенергію, паливо, воду та ін.;
- наявність коштів на реалізацію проекту на підприємстві або в регіоні;

- справжня зацікавленість замовника у реалізації проекту та його рішучість здійснити ідею. В умовах функціонування системи централізованого теплопостачання в містах існують великі можливості повторного залучення величезного потенціалу низькопотенціальної теплоти (ПНТ) теплових потоків і викидів на енергооб'єктах СЦТ в паливно-енергетичний баланс (ПЕБ) міського енергогосподарства, і, в першу чергу, за рахунок впровадження енерго теплонасосної технології.

Оцінка доцільності застосування теплонасосних технологій можлива лише для конкретних умов та базується на порівнянні енергетичної та економічної ефективності традиційних генераторів тепла та теплових насосів різних типів. Для об'єктивної оцінки розроблено методику та проведено аналіз різноманітних факторів, що впливають на енергетичну та економічну ефективність теплових насосів.

Первинним та загальноприйнятим критерієм енергетичної ефективності теплових насосів є коефіцієнт перетворення  $\rho$  - відношення відданого споживачеві тепла до витраченої енергії.

Величина коефіцієнта перетворення залежить від необхідної температури для споживача і температури холодного джерела, термодинамічних властивостей робочої речовини та особливостей термодинамічного циклу ТН, технічної досконалості конструкції теплового насоса. У першому наближенні вважатимуться, що коефіцієнт  $\rho$  залежить переважно від різниці температур. Чим менша ця різниця, тим вищий коефіцієнт  $\rho$ . Для високої ефективності ТН необхідно мати ДНТ з найбільш високою температурою та по можливості нижчу необхідну температуру ДВТ.

Наявність зручних джерел низькопотенційного тепла, які мали б узимку і влітку досить високу температуру, не вимагали б великих витрат на їх перекачування і не викликали б корозії теплообмінних апаратів і труб - одна з найважливіших умов раціонального застосування ТН для теплопостачання.

Джерела низькопотенційного тепла для теплових насосів можна умовно поділити на два види. По-перше, це природні джерела тепла: вода (поверхнева і

глибинна, включаючи термальні води), повітря, ґрунт, сонячна радіація тощо. вторинні низькопотенційні енергоресурси (ВЕР): викидне повітря систем вентиляцій, очищена вода станцій аерації, вода, що підлягає охолодженню в системах технічного водопостачання промислових підприємств, скидне тепло систем охолодження машин (гідрогенераторів, трансформаторів і синхронних компенсаторів на електричних підстанціях.

Штучним джерелом ДНТ може бути тепло, що відводиться в процесі термостатування (охолодження) технологічного процесу. Одночасне вироблення холоду і теплотрасформаторами, що корисно використовується, - найбільш енергетично і економічно вигідні варіанти застосування. Вдале поєднання параметрів ДНТ та необхідних параметрів теплоти у споживача – друга найважливіша умова ефективного застосування ТН. Зближення температур ДНТ та ДВТ досягається вдосконаленням систем використання тепла. Так, наприклад, для сучасної системи опалення підлоги достатньо температури 25-35 °С, тоді як для традиційної системи опалення ДВТ повинен мати температуру 70-100 °С.

Порівняння коефіцієнтів перетворення достатньо оцінки енергетичної ефективності теплових насосів одного типу.

Економічна ефективність подібних проектів може бути оцінена системою показників, що відображають співвідношення обсягів початкових вкладень і майбутніх грошових доходів від них. Так як показники, що порівнюються, можуть відноситися до різних часових періодів, необхідно привести їх значення до вартості на момент порівняння (дисконтування), шляхом множення на коефіцієнт дисконтування

$$K_D = \frac{1}{1 - F}$$

Де F - норма дисконту, що дорівнює прийнятній для інвестора нормі доходу на капітал.

Оцінка витрат та результатів здійснюється в межах розрахункового періоду (горизонту розрахунку), тривалість якого вимірюється у місяцях, кварталах, роках. До найпоширеніших показників оцінки інвестиційних проектів відносяться:

- Чистий дисконтований прибуток (NPV);
- Індекс доходності (PI);
- Внутрішня норма доходності (IRR);
- Термін окупності (PP).

Чистий дисконтований прибуток (NPV) визначається різницею між дисконтованими грошовими доходами за весь розрахунковий період та інвестиціями. Розглянемо два випадки:

1) Інвестиції здійснюються протягом одного року

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{P_t}{(1+F)^t} - K$$

де  $T$  – період розрахунку, рік;

$P_t$  – величина прибутку, що досягається за  $t$ -й рік, руб.;

$K$  – величина інвестицій.

2) Інвестиції вкладаються протягом  $n$ , років

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{P_t}{(1+F)^t} - \sum_{j=1}^n \frac{K_j}{(1+i)^j}$$

де  $i$  – середній рівень інфляції протягом року;

$K_j$  – інвестиції за  $j$ -й рік;

$n$  – кількість років окупності проекту.

Проект буде вважатися перспективним, якщо  $NPV > 0$ . Якщо  $NPV < 0$ , від вкладень слід відмовитися.

Індекс прибутковості (PI) визначається ставленням дисконтованих грошових доходів за весь розрахунковий період до величини інвестицій

$$PI = \sum_{t=1}^T \frac{P_t}{(1+F)^t} \div K$$

Якщо  $PI > 1$ , то проект слід вважати прибутковим. У разі коли  $PI < 1$  проект слід вважати збитковим.

Під внутрішньою нормою доходності (IRR) розуміється норма дисконту (F), коли він NPV дорівнює нулю.

$$NPV = f(Fm) = 0$$

Таким чином, її можна визначити рішенням неявного рівняння

$$\sum_{t=1}^t \frac{P_t}{(1 + F_{IRR})} = K$$

Внутрішню норму доходності (IRR) можна визначити за формулою

$$IRR = r_1 + \frac{f(r_1)}{f(r_1) - f(r_2)} \cdot (r_2 - r_1)$$

де  $r_1$  – значення табульованого коефіцієнта дисконтування, при якому  $f(r_1) > 0$

$r_2$  - значення табульованого коефіцієнта дисконтування, у якому  $f(r_2) > 0$  (чи  $f(r_2) < 0$ );

Розраховане значення IRR порівнюється з необхідною нормою доходу капіталу. Якщо IRR дорівнює необхідній нормі або більше за неї, то проект визнається ефективним.

Термін окупності (PP) - це період, починаючи з якого початкові вкладення та інші витрати, пов'язані з інвестиційним проектом, що покриваються сумарними результатами від його здійснення.

$$PP = n, \text{ при якому } \sum_{t=1}^n P_t > K$$

Розрахунки, виконані для теплонасосних установок, дозволяють вважати, що термін окупності первинної енергії завжди дуже малий і, безумовно, нижче за термін окупності капіталовкладень.

В цілому на основі енергетичної оцінки теплових насосів за допомогою коефіцієнтів перетворення та тепловикористання можна розрахувати ступінь використання первинної енергії і, отже, дати енергетичну оцінку, визначити термін окупності первинної енергії та отримати коефіцієнти перетворення, що безумовно перевищують мінімальні значення.



### **4.3. Висновки до розділу 4**

1. Щоб оцінити економічний ефект від використання технології теплових насосів, необхідно оцінити величину зниження річних витрат на альтернативні (традиційні) теплогенератори.

2. Досяжний економічний ефект може бути пов'язаний не тільки з економією палива. Як правило, вона вище, ніж у пристрою традиційного теплогенератора.

3. В цілому, економічна ефективність, доцільність і практична здійсненність використання теплового насоса для реалізації проекту тепlopостачання залежить від поєднання декількох факторів.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень отримано нове вирішення **актуального наукового завдання**, встановлення закономірностей тепломасообмінних процесів, які протікають при використанні шахтної води як джерела низькопотенційної теплоти, на основі яких можна зробити наступні висновки.

1. Для нормальних умов експлуатації шахт потрібне безперервне функціонування водовідливого господарства. Для відкачування шахтної води на поверхню безповоротно губиться її водний і тепловий потенціал і у величезних кількостях витрачається електроенергія. Встановлено, що із закриттям шахт обсяги вод, що відкачуються, не зменшуються.

2. Використання шахтної води як джерело низькопотенційної теплоти значно спрощує систему її збору та подачі до теплових насосів, що робить вугільні шахти з великим припливом води вельми привабливими об'єктами для впровадження теплонасосних технологій.

3. Залежно від джерела низькопотенційної теплоти (забруднені та очищені госппобутові та шахтні води, поверхневі та оборотні води, ґрунт, зовнішнє та витяжне повітря тощо) повинні застосовуватися відповідні технології утилізації.

4. Наразі ТНУ економічно ефективні при витісненні прямого електротеплопостачання та комплексного вироблення тепла та холоду. Ефективність порівняно з газомазутними котельнями істотно залежить від співвідношення цін споживаної електроенергії па привід і зекономленого палива, оскільки питомі капіталовкладення в теплові насоси значно вищі, а також від виду і температури низькопотенційного джерела тепла.

5. Розглянуті вище схеми показують, що використання таких систем дозволяє скоротити витрати на опалення та гаряче водопостачання шахт, знизити залежність від імпорту палива, скоротити забруднення навколишнього середовища, збільшити виробництво теплової енергії, підвищити надійність забезпечення споживачів теплом та гарячою водою.

6. Щоб оцінити економічний ефект від використання технології теплових насосів, необхідно оцінити величину зниження річних витрат на альтернативні (традиційні) теплогенератори.

7. Досяжний економічний ефект може бути пов'язаний не тільки з економією палива. Як правило, вона вище, ніж у пристрою традиційного теплогенератора.

8. В цілому, економічна ефективність, доцільність і практична здійсненність використання теплового насоса для реалізації проекту тепlopостачання залежить від поєднання декількох факторів.

9. Застосування технології гарячого водопостачання комунального господарства шахт з використанням теплових насосів для утилізації тепла шахтних води дозволяє:

- значно знизити ціну теплової енергії;
- знизити використання паливно-енергетичних ресурсів;
- знизити витрати на експлуатацію котельні протягом року;
- отримати екологічно чисту теплову енергію, зменшити викиди в атмосферу.

10. Термін окупності в середньому складає 2,5 роки.

### Список використаних джерел

1. Пашкевич М.С., Паламарчук Т.О. Екологізація виробництва підприємств України. - Ефективна економіка. – 2012. - № 12. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1624>.
1. Проблеми екологізації промислового виробництва: (текст) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://portfinance.ru/ukraine-4.html>.
2. Техноекологія та охорона навколишнього середовища / С.М. Сухарев, С.Ю. Чундак, О.Ю. Сухарева. – Львів: «Новий світ-2000», 2011. – 302 с.
3. Андрійчук В. Шляхи досягнення енергетичної безпеки // Політика і час. – 2006. – № 12. – С. 35–38.
4. Еколого-економічні та соціальні нариси з проблем природокористування: Монографія / В.О. Паламарчук, Є.В. Мішенін, П.І. Коренюк. – Пороги, 2004. – С. 8–23.
5. Телятнікова Ю.В. Екологічна складова в енергетичній політиці України // Культура народів Причорномор'я. — 2008. — № 147. — С. 95–99.
6. Семенов В.Ф. Екологічний менеджмент [Електронний ресурс] . – Режим доступу: [http://pidruchniki.ws/ekologiya/ekologizatsiya\\_suspilno go\\_virobnitstva](http://pidruchniki.ws/ekologiya/ekologizatsiya_suspilno_go_virobnitstva).
7. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії в Україні у світлі нових європейських ініціатив: (текст) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://old.niss.gov.ua/monitor/november08/2.htm>.
8. Выборнов Д. В. Шахтний водовідлив – джерело теплової енергії / Д. В. Выборнов // Вісн. ДонНАБА «Інженерні системи та техногенна безпека». 2011. № 5 (91). С. 98–105.
9. Сербінова Л.А. Використання незаражених шахтних вод УФ-засобами для гігієнічних потреб шахтарів (на прикладі шахти №10 «Нововолинська»). - Інформаційний бюлетень з охорони праці ННДІОП. – 2017. – Вип. №1 (83) – С. 119–126
10. DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources

11. Henrik Lund , Sven Werner , Robin Wiltshire , Svend Svendsen , Jan Eric Thorsen , Frede Hvelplund , Brian Vad Mathiesen 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems /Energy Volume 68, 2014, Pages 1-11

12. Koliienko A. Poprawa sprawnosci scentralizowanych systemow cieplowniczych przez doskonalenie metod regulacji / Szkarowski A., Janta-Lipińska S., Koliienko A. // Ciepłownictwo,ogrzewicwo,wentylacja /- 2016.Nr. 47/9. S 347-351(ISSN 0137-3676).

13. Новітні принципи теплонасосних та когенераційних технологій використання викидного тепла: моногр. / [М. М. Табаченко, В. І. Самуся, Р. О. Дичковський та ін.]. – Дніпропетровськ: Нац. гірнич. ун-т, 2012. – 247 с.

14. Пат. 61130 Україна, МПК F24D 17/02. Установка гарячого водопостачання / В. І. Самуся, Ю. І. Оксень, М. В. Радюк, Ю. О. Мишанський; заявник і патентовласник Нац. гірн. ун-т. – № u 2010 14979; заявл. 13.12.10; опубл. 11.07.11, Бюл. № 13.

15. <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12228-Carbon-Border-Adjustment-Mechanism>

16. Тепловий насос / частина 1 - принцип роботи та будова URL: <https://сахара.ua/kompaniya-statti-teplovoj-nasos-tehnologija-schopostijno-rozvivajetsja>.

17. Тепловий насос / частина 2 - джерело тепла URL: <https://сахара.ua/pro-nas-statti-teplovyyi-nasos-chastyna-2-dzherelo-tepla>.

18. Тепловий насос / частина 3 - особливості використання URL: <https://сахара.ua/pro-nas-statti-teplovyyi-nasos-chastyna-3-osoblyvostivykorystannia>.

19. Quoilin, S., Declaye, S., Tchanché, V.F. and Lemort, V. Thermoeconomic optimization of waste heat recovery Organic Rankine Cycles, Applied Thermal Engineering 31:2885-2893, 2011.

20. Гвоздевич, О.В., Кульчицька-Жигайло, Л.З., Брик, Д.В., Подольський М.Р., Побережський А.В. (2021). Система накопичення та відбору теплової енергії шахтних вод (Патент на корисну модель № 146859, Україна). Український

національний офіс інтелектуальної власності та інновацій (УКРНОІВІ) . Вилучено з:  
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1585909/>

21. Bombarda, P., Invernizzi, C. M. and Pietra, C. Heat recovery from diesel engines, a thermodynamic comparison between Kalina and ORC cycles, *Applied Thermal Engineering*, 30:212-219, 2010.

22. Colonna, P. and Gabrielli, S. Industrial trigeneration using ammonia-water absorption refrigeration systems (AAR), *Applied Thermal Engineering*, 23:381-396, 2003.

23. Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry, BCS Incorporated, Report to U.S. DOE 8. Industrial Technologies Program, March 2008.

24. Використання шахтних вод для технічного водопостачання. Загальні технічні вимоги [Текст] : СОУ 10.1.00174125.016:2008 : затв. Міністерством вугільної промисловості України 28.11.2008 : введення в дію с 01.07.2009. – Київ, 2008. – 24 с.

25. Zakirov D.G. Teplovye nasosy - teplotransformatory na sluzhbe ehkologii i ehnergoehffektivnosti [Heat Pumps - Heat Transformers in the Service of Ecology and Energy Efficiency]. Perm'. ООО «Pечатnyj salon «Garmoniya», 2014: 424.

26. Півняк, Г.Г., Бешта, О.С., Пілов, П.І., Дичковський, Р.О., Табаченко М.М., Фальштинський, В.І., та ін. (2013). Економічні і екологічні аспекти комплексної генерації та утилізації енергії в умовах урбанізованих і промислових територій. Монографія – Д.: Національний гірничий університет, 176 с. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/3042>.

27. Табаченко, М.М., Самуся, В.І., Дичковський, Р.О., Фальштинський, В.І., та ін. (2012). Новітні принципи теплонасосних та когенераційних технологій використання викидного тепла. Монографія – Д.: Національний гірничий університет, 247 с. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/2098>.

28. Півняк, Г.Г., Бешта, О.С., Табаченко, М.М., Самуся, В.І., Шкрабець, В.Ф., Дичковський, Р.О. та ін. (2013) Традиційні та нетрадиційні системи енергозабезпечення урбанізованих і промислових територій України. Монографія – Д.: Національний гірничий університет, 333 с. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/3491>.

