

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
\_\_\_\_\_  
Навчально-науковий Інститут Електроенергетики  
(інститут)  
\_\_\_\_\_  
Електротехнічний  
(факультет)  
Кафедра \_\_\_\_\_ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента \_\_\_\_\_ **Криштопи Віталія Олеговича**  
(ПІБ)  
академічної групи \_\_\_\_\_ **141М-19-3**  
(шифр)  
спеціальності **141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**  
(код і назва спеціальності)  
спеціалізації \_\_\_\_\_  
за освітньо-професійною програмою **ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**  
(офіційна назва)  
на тему **Обґрунтування системи теплопостачання з використанням альтернативних джерел енергії**  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Рухлова Н.Ю.			
розділів:				
Технологічний розділ	Рухлова Н.Ю.			
Спеціальний розділ	Рухлова Н.Ю.			
Економічний розділ	Тимошенко Л.В.			

Рецензент	Марченко О.Л.			
Нормоконтролер	Олішевський Г.С			

Дніпро  
2020

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

**Електроенергетики**

(повна назва)

\_\_\_\_\_ Папайка Ю.А.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеню магістра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студенту Криштопі В.О. академічної групи 141м-19-3  
(прізвище та ініціали) (шифр)  
спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА  
спеціалізації \_\_\_\_\_  
за освітньо-професійною програмою ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА  
(офіційна назва)  
на тему Обґрунтування системи теплопостачання з використанням  
альтернативних джерел енергії  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 20.11.2020 р. № 965-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Вибір системи опалення	Провести огляд основних видів та складових систем опалення, з наведенням переваг та недоліків.	12.10.20 -01.11.20
Проектування системи опалення	Спроекувати систему опалення та гарячого водонадходження для вибраного будинку.	02.11.20-29.11.20
Економічна оцінка ефективності теплопостачальної установки	Виконати техніко-економічні розрахунки доцільності використання спроектованої установки у порівнянні з іншими системами опалення.	30.11.20-13.12.20

Завдання видано

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

Рухлова Н.Ю.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 24.09.2020

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Криштопа В.О.

(прізвище, ініціали)

## Реферат до кваліфікаційної роботи

Пояснювальна записка: 67с., 10 рис., 21 табл., 8 додатків, 21 джерела.

**Об'єкт дослідження:** теплопостачальна установка на базі теплового насоса та геліоколектора.

**Предмет дослідження:** процес проектування та розрахунку ефективності та економічної доцільності теплопостачальної установки на базі теплового насоса та геліоколектора із використанням ґрунтового акумулятора.

**Мета** дипломного проекту полягає в проектуванні та розрахунку теплопостачальної установки на базі теплового насоса та геліоколектора із використанням ґрунтового акумулятора з метою заощадження тепла. Довести ефективність розробленої теплопостачальної постановки.

В даній магістерській роботі була представлено проект теплопостачальної установки на базі теплового насоса та геліоколектору для будинку у місті Дінпро (48° широти) з площею 216 м<sup>2</sup>, на два поверхи, будинок має одні входні двері, та 14 вікон. Також в економічному розділі було розраховано термін окупності установки і проведено порівняння з іншими видами установок для теплопостачання и гарячого надходження води в будинок. Порівнювали установку з системою на твердопаливному котлі та на двухконтурному електродкотлі.

В результаті розрахунків дипломної роботи ми отримали:

- Загальні теплові витрати будинку складають 11 кВт;
- Площа одного модуля геліосистеми складає 2 м<sup>2</sup>, для повноцінного функціонування системи потрібно 16 повних модулів, встановлених з раціональним кутом 45° до горизонту в південному напрямку;
- Також ми отримали, що ґрунтовий акумулятор маємо розташувати на глибині 12,5 м, кількість свердловин 8, з'єднаних паралельно, розміщених по вершинам правильного шестикутника та в його остові.;

- Для теплопостачання в системі використовуємо тепловий насос з потужністю 13,2 кВт;
- Оперативний бак в системі складає 3м<sup>3</sup>;
- Установка автоматизована, має датчики температур, розширювальні бачки, та клапани перемикачі, тому вона не потребує постійного нагляду людьми по управлінню процесами опалення та гарячого водопостачання.
- В економічному розділі отримали, що установка має термін окупності 3,5 років, в той час як система на твердопаливному котлі окупиться за 4,7 років, на електричному котлі за розрахунками ми отримали значення з мінусом, це означає що останній вид системи економічно недоцільний для нашого виду будинку.

В цілому можна зробити висновок, що дана схема для будинку економічно більш доцільніша ніж інші види схем опалення та гарячого водопостачання. Термін окупності не великий, надалі ж ми отримуємо значний плюс. Значною перевагою є економічна незалежність, адже при інших видах систем беручи до уваги постійні кризи, інфляцію та нестабільну ситуацію в країні витрати будуть тільки рости і з ними буде рости вартість одного дня роботи установки.

Наша ж установка отримує всі ресурси з навколишнього середовища і практично не має прив'язаності до штатних енергоресурсів, а завдяки ґрунтовому акумулятору дозволяє накопичувати значну кількість теплової енергії в теплий період року і використовувати її взимку коли тепла з навколишнього середовища отримується менше.

Також зважаючи на екологічний стан навколишнього середовища, наша установка немає шкідливого впливу тим самим ми не забруднюємо і не погіршуємо стан природи навколо нас.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	2
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ I. ВИБІР СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ.....	8
1.1. Переваги та недоліки відновлювальної енергії.....	8
1.2. Сонячна енергетика України.....	10
1.3.Особливості трансформації та використання сонячної енергії...14	
1.4. Тепловий насос. Теоретичні відомості.....	15
1.4.1.Історія виникнення теплового насосу.....	15
1.4.2.Пристрій теплонасосної установки.....	16
1.4.3.Принципова схема теплового насосу.....	17
1.5.Котли як найчастіші системи опалення.....	20
1.5.1. Твердопаливні котли.....	20
1.5.2. Двоконтурні газові котли.....	23
1.5.3 Електрокотли .....	24
1.6. Огляд подібних теплопостачальних установок.....	26
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ.....	30
2.1. Вибір схеми опалення.....	30
2.2. Розрахунок потужності теплопостачальної установки.....	31
2.3. Розрахунок сезонного ґрунтового акумулятора.....	35
2.4. Розрахунок теплової ефективності геліосистеми.....	40
2.5. Розрахунок теплового насосу.....	48
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ТЕПЛОВОГО НАСОСА ТА ГЕЛІОКОЛЕКТОРА.....	56
3.1. Розрахунок капітальних витрат.....	58
3.2. Розрахунок експлуатаційних витрат.....	59
3.2.1. Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	61
3.2.2. Розрахунок річного фонду заробітної плати.....	61
3.2.3. Розрахунок відрахувань на соціальні заходи.....	61

3.2.4. Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.....	61
3.2.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	62
3.2.6. Визначення інших витрат.....	63
3.4 Визначення річної економії від впровадження науково-технічного рішення.....	64
3.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності....	65
ВИСНОВОК.....	68
СПИСК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	70
ДОДАТОК А	
ДОДАТОК Б	
ДОДАТОК В	
ДОДАТОК Г	
ДОДАТОК Е	
ДОДАТОК Ж	
ДОДАТОК З	

## ВСТУП

За рахунок обмеженості природних ресурсів, нерівномірним їх розподілом, в зв'язку із зростаючим техногенним навантаженням все більш актуальними стають проблеми енергозбереження. Одним із чинників забруднення навколишнього середовища є теплові види холодильних машин та систем опалення.

Для зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище необхідно підвищити ефективність систем опалення як при їхньому створенні, так і в подальшій експлуатації. Тепловий насос – це один з видів енергозберігаючих систем.

Парокомпресійні теплові насоси працюють за рахунок споживання енергії у вигляді теплоти, при чому в цілому ряді випадків, використовують, так звані, вторинні теплові ресурси, такі як теплові скидання ТЕЦ, теплові відходи хімічних підприємств, енергія сонця, вітру та інше.

Під час вироблення тепла парокомпресійним тепловим насосом, що працює з використанням вторинних теплових ресурсів, повністю зберігається тепло, яке, у протилежному випадку, могло бути використане на виробництво електроенергії, необхідної для привода електродвигунів компресорів.

Однією з функцій парокомпресійного теплового насосу є одержання гарячої води в режимі опалення.

Використання абсорбційних холодильних машин для кондиціонування й теплопостачання дало можливість здійснити їх цілорічне завантаження, спростити системи холодо– та теплопостачання, створити економічні, безпечні й малошумні машини. З іншого боку – її вплив на навколишнє середовище.

Ступінь негативного впливу парокомпресійної теплової машини на навколишнє середовище виявляється в результаті аналізу факторів, що здійснюють шкідливий вплив на природу з боку холодильної техніки в цілому.

До числа цих факторів відносяться: теплові скидання, шум і вібрація, забруднення води, витоку холодильного агента й мастила.

Зважаючи на те, що щорічний показник використання природних ресурсів постійно зростає, а рівень забрудненості оточуючого середовища суттєво зростає, актуальності набуває проблема пошуку не лише шляхів оптимізації використання природних ресурсів, а й впровадження альтернативних систем опалення та обігріву у життя та побут звичайних користувачів комунальних послуг.

На сьогоднішній день питання раціонального використання коштів і економії піднімається все частіше, на фоні постійної інфляції та економічних криз комунальні платежі ростуть з кожним роком. Спроектована установка дозволить доволі швидко окупити витрачені дивіденди, а також вже з кожним наступним роком мати великий плюс з коштами які були зекономлені.

**Мета** дипломного проекту полягає в проектуванні та розрахунку теплопостачальної установки на базі теплового насоса та геліоколектора із використанням ґрунтового акумулятора з метою заощадження тепла. Довести ефективність розробленої теплопостачальної постановки.

**Об'єкт дослідження:** теплопостачальна установка на базі теплового насоса та геліоколектора

**Предмет дослідження:** процес проектування та розрахунку ефективності та економічної доцільності теплопостачальної установки на базі теплового насоса та геліоколектора із використанням ґрунтового акумулятора.

Для максимально наглядного прикладу ми проведемо зрівняльну характеристику та зробимо висновки наскільки спроектована установка доцільніша ніж центральне опалення та гаряче водопостачання, доцільніше ніж двухконтурний електричний котел і навіть ефективніша та економічніша ніж твердопаливний котел.



## РОЗДІЛ 1. ВИБІР СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

### 1.1. Переваги і недоліки відновлювальної енергії

З точки зору економіки, облік плюсів і мінусів систем відновлюваної енергетики можна наочно представити як два співставлених графіка. На цьому малюнку, для прикладу, показана порівняльна економічна оцінка двох умовних систем опалення «Система котла, що працює на дизельному паливі» і «Система теплового насоса».

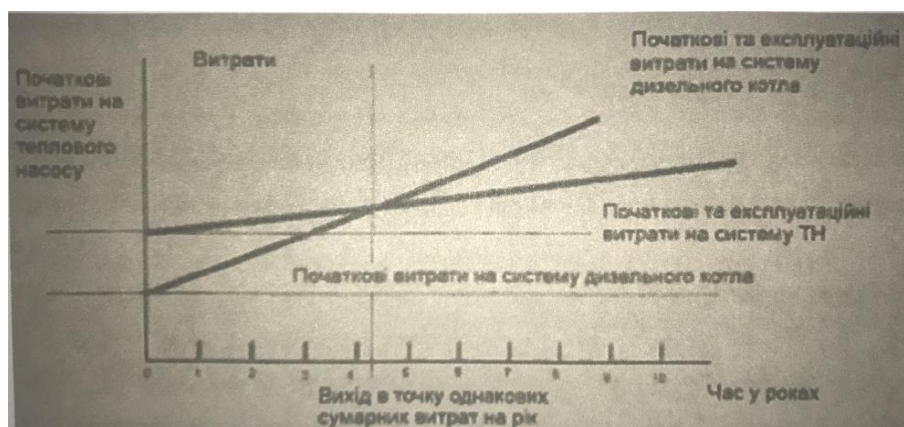


Рис. 1.1. Порівняльна економічна оцінка двох умовних систем опалення .

Всі витрати в обох випадках можна розділити на:

1. Початкові (разові) – це постійні початкові витрати на проектування, купівлю обладнання, допоміжних аксесуарів і монтаж .
2. Експлуатаційні – це змінні (постійно зростаючі за часом) витрати на паливо, електроенергію, ремонт та оплату праці експлуатаційного штату (якщо потрібно).
- 3 . Сумарні – це змінні (постійно зростаючі за часом) витрати, які є сумою перших двох.

На графіку видно, що є особлива точка на осі часу, коли сумарні витрати обох систем порівнюються, і далі власник системи відновлюваної енергетики починає економити кошти.

Від чого залежить економія :

- від різниці в початкових витратах обох систем;
- від різниці в експлуатаційних витратах обох систем.

За даним прикладом можна сказати, що :

- вихід в точку окупності відбувається за – 4,2 року;
- незважаючи на те, що початкові витрати теплового насоса в 2,5 рази вище, ніж дизельного котла, експлуатаційні витрати останнього (вартість дизельного палива, його доставки на об'єкт, ремонт і т.д.) вище, ніж у теплового насоса.

Необхідно проговорити і те, що розглянутий графік складений з урахуванням нинішніх тарифів на паливо та електроенергію, а також сьогоднішніх цін на обладнання. На жаль, первинні витрати на його придбання достатньо високі і обумовлені не стільки законами собівартості, скільки апетитами постачальників. У зв'язку з безперервним підвищенням цін на енергоносії і збільшенням попиту на альтернативну енергетику – вартість обладнання буде стрімко наближатися до реальної.

Хоча в реальних випадках графіки бувають різні, принцип оцінки прямої економічної ефективності зберігається.

При цьому існує ще ряд факторів, не пов'язаних з економікою безпосередньо, але які теж необхідно враховувати під час прийняття рішення якій з систем опалення варто надавати перевагу, яка з них є економічно більш доцільною:

- необхідно організовувати регулярну доставку палива на об'єкт;
- в Україні та світі ціни на вуглеводне паливо і електроенергію ростуть що року;
- психологічний дискомфорт, пов'язаний з перебоями звичайної електроенергії на об'єкті;
- проблеми спілкування з державними чиновниками при спробі забезпечення свого об'єкта традиційним електро– та теплопостачанням.

При визначеному рівні цін на енергоносії, паливні насоси по економічності поступаються, поки що, тільки газовим котлам, будучи невибагливими в експлуатації, але помітно виграють у рідкопаливних та електричних котлів.

Таблиця 1.1. Порівняльна характеристика різних видів котлів

Тип теплогенератора системи опалення	1 теплота згоряння палива	Річна потреба	Ціна енергоносія	Вартість енергоносія, 1 грн.	Витрати для дому 5=160 м <sup>2</sup> , на рік, грн.
Газовий котел	$10,12 \frac{\text{кВт*год}}{\text{м}^3}$	19,9 м <sup>3</sup>	7,18	142,882	22861,12
Рідко-паливний котел	$10,2 \frac{\text{кВт*год}}{\text{л}}$	20,2 л	20	404	64640
Електричний котел	-	191,5 кВт	0,36	68,94	11030,4
Тепловий насос	-	67кВт*ч	0,36	24,12	3858,2

## 1.2. Сонячна енергетика України

За прогнозами вчених–аналітиків, після вичерпання на Землі органічних видів палива (нафти, газу та вугілля) найдоступнішим та невичерпним джерелом енергії для людства залишиться Сонце, що прослужить цивілізації, щонайменше, 3-4 млрд. років. Як відомо, кількість енергії, яка надходить на Землю від сонця, майже в 15 тис. разів перевищує річні витрати всього людства як для задоволення власних потреб так і для господарської діяльності.

Сучасний світ активно продовжує використовувати органічні види палива, ресурсний потенціал яких загрожує закінчитись будь-якої хвилини, а разом із ними, і актуалізується проблема забезпечення нагальних потреб людства. Не дивлячись на високу вартість, постійне зростання цін не лише на вичерпні джерела енергії, а й устаткування, яке використовується для його обробки, шкоду, яка завдається оточуючому середовищу, остаточно відмовитись від використання вичерпних видів палива людство ще не готове.

Визначаючи сонячну енергію, як головний вид альтернативної енергії, розглянемо ресурсний потенціал України.

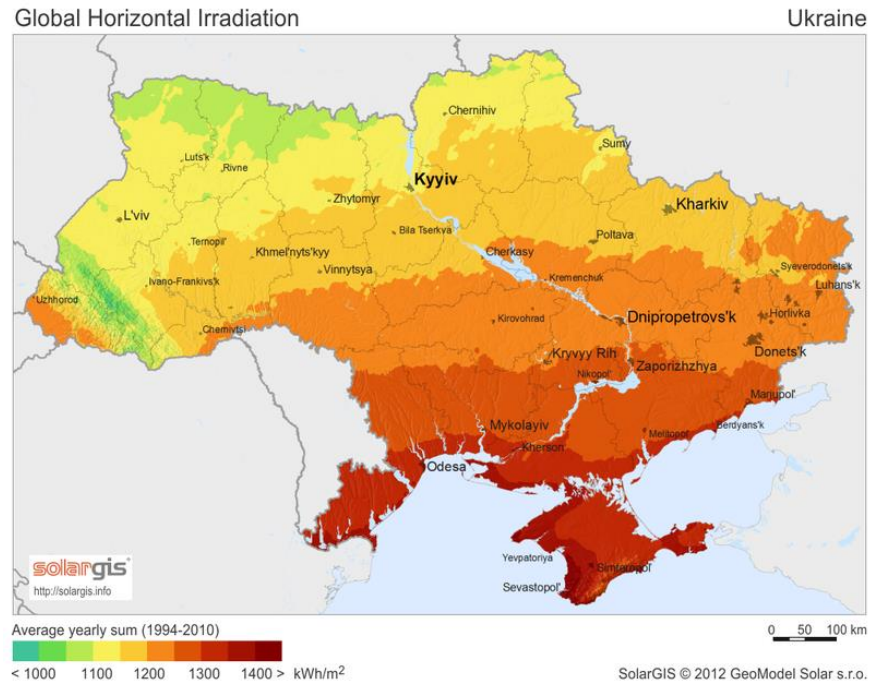


Рис. 1.2.1 Карта сонячної енергетики України.

Глобальне випромінювання на території України складається на 40-60% з розсіяного світла. Для ефективного перетворення розсіяного сонячного випромінювання в теплове, доцільним є використання колекторів з високоселективним покриттям поглинаючої панелі.

За кліматичними умовами Україна належить до регіонів із середньою інтенсивністю сонячної радіації. Кількість сонячної енергії, що припадає на одиницю площі земної поверхні впродовж року, становить тут  $1000\text{--}1350\left(\frac{\text{кВт}\times\text{год}}{\text{м}^2}\right) \times \text{рік}$ .

За рівнем інтенсивністю сонячного випромінювання країну можна поділити на чотири регіони: Західний, Центральний, Південно-Східний і Південний, як це й показано на карті (рис.1.2.1).

Середня інтенсивність сонячного випромінювання тут становить близько  $1200\left(\frac{\text{кВт}\times\text{год}}{\text{м}^2}\right) \times \text{рік}$ . Реалізовані впродовж останніх років експериментальні проекти засвідчили, що річне виробництво теплової енергії в умовах України становить  $500\text{--}600\left(\frac{\text{кВт}\times\text{год}}{\text{м}^2}\right) \times \text{рік}$ . Враховуючи

загальноприйнятий на Заході потенціал використання сонячних колекторів для розвинених країн, що дорівнює 1 (м<sup>2</sup>) на одну людину, а також ККД сонячних установок для умов України, щорічні ресурси сонячного гарячого водопостачання та опалення можуть становити  $28(\frac{\text{кВт}\times\text{год}}{\text{м}^2}\times\text{рік})$  теплової енергії. Реалізація цього потенціалу дозволила б заощадити 3,4 млн. т. умовного палива на рік.



#### 1.2.2. Попадання сонячної радіації на Землю

Щорічно, комунальним господарством України використовується близько 74млн т. умовного палива для забезпечення базових потреб у тепlopостачанні, але разом з тим, цей показник щороку зростає на 1-2%. Існує думка, що з поновленням економічного зростання рівень споживання може істотно зрости. З іншого боку, потенціал енергоефективності та енергозбереження в комунальному господарстві України становить, за різними оцінками, не менше 50%. У тому випадку, що даний ресурсний потенціал буде використано, суттєвого зростання кількості спожитої теплової енергії, не передбачається [1; 9;18].

### 1.3. Особливості трансформації та використання сонячної енергії

За рахунок того, що розподіл сонячної енергії по поверхні землі є нерівномірним, а на рівень сонячної активності впливають погодні та кліматичні умови, у системи, що використовують сонячну енергію, не мають постійної потужності ні протягом світлового дня ні протягом року, тому усі розрахунки проводяться по усередненим даним за визначений проміжок часу.

Основним елементом геліосистем є сонячний колектор (геліоколектор). Процес трансформації сонячної енергії в теплову відбувається саме в поглинаючій панелі геліоколектора під впливом сонячного випромінювання (інфрачервоної складової). В результаті потрапляння сонячного світла на поглинаючу панель, панель гріється, а рідкий теплоносій, який перегрівається каналами геліоколектора, поглинає та транспортує дане тепло. Прозора ізоляція (скло) і теплоізоляційний шар зменшують втрати теплової енергії. У двоконтурних системах нагрітий у колекторі теплоносій надходить у внутрішній (чи зовнішній) теплообмінник бака - акумулятора, де передає отриману теплову енергію воді. Після цього, теплоносій, що остудився, повертається в колектор і знову, таким чином відбувається замикання циклу. Циркуляція теплоносія між колекторами є постійною, і триває о тих пір, поки системою не буде поглинуто та трансформовано достатньої кількості тепла для нагріву води та підтримки її температури. Від ефективності сонячного колектора в значній мірі залежить ефективність роботи всієї системи. Чим більше сонячної енергії поглине геліоколектор, і чим менше він неї втратить, тим ефективніше буде працювати система.

Усі принципи конструювання сонячних колекторів зводяться до забезпечення максимального поглинання сонячної енергії та максимального зниження теплових втрат. Максимальне поглинання сонячної енергії здійснюється на відкритих колекторах (без скла), що застосовуються тільки для нагрівання води у відкритих басейнах у теплий і сонячний період року, а мінімальні теплові втрати мають вакуумні колектори.

Приведені колектори, маючи ряд переваг, мають і ряд істотних недоліків, що обмежують повсюдне їх використання.

Незважаючи на різноманітність сонячних колекторів (у виді бака, відкриті, вакуумні, що відбивають), найбільшого поширення набули плоскі колектори через свою універсальність, надійність і невибагливість.

Також дані геліоколектори мають досить високу ефективність. На практиці, сучасний ефективний плоский геліоколектор працює із середнім ККД у 50%, більш застарілі моделі працюють із ККД - 20-40%. ККД сонячного колектора нестабільний і може визначатися тільки для конкретних умов експлуатації в окремий момент часу. Чим менше температура, до якої потрібно нагріти воду, тим вище ККД геліоколектора. Наприклад, тільки через застосування більш ефективного поглинаючого покриття (високоселективного), у хмарну погоду різниця в ефективності сонячних колекторів може сягати 45%.

Через те, що сонячна енергія, що надходить, на земну поверхню нестабільна в часі, колектори майже завжди підключаються до акумулятора теплової енергії (бак з водою чи спеціальною рідиною, басейн, ґрунт), що накопичує корисну енергію (системи без акумуляування тепла значно менш ефективні).



Рис. 1.7. Умовне вироблення теплової енергії для нагрівання води в сонячний день.

Використовуючи енергію сонця, геліосистеми дозволяють заощаджувати до 75% традиційного палива, яких необхідно для нагрівання гарячої води, і до 50% необхідного для цілей опалення.

Системи сонячного теплопостачання вважаються одними із самих надійних і довговічних, за умови, якщо вони були правильно розраховані, використовувалося ефективно і якісне устаткування, а також були якісно змонтовані. Будь-яка помилка може привести до того, що система не буде виробляти бажану кількість теплової енергії чи узагалі швидко вийде з ладу [1;9;21]

## **1.4.Тепловий насос. Теоретичні відомості**

### **1.4.1.Історія виникнення теплового насосу**

Концепцію теплових насосів було розроблено ще в 1852 британським фізиком та інженером Вільямом Томсоном (Лордом Кельвіном) і в подальшому вдосконалено та деталізовано австрійським інженером Петером фон Рітгінгером. Петера фон Рітгінгера вважають винахідником теплового насосу, оскільки саме він спроектував і встановив перший відомий тепловий насос у 1855 році.

Практичного застосування тепловий насос набув значно пізніше, а точніше у 40-х роках XX століття, коли винахідник-ентузіаст Роберт Вебер (Robert C. Webber) експериментував з морозильною камерою. Доторкнувшись до гарячої труби, щ виходила із холодильної камери, Вебер замислився над тим, що дане тепло просто викидається назовні. Прагнучи використовувати дане тепло, і не допускати даремних його витрат, він використав дану трубу для підігріву води в бойлері. Результат дій Вебера дозволив не лише забезпечити родину теплою водою, а й нагрівати її у значно більшій кількості не дивлячись на те, щ частина тепла потрапляла в повітря. Дійшовши висновку, що від одного джерела можна не здійснювати одночасно і обігрів повітря і води в будинку, він вдосконалив свій винахід, проганяючи нагріту воду по спіралі, а тепло поширював по будинку за допомогою невеликого вентилятора.



Однією з ідей Вебера, яка стала основою у формуванні теплових установок, ідея «викачування» тепла із землі, є температура впродовж року практично не змінюється. Він помістив у ґрунт мідні труби, якими циркулював фреон, що «збирав» тепло землі. Газ конденсувався, віддаючи своє тепло у домі, та знов проходив через змішувач, щоб підібрати наступну порцію тепла. Повітря приводилося в рух за допомогою вентилятора і розповсюджувалось по будинку.

У 40-х роках тепловий насос набуває популярності, за рахунок своєї енергоефективності, але реальна потреба у ньому виникла за часів Арабського нафтового ембарго у 70-х роках, коли, незважаючи на низькі ціни на енергоносії, з'являється інтерес до енергозбереження [16].

#### 1.4.2. Пристрій теплонасосної установки

Тепловий насос – це пристрій, що працює за принципом зворотної холодильної машини, передаючи тепло від низькотемпературного джерела до середовища з більш високою температурою, наприклад системі опалення будинку.

Основу тепло насосної установки становлять:

- бак-аккумулятор – теплоізована ємність для води, головна функція якої в накопиченні гарячої води та вирівнювання теплових навантажень на системи опалення та гарячого водопостачання, бак - аккумулятор також дозволяє продовжувати термін роботи теплової установки;
- первинний ґрунтовий контур – замкнута циркуляційна система, в основі якої є випарник (тепловий насос), циркуляційний насос ґрунтового контуру, трубопровід, і слугує для передачі тепла від ґрунту до теплового насосу;
- вторинний ґрунтовий контур – замкнута система, що складається з конденсатора (теплового насоса), циркуляційного насоса,

трубопроводів, і служить для передачі тепла від теплового насоса системи опалення в будинку.

Принцип роботи теплового насоса подібний до роботи звичайного холодильника, тільки навпаки. Холодильник вбирає тепло від харчових продуктів і переносить його назовні, а тепловий насос переносить тепло, яке було накопичене в ґрунті, землі, водоймах, підземних водах або повітрі до будинку.

Як і холодильник, цей енергоефективний теплогенератор має такі основні елементи:

- конденсатор (теплообмінник, в якому відбувається передача тепла від теплоносія до елементів системи опалення приміщення: низькотемпературних радіаторів, підлоги, теплої підлоги);
- дросель (пристрій, який служить для зниження тиску, температури і, як наслідок, замикання теплофікаційного циклу в тепловому насосі);
- випарник (теплообмінник, в якому відбувається відбір тепла від низькотемпературного джерела до теплового насоса);
- компресор (пристрій, що підвищує тиск і температуру пару холодоагенту) [16; 17;20].

#### 1.4.3.Принципова схема теплового насосу

Тепловий насос побудований так, щоб зумовити рух тепла у звітному напрямі. Наприклад, під час нагрівання будинку, тепло вбирається від якого-небудь холодного зовнішнього джерела (землі, річки, озера, зовнішнього повітря) і передається в будинок. Для охолодження (кондиціонування) будинку тепло вбирається від більш теплого повітря всередині будинку і передається назовні. У цьому відношенні тепловий насос є подібним до звичайного гідравлічного насоса, який перекачує рідину з нижнього рівня на верхній, тоді як у звичайних умовах рідина завжди рухається з верхнього рівня на нижній.

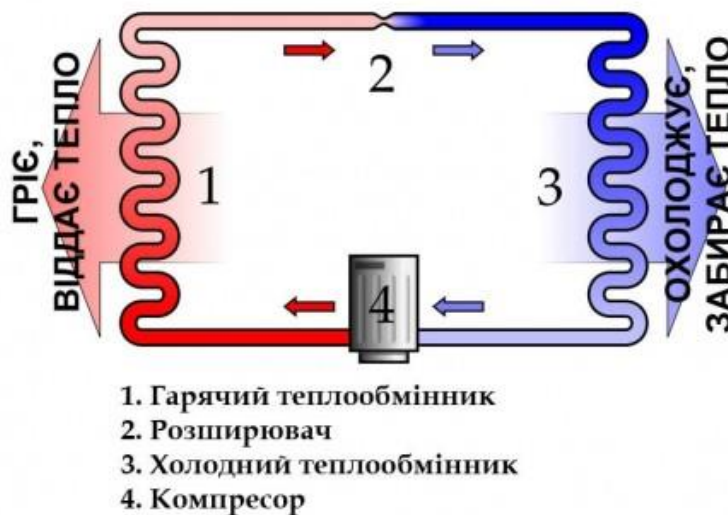


Рис.1.4.1. Принципова схема теплового насосу

На сьогоднішній день, найбільш поширеними є парокомпресорні теплові насоси. В основі принципу їх дії лежить два явища:

- поглинання і виділення тепла рідиною при зміні агрегатного стану, випаровування конденсація, відповідно;
- зміна температури випаровування (і конденсації) при зміні тиску.

У випарнику теплового насоса робочим тілом є холодоагент, що не містить хлору. Як правило, він перебуває під низьким тиском і кипить при низькій температурі, поглинаючи тепло низькопотенційного джерела. Потім робоче тіло стискається в компресорі, який приводиться в рух з допомогою електричного або іншого двигуна, і потрапляє в конденсатор, де при високому тиску конденсується при більш високій температурі, віддаючи тепло конденсації приймача тепла, наприклад, теплоносію системи опалення. З конденсатора робоче тіло через дросель знову потрапляє у випарник, де його тиск знижується, і процес кипіння холодоагенту починається знову.

Тепловий насос здатний вбирати тепло від декількох джерел, наприклад, повітря, води або землі. Таким шляхом він може скидати тепло в повітря, воду або землю. Більш тепле середовище, що сприймає тепло, називається теплоприймачем. Залежно від типу джерела і приймача тепла,

випарник і конденсатор можуть бути виконані як теплообмінники типу «повітря-рідина», так і «рідина-рідина».

Регулювання роботи системи опалення з використанням теплових насосів в більшості випадках здійснюється за допомогою його включення і виключення по сигналу датчика температури, який встановлений в приймачі (при нагріванні) або джерелі (при охолодженні) тепла. Налаштування теплового насоса зазвичай здійснюється зміною перерізу дроселя (терморегулюючого вентиля).

Як і холодильна машина, тепловий насос використовує механічну (електричну або іншу) енергію для реалізації термодинамічного циклу. Ця енергія використовується на привід компресора. Коефіцієнт перетворення (коефіцієнт трансформації або ефективності) теплового насоса – це співвідношення кількості теплової енергії, яку виробляє тепловий насос до кількості електричної енергії, яку він споживає. Коефіцієнт перетворення залежить від рівня температур у випарнику і конденсаторі теплонасосу. Це значення коливається для різних теплонасосних систем в діапазоні від 2,5 до 7, тобто на 1 кВт витраченої електричної енергії тепловий насос виробляє від 2,5 до 7 кВт теплової енергії, що не під силу ні конденсаційному газовому котлу, ні будь-якому іншому генератору тепла. Тому можна стверджувати, що парокомпресорні теплові насоси виробляють тепло, використовуючи мінімальну кількість дорогої електричної енергії.

Температурний рівень тепlopостачання від теплових насосів – 35-60°C. Економія дорогих енергетичних ресурсів при такому температурному режимі досягає 75 %.

Теоретичний коефіцієнт перетворення ідеального теплового насоса розраховується за формулою Карно:

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

де  $T_2$  - температура конденсації, а  $T_1$  - температура кипіння холодильного агента, яка вимірюється в градусах Кельвіна.

Зазвичай всередині теплового насоса, як і в холодильнику, циркулює холодоагент (фреон), який буде обрано в наступній частині.

Ефективне енергзбереження за умови використання теплового насоса досягається за рахунок того, що більше ніж  $2/3$  енергії теплової установки вбирається з навколишнього середовища: ґрунту, водойми, повітря, підземних вод, стічних вод або інших джерел.

Зовнішній контур (колектор) геотермального теплового насоса це укладений в ґрунт або воду поліетиленовий трубопровід, в якому циркулює незамерзаюча рідина (в основному на основі пропіленгліколю) [16; 17;20]..

## **1.5. Котли як найчастіші системи опалення**

### **1.5.1. Твердопаливні котли**

На сучасному ринку опалювальних систем, найбільшою популярністю користуються опалювальні котли різних типів, що різняться як за ціною, так і за типом палива, який ними використовується. Зрозуміло, що кожен з них має власний коефіцієнт корисної дії, особливості монтажу та окремий ряд показників, які є суттєвими при виборі паливного котла, але разом з тим, останнім часом популярності набирають альтернативні системи опалення, серед яких і котли, що працюють на традиційних видах твердого палива.

Найчастіше робота твердопаливних котлів формує за принципом «верхнього горіння». До моменту потрапляння в топку кисень нагрівається, що дозволяє значною мірою скорочувати кількість відходів, що є продуктами горіння - золи, сажі. Відповідно до механізму дії, кисень подається згори вниз, за рахунок чого горінню піддається виключно верхній шар твердого палива, розташованого всередині топки. За рахунок того, що кисень надходить поступово, поступово відбувається і горіння шарів палива за принципом згори вниз. Такий механізм роботи твердопаливного котла

забезпечує тривале і поступове горіння, що становить основу механізму обігріву.

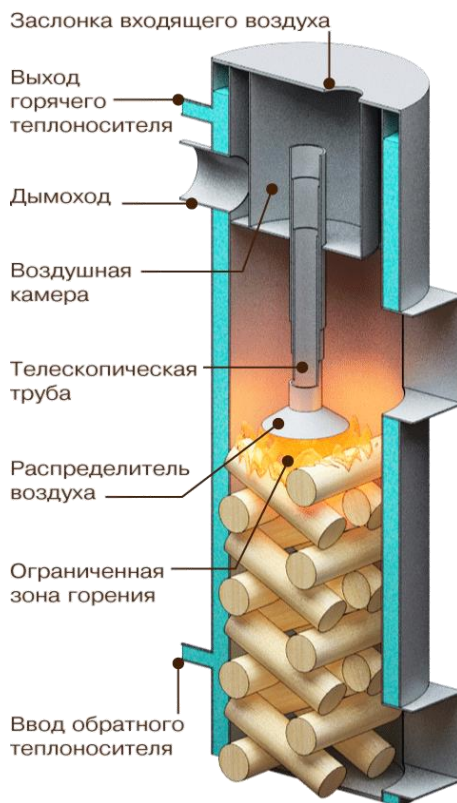


Рисунок 1.5.1. Будова твердопаливного котла

Сфера застосування у твердопаливних котлів дуже велика, адже такий опалювальний агрегат можна встановити практично в будь-якому об'єкті з водяним опаленням. З його допомогою можна значно скоротити витрати на опалення. Вони будуть актуальні для обігріву:

- житлових будинків;
- офісних приміщень;
- виробничих і промислових об'єктів;
- дитячих садків, шкіл, лікарень, музеїв, театрів;
- спортивних об'єктів і споруд;
- складів і складських комплексів;
- теплиць.

Маючи ряд переваг, твердопаливний котел має і свої недоліки. Ключовою мінус – постійний контроль процесу горіння, щоб не пропустити

момент повного згоряння традиційного твердого палива. Але зараз цю проблему вдало вирішили сучасні технології, які внесли зміни в конструкцію пристроїв, що дозволило уповільнити горіння і збільшити ККД до показників 90-95%. Зараз у більшості моделей паливо, що знаходиться всередині топки, що тліє, а не інтенсивно горить. Тому користувачеві більше не потрібно постійно підкладати деревину або інші види твердого палива.

#### Види твердопаливних котлів, їх особливості

1. Піролізні – ключовою складовою їх роботи є дрова, рекомендується деревина твердих порід. У таких опалювальних приладів 2 камери, де відбувається процес згоряння. Перша призначена для первинного горіння під час штучної нестачі кисню. У другій камері відбувається процес згорання, що збільшує тривалість роботи опалювального пристрою на одній закладці палива. Такі різновиди котлів опалення можуть підтримувати горіння від 6 до 10 годин, при цьому ККД буде становити 90%.

2. Пелетні – для їх роботи необхідна гранульована або пресована деревина, або ще їх називають пелети. У цього виду опалювальних пристроїв є спеціальний бункер, необхідний для завантаження пелетів. Саме з нього через шнек паливо поступово надходить в середину топки. Процес горіння не потребує контролю з боку людини, адже розпал повністю автоматизований. Тільки від ємності бункера і кількості пелетів залежить тривалість роботи котла. Зараз деякі сучасні моделі мають спеціальну систему, завдання якої полягає в пневматичній подачі твердого палива. Користувачеві залишається тільки завантажити в сховище потрібну кількість пелетів, якого вистачить на весь сезон холодів. Але котли цього виду працюють виключно на пелетах.

3. Твердопаливні – використовують для спалювання дрова і тирсу. Зараз на ринку можна зустріти інші види котлів на твердому паливі, які працюють на змішаному паливі (вугілля + торф, дрова + вугілля). Ключова особливість подібних котлів – тривалість горіння однієї закладки палива може становити 12 годин, так і триває 2 дні. Ця можливість забезпечується особливою конструкцією, яку має камера згорання. Починає паливо горіти

зверху, а потім вогонь плавно спускається до низу. Одна закладка досягає приблизно 50 кг. Мінусів у подібних котлів немає, при цьому для їх роботи підходять різні види твердого палива [13].

### 1.5.2. Двоконтурні газові котли

Основним паливом, яке використовується для двоконтурного котла є газ, саме тому двоконтурні котли можуть використовуватись лише для опалення газифікованих приміщень. Характерною ознакою за якою двоконтурні котли різняться від одно контурних це наявність вузлів, які дозволяють забезпечувати будинок не лише опаленням, а й ГВП. Агрегати з одним теплообмінником орієнтовані на пріоритет підігріву рідини. При включенні теплої води триходовий клапан перемикається так, що теплообмінник перенаправляється з опалювального контуру на ГВП. У цьому плані краще проявляє себе двоконтурний агрегат з двома незалежними теплообмінниками, який дозволяє незалежно нагрівати рідину і опалювати житло.

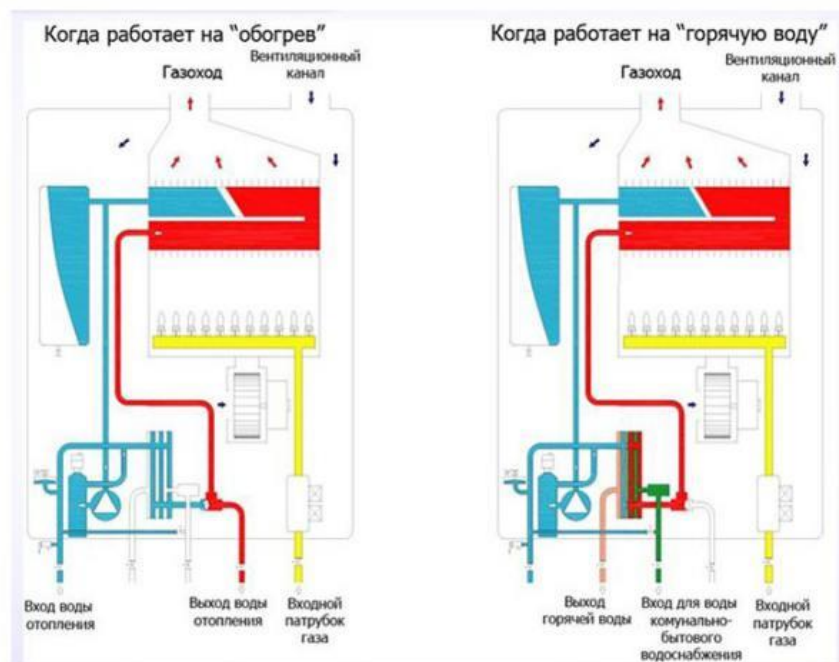


Рис. 1.5.2. Схема роботи двоконтурного котла



Переваги двоконтурного котла:

- економічно найбільш доцільне рішення для опалення будинків з невеликою площею, із скромними потребами в ГВР;
- придбання, установка та експлуатація двоконтурного котла обходяться дешевше ніж обслуговування одно контурного котла та накопичувального агрегату;
- має невеликі розміри;
- підігріву піддається лише та кількість води, яка необхідна, без зайвих витрат на підігрів ви заданої маси.

Серед основних недоліків нестабільність напору води, стрибки температури, у випадку одночасного використання кількох кранів. Використання такого котла не дозволяє заповнювати ванну гарячою водою за рахунок того, що проточні нагрівачі насилу справляються з одноразовим нагріванням такого обсягу води. У таких системах циркуляційні насоси не застосовуються, тому доводиться чекати, поки гаряча рідина потече з крана. Якщо котел і кран розташовані досить далеко один від одного, чекати можна досить довго[13].

### **1.5.3 Електрокотли**

Електричний котел – пристрій, який обігріває приміщення за рахунок використання електроенергії.

Переваги електричних котлів

Опалення будинку електрокотлом користується попитом з кількох причин:

1. Економічна доцільність за рахунок того, що електроенергія є найдоступнішим ресурсом. Для власників систем електричного опалення, на території України діє система пільг.

Денний тариф (з 7:00 до 23:00) – знижка -50% на кожен кіловат (в межах 3600 кВт на місяць в опалювальний сезон);

Нічний тариф (з 23:00 до 7:00) – знижка ще -50% на залишкову суму від попереднього тарифу.

2. Простота та легкість в обслуговуванні, адже електричний котел не потребує регулярного очищення димоходів, витяжок або складної процедури підключення. Електричний котел для опалення будинку вимагає мінімального сервісу – чистка теплообмінника, перевірка роботи обладнання.

3. Практично безшумний режим роботи, щ не викликає у власника відчуття дискомфорту.

4. Невисока ціна у порівнянні з іншими видами опалювальних систем. Дана система опалення вимагає мінімальних фінансових затрат.

5. Великий вибір – широкий асортимент моделей дозволить підібрати оптимальний варіант для кожного приміщення. Потужність варіюється від 6 кВт до 20 кВт.

#### Недоліки електрокотлів

Як і будь-яке інше обладнання, електричні котли мають свої недоліки:

1. Необхідність введення високої потужності споживаної енергії для будинку. Потрібно провести детальні розрахунки з точки зору того, скільки кіловат буде споживати система опалення електрикою. Вони допоможуть уникнути виникнення проблем з недостатньою потужністю.

2. Значний обсяг споживаної енергії. Незважаючи на те, що електроенергія – дешевий ресурс, використання її як основного джерела для палення великих будинків виявиться економічно недоцільним у порівнянні з газовими або твердопаливними котлами.

Тому рекомендується використовувати електрокотел у якості допоміжного теплогерела, або ж як основне, але для невеликих приватних будинків. Для будинків понад 300 м<sup>2</sup> рекомендуємо звернути увагу на опалення тепловим насосом.

3. Часті перебої в електропостачанні – на відміну від газу, електропостачання в Україні часто має проблеми. Відповідно, при

припиненні електропостачання, вся система відключається. Це особливо проблематично в холодну пору року.

Електричний котел для опалення будинку – варіант поширений, завдяки низькій вартості обладнання, спеціальним тарифам на електроенергію, невеликим габаритам, низьким шумовим характеристикам. Цей пристрій використовують як основний вид опалення, але найчастіше – як додаткове джерело тепла, в поєднанні з тепловими насосами, наприклад [16].

### 1.6. Огляд подібних тепlopостачальних установок

Розглянемо декілька патентів, схожих за конструкцією до нашого агрегату.

Геотермальна теплонасосна система з послідовно підключеним  
геліоколектором

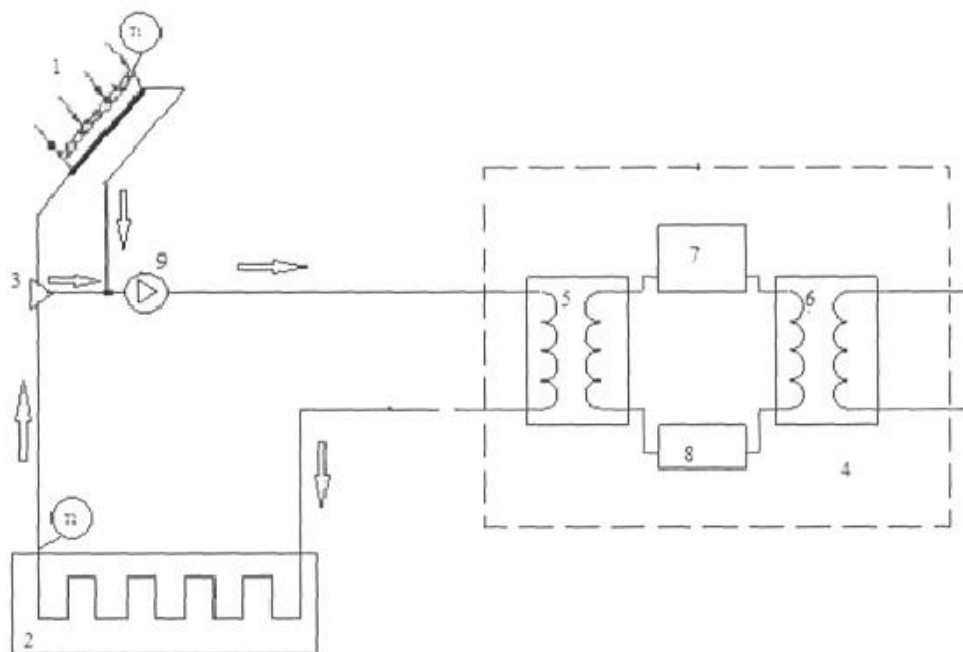


Рис 2.1.1.Схема геотермальної теплонасосної системи

Геотермальна теплонасосна система з послідовно підключеним геліоколектором містить функціонально пов'язані колектор сонячної енергії, тепловий насос, геотермальний теплообмінник. До системи введено

грунтовий колектор, змонтований в свердловині глибиною від 5 до 100 метрів (нижче глибини промерзання ґрунту), який поєднаний з послідовно підключеним до нього геліоколектором.

Корисна модель належить до теплонасосних систем, які як первинне джерело енергії використовують тепло верхніх шарів Землі та енергію сонячного випромінювання і можуть бути застосовані в системах генерування та акумулювання теплової енергії для потреб комунального господарства та промисловості.

Запропонована згідно з корисною моделлю геотермальна теплонасосна система, послідовно підключеним геліоколектором, складається з геліоколектора 1; з ґрунтового колектора 2; перепускного клапана 3; датчиків температури на виході з геліоколектора T1 та виході з ґрунтового колектора T2; з теплового насоса 4, який складається з функціонально пов'язаних випарника 5, конденсатора 6 та компресора 7 з терморегулюючим клапаном 8; циркуляційного насоса 9.

Недолік відомого пристрою є те, що система не може працювати стабільно, так як суттєво залежить від добових, місячних та сезонних коливань сонячної інсоляції та температури зовнішнього повітря.

Основним недоліком відомого пристрою є відсутність можливості акумулювання теплової енергії в літній період для подальшого використання в зимовий період.

## Сонячна установка гарячого водопостачання

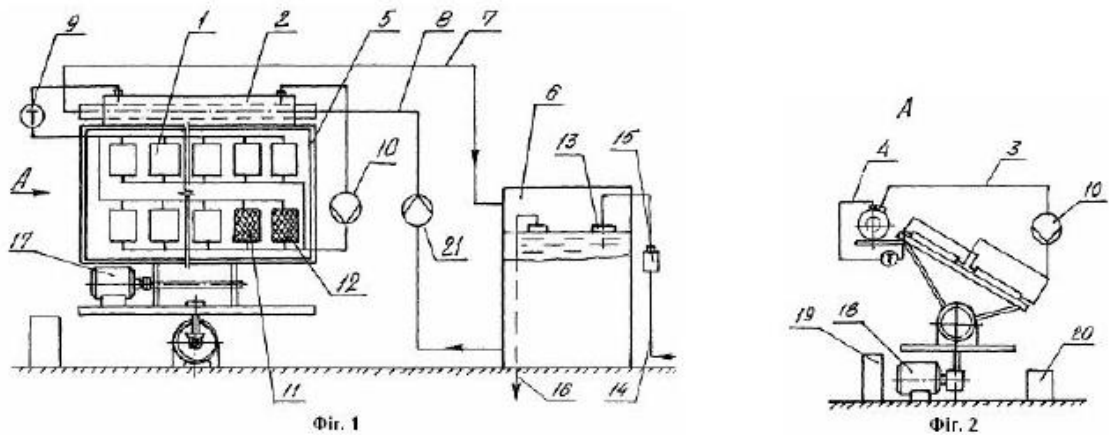


Рис 2.1.2. Схема сонячної установки гарячого водопостачання.

Сонячна установка гарячого водопостачання, яка складається з сонячного колектора, бака-акумулятора, прямого трубопроводу, трубопроводу подачі холодної води до бака-акумулятора і трубопроводу відведення гарячої води до споживача, яка відрізняється тим, що сонячні колектори встановлені на поворотній рамі з дискретним програматором, електрично зв'язаним з сонячною установкою, поверх поворотної рами встановлені двоконтурний трубчатий теплообмінник, з'єднаний у першому контурі з сонячними колекторами трубопроводом входу і трубопроводом виходу теплоносія, при цьому на трубопроводі входу встановлено датчик температури, а на трубопроводі виходу встановлено циркуляційний насос, у другому контурі трубчатий теплообмінник з'єднано з баком-акумулятором прямим трубопроводом і зворотним трубопроводом подач води, виконаними з гнучкого шланга, при цьому в магістралі зворотного трубопроводу встановлено циркуляційний насос, у баці-акумуляторі на поверхні води встановлено регулятор рівня наповнення і до нього підведений трубопровід подачі холодної води з електроклапаном, крім цього на поворотній рамі додатково встановлені два комбінованих сонячних колектори з нанесеними

на сприймаючу поверхню абсорберів кремнієвими фотоелектричними перетворювачами, електрично зв'язаними з інвертором.

Недоліком цієї конструкції є те, що сонячні колектори не зорієнтовані постійно на Сонце, а також відсутня двоконтурна система нагріву теплоносія, що значно зменшує термічний коефіцієнт.

## РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

### 2.1. Вибір схеми опалення

Працює теплопостачальна установка наступним чином. Система з геліоколекторів допомагають нагрівати воду тепловому насосу в баці-акумуляторі. Бак системи вибираємо з урахуванням добової потреби гарячої води для сім'ї з трьох осіб. Звідти вода через теплообмінник поступає в систему гарячого водопостачання (споживач), так само з баку теплоносії надходить і на опалення будинку. За наявності надлишкової теплової енергії від Сонця, її використовуємо на заряд сезонного ґрунтового акумулятора, який в свою чергу дає змогу ефективно розпоряджатись накопиченою енергією в зимній період часу, коли ККД установки значно зменшується, через низьку ефективність геліосистеми взимку. За допомогою 3-х ходових кранів маємо змогу регулювати куди буде надходити отримана теплова енергія, на які з контурів теплопостачальної установки, на споживання чи накопичення енергії в сезон не повного використання всіх ресурсів та можливостей даної системи теплопостачання.

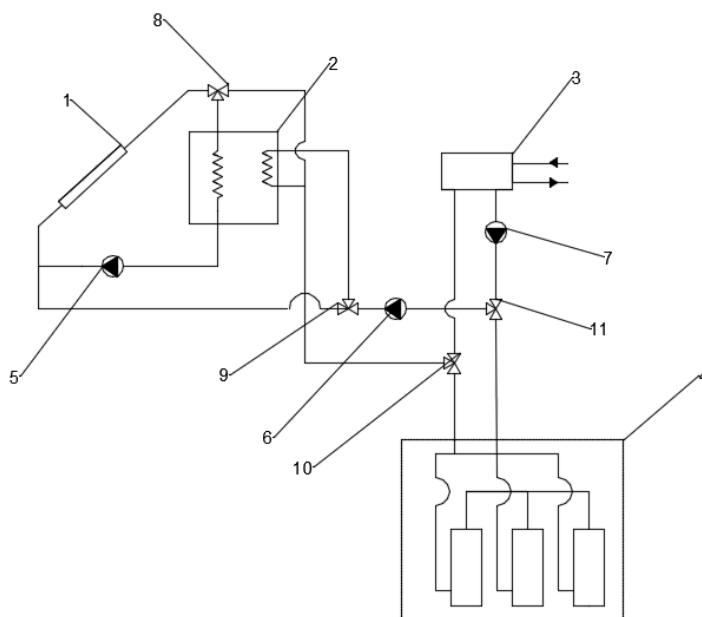


Рис 2.2.1.Схема теплопостачальної установки будинку на базі геліоколектору та теплового насосу.

На рисунку представлена схема яка вулючає в себе систему геліоколекторів (1), розширювальний бак(2), тепловий насос (3), ґрунтовий акумулятор (4), відцентровані насоси (5),(6),(7), та трьохходові клапани (8),(9),(10),(11).

## 2.2. Розрахунок потужності теплопостачальної установки

Для розрахунку потужності теплопостачальної установки потрібно розрахувати теплові витрати дому у який будемо постачати тепло та гарячу воду.

Дім двоповерховий, з параметрами  $9 \times 12$  м, та з загальною площею  $S = 216 \text{ м}^2$ .

### 1. Теплові витрати через стіни

1)Перший шар - це пінобетон у якого коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0.16 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{с})$ . Товщина слою  $H=0.4$  .

$$R_{nin} = \frac{H}{\lambda} = \frac{0.4}{0.16} = 2.5 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

2) Другий шар – пенопласт, де коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0.047 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{с})$ . Товщина шару  $H=0.1$

$$R_n = \frac{H}{\lambda} = \frac{0.1}{0.047} = 2.13 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

3)Третій шар – це штукатурка, де коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0.76 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{с})$ . Товщина шару  $H=0.02$ .

$$R_{ui} = \frac{H}{\lambda} = \frac{0.02}{0.76} = 0.026 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

Знайдемо суму всіх термічних опорів:

$$R = R_{nin} + R_n + R_{ui} = 2.5 + 2.13 + 0.026 = 4.656 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

Загальний термічний опір :

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + R$$



(Де  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  коефіцієнти тепловіддачі на внутрішній  $\alpha_1 = 8.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  та зовнішній  $\alpha_2 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  поверхні конструкції)

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + R = \frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 4.656 = 4.684 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

2) Знайдемо теплові витрати через стіни :

$Q_{cm} = \frac{S_{cm} \Delta T}{R_0}$ , де  $S_{cm}$  - площа стін,  $\Delta T$  - різниця температур,  $R_0$  - термічний опір.

$$S_{cm} = S - S_{\text{вік}} - S_{\text{дв}} = 216 - 31.5 - 3.3 = 181.2 \text{ м}^2$$

$$\Delta T = t_1 - t_2 = 20 - (-30) = 50^\circ\text{C}$$

Де  $t_1$  - температура в кімнаті,  $t_2$  - температура “за бортом”, з урахуванням теплового літа та холодної зими в нашому регіоні.

Отже отримаємо витрати через стіни:

$$Q_{cm} = \frac{S_{cm} \Delta T}{R_0} = \frac{181.2 \cdot 50}{4.684} = 1934.24 \text{ Вт.}$$

## 2. Теплові витрати через вікна та двері

Обираємо площу вікон, вікно в заданому будинку має розміри  $1.5 \times 1.5$ , тоді:

$$S_{\text{вік}} = 1.5 \times 1.5 \times 14 = 31.5 \text{ м}^2$$

14 - кількість вікон в будинку.

Усі вікна виконані із трьохкамерного профілю та мають та мають двокамерний склопакет.

Термічні опори вікна будуть :

$$R_{\text{профілю}} = 0.81 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

$$R_{\text{скла}} = 0.6 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

У вікна більшу частину площі, а саме 90% займає скло та 10% займає профіль, тоді термічний опір вікна буде дорівнювати:

$$R_{\text{вікна}} = R_{\text{профілю}} \times 0.1 + R_{\text{скла}} \times 0.9 = 0.81 \times 0.1 + 0.6 \times 0.9 = 0.621 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

Знаючи площу вікон та їх термічний опір знайдемо теплові втрати:

$$Q_{вікон} = \frac{S_{вікон} \Delta T}{R_0} = \frac{31.5 \times 50}{0.621} = 2536.23 \text{ Вт}$$

Знайдемо теплові витрати через вхідні двері будинку .

Площа дверей  $S_{дв} = 3.3 \text{ м}^2$ .

Двері виготовлені з заліза, та утеплені всередині, термічний опір таких дверей буде дорівнювати:

$$R_{двери} = \frac{H_{заліза}}{\lambda} + \frac{H_{утеплення}}{\lambda} = \frac{0.005}{58} + \frac{0.1}{0.05} = 2 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

Загальний термічний опір :

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + R = \frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 2 = 2.158 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

Теплові витрати через двері будуть дорівнювати:

$$Q_{дверей} = \frac{S_{дв} \Delta T}{R_0} = \frac{3.3 \times 50}{2.158} = 76.46 \text{ Вт}.$$

### 3. Теплові витрати через стелю

Стеля буде виконана з бетонних плит з утеплючим шаром пенопласту.

Отже загальний термічний опір стелі буде дорівнювати:

$$R_{стелі} = 2.27 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

Теплові витрати через стелю будуть дорівнювати:

$$Q_{стелі} = \frac{S_{стелі} \Delta T}{R_0} = \frac{88 \times 50}{2.272} = 1936 \text{ Вт}$$

### 4. Теплові витрати через підлогу

Площа підлоги, так само як і стелі  $S_{підлоги} = 88 \text{ м}^2$ .

Фундамент під дім буде шаровим і виконаний послідовно грунт, щебінь, пінополістирол, та бетон.

Термічний опір такої підлоги буде дорівнювати:

$$R_{підлоги} = 1.47 \left( \text{м}^2 \times \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

А це означає, що теплові витрати через підлогу будуть дорівнювати:

$$Q_{\text{підлогу}} = \frac{S_{\text{підлогу}} \Delta T}{R_0} = \frac{88 \times 50}{1.47} = 2993.2 \text{ Вт}$$

#### 5. Витрати на циркуляцію повітря в домі.

Важливо при розрахунках враховувати, що в будинку буде циркулювати повітря, для комфортного проживання та запобігання хвороб.

Тому розрахуємо теплові витрати на циркуляцію повітря в будинку за формулою:

$$Q_{\text{нов}} = c_p m_{\text{нов}} \Delta T$$

Підставляючи потрібні значення в рівняння отримаємо:

$$Q_{\text{нов}} = c_p m_{\text{нов}} \Delta T = 1000 \times 2 \times 1.2 \times 594 \times 40 = 71.28 \times 10^6 \text{ Дж}$$

Розрахуємо потужність для одної доби для циркуляції повітря:

$$N_{\text{нов}} = \frac{Q_{\text{нов}}}{3600 \times 24} = \frac{71.28 \times 10^6}{3600 \times 24} = 825 \text{ Вт}$$

#### 6. Витрати на гарячу воду в домі:

Розрахуємо середню кількість використання води, в середній сім'ї з трьох осіб, та потужність яка потрібна для обігріву на добу такої кількості води.

$$Q_{\text{води}} = c_p m_{\text{нов}} \Delta T = 4200 \times 200 \times 70 = 58.8 \times 10^6 \text{ Дж}$$

Знайдемо потрібна нам потужність на добу:

$$N_{\text{води}} = \frac{Q_{\text{води}}}{3600 \times 24} = \frac{58.8 \times 10^6}{3600 \times 24} = 680.55 \text{ Вт.}$$

#### 7. Загальна потужність

Знайдемо повну потужність, повна потужність – це сума всіх теплових витрат дому, та потужностей на гарячу воду та циркуляцію повітря:

$$\begin{aligned} N_{\text{нов}} &= Q_{\text{ст}} + Q_{\text{вікон}} + Q_{\text{дверей}} + Q_{\text{стелі}} + Q_{\text{підлогу}} + N_{\text{нов}} + N_{\text{води}} \\ &= 1934.24 + 2536.23 + 76.46 + 1936 + 2993.2 + 825 + 680.55 \\ &= 10981.68 \text{ Вт} = 11 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Для повноцінного функціонування системи та уникнення непередбачених ситуацій збільшимо потрібну потужність на 20%.

Отже загальна потужність яка потрібна для нашого будинку буде дорівнювати:

$$N_{нов} = 13,2 \text{ кВт.}$$

### 2.3. Розрахунок сезонного ґрунтового акумулятора

#### 1.Розрахунок кількості теплоти для опалювального сезону

Згідно з СНиП 23-01- 00  $t_n = -30^\circ\text{C}$ .

Тривалість опалювального сезону  $n = 187$  днів;

Середня температура опалювального періоду  $t_c = 0,2^\circ\text{C}$ ;

Кількість теплоти, яка необхідна на весь опалювальний сезон буде дорівнювати:

$$Q_{сез} = \frac{Q_{бюд} \times 24 \times (t_g - t_c) \times n}{t_g - t_3}$$

$Q_{бюд}$  - теплове навантаження будинку;

$t_g, t_3, t_c$  - температури всередині будинку, зовні будинку, середня температура опалювального періоду відповідно;

Тоді:

$$\begin{aligned} Q_{сез} &= \frac{Q_{бюд} \times 24 \times (t_g - t_c) \times n}{t_g - t_3} = \frac{11000 \times 3600 \times 24 \times (20 - (-30)) \times 187}{20 - 0,2} \\ &= 4,48 \times 10^{10} \frac{\text{Дж}}{\text{сезон}} \end{aligned}$$

Кількість теплоти яку повинен відібрати тепловий насос з ґрунту, для зарядки ґрунтового акумулятора за сезон, також маємо врахувати коефіцієнт перетворення теплового насосу  $\varphi = 3,5$ . Тоді отримуємо:

$$Q_{від} = Q_{сез} \times \frac{\varphi - 1}{\varphi} = 4,48 \times 10^{10} \times \frac{3,5 - 1}{3,5} = 3,2 \times 10^{10} \frac{\text{Дж}}{\text{сезон}}$$

Приймаємо, що кількість теплоти на зарядку сезонного акумулятора буде дорівнювати кількості теплоти, відібраної від нього на потребі опалення

будинку та інші потреби, при цьому піднімається природна температура ґрунту від  $+11^{\circ}\text{C}$  до  $+15^{\circ}\text{C}$  та вище.

Ґрунтовий акумулятор виконаний на базі 8 свердловин, розміщених по вершинам правильного шестикутника та в його остві з діаметром 9 м. Знаходиться під основою будинку. Тоді область перекриття усіх свердловин можна представити у вигляді циліндра з діаметром 18 м.

Для розрахунку акумулятору тепла приймаємо такі вхідні данні:

- проектна теплова потужність системи опалення,  $N_{уст} = 11 \text{ кВт}$
- річне споживання тепла,  $Q_{сез} = 4,48 * 10^{10} \frac{\text{Дж}}{\text{сезон}}$
- річна кількість теплоти для зарядки акумулятора теплоти,  
 $Q_{від} = 3,2 * 10^{10} \frac{\text{Дж}}{\text{сезон}}$
- річне споживання холоду,  $Q_x = 0 \text{ Дж}$
- температури ґрунту на початку та наприкінці опалювального сезону  
 $t_{г1} = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{г2} = 11^{\circ}\text{C}$
- температури рідини на вході та на виході свердловини,  $t_{р1} = 10^{\circ}\text{C}$ ,  
 $t_{р2} = 20^{\circ}\text{C}$
- коефіцієнт теплопровідності ґрунту  $\lambda_g = 2,52 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \times \text{К})}$
- коефіцієнт, який враховує теплові втрати  $k_{h1} = 1,04$
- еквівалентний діаметр трубопроводів  $d_e = 0,132 \text{ м}$
- коефіцієнт температуропровідності ґрунту  $\alpha_g = 0,055 \frac{\text{м}^2}{\text{доба}}$
- сила тяжіння  $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Параметри труб свердловин:

- поліетиленова труба ПЕ-100
- діаметр,  $d_{вн} = 34,5 \text{ мм}$ ,  $d_{зовн} = 42,2 \text{ мм}$
- коефіцієнт теплопровідності труби,  $\lambda_{тр} = 0,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$
- коефіцієнт теплопровідності води,  $\lambda_v = 0,574 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$
- кінематична в'язкість води,  $\nu_v = 1,306 * 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

- теплоємність води,  $Cp_{\text{в}} = 4191 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times \text{К}}$
- густина води,  $\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
- коефіцієнт температурного розширення води,  $\beta_{\text{в}} = 0,7 \times 10^4 \text{ К}^{-1}$
- з'єднання контурів виконано паралельно
- кількість свердловин  $n = 8$
- тепловий потік через стінку  $q = 87 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$

Електрична потужність для теплового насосу:

$$N_{TH} = \frac{1}{\varphi} \times N_{\text{уст}} = \frac{1}{3,5} \times 11000 = 3,56 \approx 4 \text{ кВт}$$

Розраховуємо масову витрату:

$$G = \frac{N_{\text{уст}} \times \frac{\varphi - 1}{\varphi}}{Cp_{\text{в}} \times (t_{p2} - t_{p1})} = \frac{11000 \times \frac{3,5 - 1}{3,5}}{4191 \times (20 - 10)} = 0,187 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Розрахуємо об'ємну витрату:

$$V = \frac{G}{\rho_{\text{в}}} = \frac{0,187}{1000} = 0,000187 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 3021,32 \frac{\text{м}^3}{\text{сезон}}$$

Витрати теплоносія через одну трубу:

$$V_1 = \frac{V}{n} = \frac{0,000187}{8} = 0,0000233 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Швидкість руху теплоносія:

$$w = \frac{V_1}{S_{\text{nn}}} = \frac{4 \times V_1}{\pi \times d_e^2} = \frac{4 \times 0,0000233}{3,14 \times 0,0345^2} = 0,024 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{w \times d_e}{\nu_{\text{в}}} = \frac{0,024 \times 0,0345}{1,306 \times 10^{-6}} = 634$$

Режим руху теплоносія ламінарний, знайдемо число Прандтля:

$$Pr_{жс} = \frac{Cp_{\epsilon} \times \rho_{\epsilon} \times v_{\epsilon}}{\lambda_{\epsilon}} = \frac{4191 \times 1000 \times 1,306 \times 10^6}{0,574} = 9532 \times 10^9$$

Число Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \times d_e^3 \times \beta_{\epsilon} \times (t_{жс} - t_{см})}{v_{\epsilon}} = \frac{9,81 \times 0,0345^3 \times 0,7 \times 10^4 \times (10 - 6,83)}{1,306 \times 10^6} = 684448$$

Температура стінки знаходиться з формули:

$$t_{см} = 0,5 \times (t_{21} - t_{22}) - \frac{q \times \ln\left(\frac{d_{зовн}}{d_{вн}}\right)}{2 \times \lambda_{тр} \times \pi} = 12,5 - \frac{90 \times \ln\left(\frac{0,0422}{0,0345}\right)}{2 \times 0,4 \times 3,14} = 6,83^{\circ}\text{C}$$

Число Релея:

$$Ra = Gr \times Pr_{жс} = 9532 \times 10^9 \times 684448 = 652416 \times 10^{12}$$

Режим потоку, в'язкісно-гравітаційний, тоді критерій Нуссельта знаходиться за наступною формулою:

$$\begin{aligned} Nu &= 0,15 \times Re^{0,33} \times Pr_{жс}^{0,33} + Ra^{0,1} \times \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{см}}\right)^{0,25} = \\ &= 0,15 \times 634^{0,33} \times (9532 \times 10^9)^{0,33} + (684448 \times 10^{12})^{0,1} \times \left(\frac{9532 \times 10^9}{11418 \times 10^9}\right)^{0,25} = 24263,42 \end{aligned}$$

Число Прандтля при температурі стінки 6,83°C:

- $\lambda_{\epsilon'} = 0,570 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$
- $v_{\epsilon'} = 1550 \times 10^6 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$
- $Cp_{\epsilon'} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
- $\rho_{\epsilon'} = 999,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$Pr_{см} = \frac{Cp_{\epsilon'} \times \rho_{\epsilon'} \times v_{\epsilon'}}{\lambda_{\epsilon'}} = \frac{4200 \times 1000 \times 1,550 \times 10^6}{0,570} = 11418 \times 10^9$$

Коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до стінки:

$$\alpha = \frac{Nu \times \lambda_g}{d_e} = \frac{24263,42 \times 0,574}{0,0345} = 403,65 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Термічний опір свердловини:

$$R_c = \frac{1}{\alpha \times d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2 \times \lambda_{\text{гр}}} \times \ln\left(\frac{d_{\text{зовн}}}{d_{\text{вн}}}\right) =$$
$$= \frac{1}{403,65 \times 0,0345} + \frac{1}{2 \times 0,4} \times \ln\left(\frac{0,0422}{0,0345}\right) = 0,3236 \frac{м \times К}{Вт}$$

Загальна довжина свердловини: задаємо  $L = 100 м$

Питомий тепловий потік з погонного метра буде:

$$q = \frac{N_{\text{уст}} - N_{\text{тн}}}{L} = \frac{11000 - 10000}{100} = 10 \frac{Вт}{м}$$

Глибина буріння з умови що свердловин 8:

$$h = \frac{L}{8} = \frac{100}{8} = 12,5 м$$

*Уточнення кількості теплоти яку потрібно отримати з геліоколектора*

Глибина промерзання ґрунту для нашої місцевості складає 2м. Тоді для ефективної роботи ґрунтового акумулятора збільшимо глибину свердловини до 20 метрів. Виходячи з цього кількість теплоти яка необхідна для нагріву ґрунту від +11 до +20 °С розрахуємо як:

$$Q_{\text{зк}} = C_{p \text{ гр}} \times \rho_{\text{гр}} \times V_{\text{гр}} \times (t_{g1} - t_{g2})$$

$$\text{Де } C_{p \text{ гр}} = 1724 \frac{Дж}{(кг \times К)}$$

$$\rho_{\text{гр}} = 2050 \frac{кг}{м^3}$$

Тоді отримаємо :

$$Q_{\text{зк}} = 1724 \times 2050 \times \frac{3,14 \times 18^2}{4} \times 14,5 \times (20 - 11) = 11,7 \times 10^9 Дж$$



## 2.4. Розрахунок теплової ефективності геліосистеми

$$H(n) = A + B \times \cos \left[ \frac{2\pi(n - 173)}{365} \right] \quad (1)$$

Де  $A=19.25-0.135\varphi$

$B=0.82+0.155 \varphi$

$\varphi = 48$  – широта місцевості.

$n$ - порядковий день року

Таблиця 2.1 – Інтенсивність сонячних променів за вибраними днями

Номер дня	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$H(n)$ мДж/ $м^2 * доб$	5,23	8,00	11,6	15,9	19,3	20,9	20,3	17,7	13,6	9,49	6,09	4,56 3
$H(n)$ кВт/м <sup>2</sup> * доб	1,45	2,22	3,24	4,44	5,37	5,82	5,66	4,92	3,79	2,63	1,69	1,26

Розрахуємо схилення сонця для кожного з обраних днів за приблизною формулою Купера

$$\delta = 23.45 \times \sin \left( 360 \times \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

Таблиця 2.2 – Схилення сонця для кожного з обраних днів

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Град	- 21.27	- 13.29	- 2.819	9,08	19.79	23.26	21,24	13.78	2.22	-9,06	- 20.52	- 23.34
Радіани	- 0.371	- 0.232	- 0.049	0.164	0.328	0.407	0.376	0.241	0.039	- 0.168	- 0.334	- 0.407

Середньомісячна денна сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на похилу поверхню сонячного колектора визначається за формулою :

$$E_k = R \times E \quad (3)$$

Де  $R$  – відношення середньомісячних денних кількостей сонячної радіації, що надходить на похилу і горизонтальну площину поверхні.

$E$  – середньомісячна денна сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню;

Розраховується за формулою:

$$E = \frac{7200}{\pi} \times N \times \psi_c \times E_{\delta} \times [1 + 0.024 \times (\varphi_{\delta} - \varphi)] \times m \quad (4)$$

На дванадцятую годину дня

Де  $E_{\delta}$ ,  $\varphi_{\delta}$  – базова інтенсивність сонячної радіації і географічна широта бази.

В нашому випадку дані по місту Києву.

$N$  – тривалість дня.

$m$  – кількість днів у даному місяці.

$\psi_c$  - коефіцієнт сонячного сяяння для данного місяця.

Значення інтенсивності сонячної радіації для міста Києва приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_{\delta}$ Вт/м <sup>2</sup>	315	490	655	765	865	880	845	785	675	510	355	280

Значення коефіцієнта сонячного сяяння  $\psi_c$  наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\psi_c$	0,18	0,24	0,39	0,45	0,55	0,61	0,67	0,71	0,61	0,47	0,29	0,18

Розрахуємо  $E$  для кожного місяця за формулою (4). Розрахунки наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E$ $\text{мДж/м}^2 \times \text{дні}$	37,20	82,34	225,78	339,37	540,59	622,58	664,09	601,1	376,96	196,24	69,40	31,71
$E$ $\text{кВт/м}^2 \times \text{дні}$	10,33	22,87	62,707	94,255	150,14	172,91	184,44	166,96	104,69	54,50	19,27	8,81

Коефіцієнт перерахунку кількості сонячної енергії з горизонтальної поверхні на похилу поверхню сонячного колектора з південною орієнтацією дорівнює сумі трьох складових відповідних прямому, розсіяному та відбитому сонячному випромінюванню:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \times R_p + \frac{E_p}{E} \times \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \times \frac{1 - \cos\beta}{2}$$

Де  $E_p$  – сереньомісячна денна кількість розсіяного сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню. Значення для кожного місяця беремо з кліматичного сніпу(довідника). Значення занесемо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_p$ $\text{мДж/м}^2 \times \text{дні}$	26,7	51,3	126,9	170,6	216,3	259	289,8	246,7	147,7	95	46,5	22,3
$E_p$ $\text{кВт/м}^2 \times \text{дні}$	7,417	14,25	35,25	47,39	60,08	71,94	80,5	68,53	41,08	26,39	12,92	6,194

$\frac{E_p}{E}$  – середньомісячна денна частка розсіяного випромінювання;

$R_p$  – середньомісячний коефіцієнт перерахунку сонячного випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню ;

$\beta$  – кут нахилу поверхні сонячного колектора до обрію;

$\rho$  – коефіцієнт віддзеркалювання (альbedo) поверхні землі і навколишніх тіл (для зими  $\rho = 0,7$ , для літа  $\rho = 0,2$ ).

Тривалість дня  $N$  на 15 число кожного місяця знайдемо та внесемо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$N, \text{год}$	8,76	10,35	11,8	13,6	15,17	16	15,66	14,4	12,63	10,93	9,3	8,4

Середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання для поверхонь похилого колектора з південною орієнтацією має вигляд:

$$R_p = \left( \cos(\varphi - \beta) \times \cos \delta \times \sin \omega_{3, \text{Л.}} + \left( \frac{\pi}{180} \right) \times \omega_{3, \text{Л.}} \times \sin(\varphi - \beta) * \sin \delta \right) / (\cos \varphi \times \cos \delta \times \sin \omega_3 + \left( \frac{\pi}{180} \right) \times \omega_3 \times \sin \varphi \times \sin \delta). \quad (6)$$

Де  $\varphi$  – широта місцевості, град.;

$\beta$  – кут нахилу колектора до обрію, град.;

$\delta$  – схилення сонця в середині місяця;

$\omega_3$  – годинний кут заходу Сонця для горизонтальної поверхні, град.;

$\omega_{3, \text{Л.}}$  – годинний кут заходу Сонця для похилої поверхні, град.

Годинний кут заходу (сходу) сонця для горизонтальної поверхні розраховується за формулою:

$$\omega_3 = \arccos(-tg\varphi \times tg\delta) \quad (7)$$

Розрахуємо  $\omega_3$  та отриманні значення внесемо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Градуси	63,79	74,79	82,67	100,39	112,2	118,6	117	105,8	92,46	78,94	67,32	61,37
Радіани	1,11	1,3	1,44	1,75	1,95	2,067	2,03	1,84	1,61	1,37	1,17	1,07

У якості годинного кута заходу Сонця для похилої поверхні з південною орієнтацією приймають менше з двох значень  $\omega_z$  або значення  $\omega_{z,Л.}$ , розрахований за формулою:

$$\omega_{z,Л.} = \arccos[-tg(\varphi - \beta) \times tg(\delta)] \quad (8)$$

Розрахуємо для кожного місяця, та заповнимо результатами таблицю 2.9.

Таблиця 2.9.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\omega_{z,Л.}$	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

Тепер знаходимо середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання  $R_p$  за формулою (6) для поверхонь похилого колектора з південною орієнтацією. Отримані для кожного місяця данні напишемо у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	3,24	2,316	1,63	1,144	0,987	0,8	0,837	1,02	1,399	2,031	2,936	3,598

Знаходимо коефіцієнт перерахунку  $R$  кількості сонячної енергії з горизонтальної поверхні на похилу поверхню сонячного колектора з південною орієнтацією за формулою (5). Отримані данні для кожного місяця внесемо в таблицю 2.11.

Таблиця 2.11.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$R$	1,617964	1,559342	1,389051522	1,233420955	0,828091967	0,706059582	0,714278625	0,8392766	1,085367338	1,298922621	1,663469	1,768407

Знаходимо середньомісячну денну сумарну кількість сонячної енергії  $E_k$ , що надходить на похилу поверхню сонячного колектора на дванадцять годину дня за формулою (3). Отримані денні для кожного місяця запишемо до таблиці 2.12.

Таблиця 2.12.

місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_k$ МДж/м <sup>2</sup> × дні	60,2	128,4	313,6	418,6	447,6	439,6	474,3	504,5	409,1	254,9	115,4	56,1
$E_k$ кВт/м <sup>2</sup> × дні	16,72	35,67	87,14	87,14	124,38	122,14	131,79	140,19	113,68	70,82	32,07	15,58

#### Розрахунок площі геліоколектора

Геліоколектор використовується для зарядки сезонного акумулятора в теплий період року:

$$F_{\text{зк}} = \frac{f_z \times Q}{E \times \eta_{\text{сист}}}$$

$f_z = 1$  – коефіцієнт заміщення (вказує частку енергії традиційного палива, заміщену шляхом використання сонячної енергії);

$Q$  – теплове навантаження яке потрібне для зарядки акумулятора ;

$E$  – сумарна інтенсивність сонячної радіації з урахуванням коефіцієнта  $R$ ;

$\eta_{\text{сист}} = 0,65$  – ККД системи, взате з урахуванням сучасних максимально досягнутих значень.

$$F_{\text{зк}} = \frac{1 \times 11,7 \times 10^9}{3.622 \times 10^9 \times 0.65} = 31.8 \text{ м}^2$$

Приймаємо  $F_{\text{зк}} = 31.8 \text{ м}^2$

Розрахуємо кількість модулів геліосистеми:

$$n = \frac{F_{\text{зк}}}{F_{\text{зк1}}} = \frac{31.8 \text{ м}^2}{2 \text{ м}^2} = 16 \text{ повних секцій.}$$

Вибираємо модуль з наступними параметрами:

- Модуль геліоколектора полімерний з подвійними склом, теплоприймальною площею  $F_{\text{зк1}} = 2 \text{ м}^2$ . Габаритні розміри  $L \times b = 2000 \times 1000$  (мм).
- Теплоприймальний елемент – чорна полімерна плита  $\varepsilon_n = 0,96$ , товщина стінки  $\delta_n = 2$  (мм). Скло – нове прокатне товщиною  $\delta_{\text{ск}} = 4$  (мм) і теплопровідністю  $\lambda = 0,745 \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}} \right)$ , воно віддалене від теплоприймального елемента на відстань  $\delta_3 = 35$  (мм).
- Теплоізоляція – екструдований пінопластирол загальною товщиною  $\delta_{\text{із}} = 50$  (мм) і теплопровідністю  $\lambda = 0,029 \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}} \right)$ . Теплоносій в колекторі – розчин пропіленгліколю. Коефіцієнт прозорості скла  $\varepsilon_n = 0,93$ .

Визначення об'ємних та масових витрат теплоносія через геліоколектор: в системі буде використано теплоносій 45% водний розчин пропіленгліколю, характеристики якого наведені нижче (таблиця 2.13):

Таблиця 2.13.

$t^{\circ}C$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \times K$	$\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \times K$
-10	1058	3,52	0,395
0	1054	3,56	0,395
20	1044	3,62	0,394
40	1033	3,69	0,393
60	1015	3,76	0,392

Виходячи з того, що середня температура теплоносія на виході сезонного акумулятора в режимі зарядки повинна складати  $35^{\circ}C$ , знайдемо витрату теплоносія через геліоколектор за середніми значеннями температури навколишнього середовища, інтенсивності сонячної радіації та тривалості світлового дня:

$$G_{mp} = \frac{s_1 \times E_{нп.ср} \times n \times \eta}{n_{сєєр.} \times \tau_{сєр.} \times 3600 \times C_p \times (t_{вих} - t_{вх})}$$

$$G_{mp} = \frac{2 \times 3,19 \times 10^8 \times 16 \times 0,65}{30,6 \times 14,1 \times 3600 \times 3639 \times (35 - 15,5)} = 0,0601 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$s_1$  – площа одного модуля геліоколектора;

$E_{нп.ср}$  – середня інтенсивність сонячної радіації за місяць;

$\eta$  – ККД геліоколектора;

$n$  – кількість модулів геліосистеми;

$t_{вих}$  – середня температура навколишнього середовища;

$n_{сєєр.}$  – середня кількість днів у місяці;

$\tau_{сєр.}$  – середня тривалість світлового дня.

Відповідно об'ємні витрати в такому разі складають:

$$\dot{V} = \frac{\dot{G}}{\rho} = \frac{0,0601}{1041} = 5,77 \times 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$$



Тоді середньомісячна температура теплоносія по місяцям буде знайдена за формулою:

$$t_{вих.i} = t_{вх.i} + \frac{E_{нп} \times F_{зк}}{\frac{\tau_{с.і.} \times n_i \times 3600}{\dot{G} \times C_p}}$$

$t_{вх.i}$  – температура навколишнього середовища відповідного місяця;

$n_i$  – кількість днів у розрахованому місяці;

$\tau_{с.і.}$  – середня тривалість світлового дня в і-тому місяці.

Результати розрахунків середньомісячної температури теплоносія по місяцях наведені в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14.

Місяць	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
$t_{вих.i}^{\circ C}$	43,06	53,078	59,31	63,04	62,95	55,45	46,52

## 2.5.Розрахунок теплового насосу

### *Розрахунок теплообмінного апарату*

Для підігріву води обираємо теплообмінний апарат змієвикового типу.

Вихідними даними для такого теплообмінного апарату буде:

1. Витрати гріючої води:  $Q_{води} = 0,007 \frac{м^3}{с}$ ;
2. Температура води на вході:  $T_{вх} = 50^{\circ C}$ ;
3. Температура води на виході:  $T_{вих} = 90^{\circ C}$ ;
4. Початкова температура хладагенту:  $T_{хг1} = 5^{\circ C}$ ;
5. Кінцева температура хладагенту:  $T_{хг2} = 15^{\circ C}$ ;
6. Витрати хладагенту:  $Q_{хл} = 0,0015 \frac{м^3}{с}$ .

Розрахуємо теплообмінний апарат.

Знаходимо коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$\delta = 0,002$  м – товщина стінки труби;

$\lambda = 45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$  – коефіцієнт теплопровідності сталі.

Для розрахунку нам потрібен коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$ , знайдемо його для води.

Визначимо швидкість руху води:

$$w_1 = \frac{4 \cdot Q_B}{\pi \cdot d^2} = 14,26 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Де  $d=0,025$  м – внутрішній діаметр трубки теплообмінника.

Визначаємо далі число Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d}{\nu_1} = 447725,39$$

$\nu_1 = 0,478 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості води.

Режим руху турбулентний.

Знайдемо число Нюсельта:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25}$$

$Pr = Pr_{\text{ст}} = 3,57$  при нормальній температурі.

$$Nu_1 = 0,021 \cdot 447725,39^{0,8} \cdot 3,57^{0,43} \cdot 1^{0,25} = 1216,46$$

Тоді:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d} = \frac{1216,46 \cdot 0,65}{0,025} = 31267,92 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$$

Де  $\lambda_1 = 0,65$  - коефіцієнт теплопровідності для води.

Визначимо коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2$  для хладагенту.

Швидкість руху хладагенту буде дорівнювати:

$$w_2 = \frac{4 \cdot Q_{\text{хг}}}{\pi \cdot D^2} = 0,00746 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Де  $D=1600$  мм – внутрішній діаметр бака.

Знайдемо число Рейнольдса для хладагенту:

$$Re_2 = \frac{w_1 \cdot D}{\nu_1} = 119.426$$

Тепер можемо визначити число Нюсельта:

$$Nu_2 = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n$$

Значення коефіцієнтів  $c$ ,  $n$  - залежать від величин  $Gr$  та  $Pr$ .

$$Gr \cdot Pr = \frac{\beta \cdot g \cdot D^3 \cdot \Delta T}{\nu^2} \cdot \frac{\nu}{\alpha}$$

В рівнянні  $g=9,8 \frac{м}{с^2}$  – прискорення вільного падіння;

$D=1600$  мм – внутрішній діаметр бака;

$\beta = \frac{1}{250} = 0,004$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення;

$T$  – середня температура хладагенту.

$$\Delta T = T_{\text{пов}} - T = 40 - 10 = 30^\circ\text{C}$$

$\nu = 10 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості хладагенту;

$$a_{\text{хлад}} = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p}$$

$\alpha$  – коефіцієнт температуропровідності хладагенту;

$\lambda = 1850$  – коефіцієнт теплопровідності хладагенту;

$\rho = 0,81$  – густина хладагенту;

$C_p = 2$  – теплоємність хладагенту:

$$a_{\text{хлад}} = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p} = \frac{1850}{0,81 \cdot 2} = 0,01142 \frac{м^2}{с}$$

Звідси отримаємо:

$$Gr \cdot Pr = \frac{0,004 \cdot 9,8 \cdot 1,6^3 \cdot 30}{(10 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \frac{10 \cdot 10^{-6}}{1141,97} = 42180386,59$$

Для  $Gr \cdot Pr > 10^3$ :

$$Nu_2 = 0,75 \cdot (42180386,59)^{0,25} = 60,44$$

Тоді:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda}{D} = \frac{60,44 \cdot 1850}{1,6} = 69886,07 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$$

Знайшовши коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha$ , тепер можемо знайти коефіцієнт теплопередачі  $K$ :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{31267,92} + \frac{0,002}{45} + \frac{1}{69886,07}} = 11065,48 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$$

Визначаємо величину водяного еквівалента:

$$w_1 = G_H \cdot C_{p.H} = 0,007 \cdot 4149 = 29,043$$

Де  $C_{p.H} = 4149 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$  – теплоємність води.

Для хладагенту

$$w_2 = G_{xg} \cdot C_{p.xg} = 0,0015 \cdot 2 = 0,003$$

Визначимо середні перепад температури:

$$T = T_{c.B} - T_{c.xg} = 60^\circ\text{C}$$

Визначимо кількість теплоти переданою водою:

$$Q = \dot{m} \cdot C_{p.B} \cdot T_{c.B} = 7 \cdot 4149 \cdot 70 = 2033010 \text{ Вт}$$

Де  $\dot{m} = G_H \cdot \rho = 0,007 \cdot 1000 = 7 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

Отримаємо тепловий потік:

$$q = K \cdot T = 11065,48 \cdot 60 = 663929,25 = 663,9 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$$

Тепер ми можемо отримати площу поверхні теплообмінника:

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{2033010}{663929,25} = 3,062 \text{ м}^2$$

Довжина труб змієвикового теплообмінника буде дорівнювати:

$$L = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot R} = \frac{3,062}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,08} = 6,094 \text{ м.}$$

*Розрахунок компресору*

Початкові данні:

Обираємо одноступінчастий двоциліндровий компресор двійної дії, має поршні діаметром  $d=0,7\text{м}$ , величина ходу дорівнює  $S=0,6 \text{ м}$ , а величина простору  $c=0,036$ .

Вал компресора обертається зі швидкістю  $n = 200$  об/хв.

Пар води при температурі  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  у компресорі знаходиться у стадії стиснення під тиском від  $P_1 = 0,1\text{ МПа}$  до  $P_2 = 0,3\text{ МПа}$ .

Показник політропи дорівнює  $m=1.2$

ККД механічне дорівнює  $0,94$

ККД адіабатне дорівнює  $0,82$

Спочатку визначимо площу поперечного перерізу поршня  $F$  за формулою:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,3846 \text{ м}^2$$

Далі перед розрахунком продуктивності компресора необхідно знайти коефіцієнт подачі, але спершу визначаємо об'ємний ККД:

$$\lambda_0 = 1 - c \cdot \left( \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{1/m} - 1 \right) = 0,946$$

Знаючи об'ємний ККД, скористаємося знайденим значенням і з його допомогою визначимо величину коефіцієнта подачі за формулою:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1.01 - 0.02 \cdot \left( \frac{P_2}{P_1} \right)) = 0,8987$$

Тепер підрахуємо продуктивність компресора  $Q$ :

$$Q = \lambda \cdot z \cdot F \cdot s \cdot n$$

Оскільки компресор подвійної дії, то коефіцієнт  $z$  буде дорівнювати 2. Оскільки необхідно також помножити на 2. Отримаємо:

$$Q = 2 \cdot \lambda \cdot z \cdot F \cdot s \cdot n = 165,94 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Масова витрата води  $G$  буде дорівнювати, де  $\rho$  – щільність води, при даній температурі дорівнює  $0,0830 \text{ кг/м}^3$ . Розрахуємо це значення:

$$G = Q \cdot \rho = 13,77 \text{ кг/мин}$$

Часова витрата буде дорівнювати:

$$60 \cdot G = 826,386 \text{ кг/год}$$

Щоб розрахувати споживану потужність компресора, попередньо необхідно обчислити величину роботи, яка повинна бути витрачена на стиснення пару. Для цього скористаємося наступною формулою:

$$A_{\text{сж}} = \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot t \cdot \left( \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)$$

У цій формулі  $k$  – показник адіабати, який дорівнює відношенню теплоємності при постійному тиску до теплоємності при постійному обсязі ( $k=c_p/c_v$ ), і для пару цей показник дорівнює 0,4554.  $R$  – газова постійна, дорівнює 461 МДж/(кг·К), де  $M$  – молярна маса пару. У разі пару  $M$  береться рівній 18 г/моль, тоді  $R=461/18=25,61$  Дж/(кг·К).

Підставимо отримані значення в формулу роботи зі стиснення і знайдемо її значення:

$$A_{\text{сж}} = 782,98 \text{ Дж/кг}$$

Після знаходження значення витрачається на стиснення повітря роботи стає можливим визначення споживаної компресором потужності за такою формулою:

$$N = \frac{G \cdot A_{\text{сж}}}{100 \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{ад}}} = 139,9 \text{ кВт}$$

Разом отримаємо, що витрата компресора становить 165,94 м³/хв, а споживана потужність – 139,9 кВт

#### *Розрахунок випарник*

Для розрахунку випарника будуть потрібні дані температур теплоносія та конденсатора.

Початкові дані:

1. Температура на вході до випарника:  $t_1=5^\circ\text{C}$
2. Температура на виході із випарника:  $t_2=15^\circ\text{C}$
3. Температура води на вході до понижувальної камери:  $t_{\text{п}}=50^\circ\text{C}$
4. Температура води на виході із конденсатора:  $t_{\text{к}}=70^\circ\text{C}$
5. Теплопровідність теплового насоса:  $Q = 2033010 \text{ Вт}$

Приймаємо кінцеву температуру у випарнику:

$$t_3=3^{\circ}\text{C}$$

Тоді, знаючи кінцеву температуру, знайдемо температуру випаровування води у парогенераторі:

$$t_0 = t_2 - t_3 = 7^{\circ}\text{C}$$

Після цього задаємося кінцевою температурою конденсатора:

$$t_{kk} = 13^{\circ}\text{C}$$

Тоді знайдемо температуру конденсатора:

$$t_{k0} = t_{\pi} + t_{kk} = 63^{\circ}\text{C}$$

Знаючи дані температури та тиск із таблиці T-S діаграми знайдемо ентальпію на кожній точці:

Точка 1:  $h_1=650$  кДж/кг;

Точка 2:  $h_2=780$  кДж/кг;

Точка 3:  $h_3=550$  кДж/кг;

Точка 4:  $h_4=500$  кДж/кг;

Точка 5:  $h_5=500$  кДж/кг;

Тоді знайдемо удільне теплове навантаження випарника:

$$q_0 = h_1 - h_s = 650 - 500 = 150 \text{ кДж/кг}$$

Знайдемо удільне теплове навантаження конденсатора:

$$q_k = h_2 - h_3 = 780 - 550 = 230 \text{ кДж/кг}$$

Знайдемо удільне теплове навантаження конденсатора понижуючого температуру агенту:

$$q_{ox} = h_3 - h_4 = 550 - 500 = 50 \text{ кДж/кг}$$

Знайдемо тепловий баланс:

$$q = q_0 + (h_2 - h_1) = 150 + 130 = 280 \text{ кДж/кг}$$

Знайдемо теплове навантаження випарника знаючи витрату та удільне теплове навантаження:

$$Q_{п.г} = q \cdot G = 3856,47 \text{ кВт}$$

Також знайдемо теплове навантаження для понижуючого температуру агенту:

$$Q_{\text{ox}} = q_{\text{ox}} \cdot G = 688,65 \text{ Вт7}$$

Коефіцієнт трансформації:

$$\mu = \frac{1}{E_{\text{тн}}} = \frac{1}{0,225} = 3,9$$

Де  $E_{\text{тн}} = 0,225$  - питома витрата електроенергії.



### РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ТЕПЛОВОГО НАСОСА ТА ГЕЛІОКОЛЕКТОРА

#### 3.1. Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних засобів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції з реалізації проекту, який був розрахований у дипломній роботі включають:

- витрати на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів контролю та обліку витрачання ресурсів, приладів діагностики стану обладнання тощо;
- витрати, пов'язані з виконанням монтажних-налагоджувальних робіт;
- витрати на доставку всього обладнання.

При визначенні величини проектних капіталовкладень ( $K_{пр}$ ) можна скористатися формулою:

$$K_{пр} = K_{об} \left( \sum_{i=1}^K U_i \right) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n$$

Де  $K_{об} \left( \sum_{i=1}^K U_i \right)$  - вартість придбання електрообладнання;

$Z_{тзс}$  - транспортно-заготівельні витрати;

$Z_m$  - витрати на монтажні роботи;

$Z_n$  – витрати на налагоджувальні роботи;

Таблиця 3.1 Зведення капітальних витрат на спроектовану установку

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Тепловий насос	1	101000	101000
2	Геліоколектор	1	65000	65000
3	Ґрунтовий акумулятор	1	100000	100000
4	Розширювальний бак	1	25000	25000
5	Трьохходовий клапан	4	850	3400
6	Відцентрований насос	3	2500	7500
7	Монтаж	1	15095	15095
8	Доставка	1	6038	6038
9	Налагоджувальні роботи	1	9057	9057
	ВСЬОГО			332090

Таблиця 3.2 Зведення капітальних витрат на систему опалення  
твердопаливним котлом

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Твердопаливний котел	1	31200	31200
2	Розширювальний бак	1	35000	35000
3	Термоклапан	2	1250	2500
4	Теплообмінник	1	15000	15000
5	Циркуляційний насос	2	2500	5000
6	Монтаж	1	4435	4435
7	Доставка	1	1774	1774
8	Налагоджувальні роботи	1	2661	2661
	ВСЬОГО			97570

**Таблиця 3.3 Зведення капітальних витрат на систему опалення  
електричним котлом**

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн..	Сума, грн.
1	Електрокотел	1	20000	20000
2	Розширювальний бак	1	10000	10000
3	Циркуляційний насос	2	2500	5000
4	Зворотній клапан	2	800	1600
5	Запірний клапан	6	500	3000
6	Монтаж	1	1980	1980
7	Доставка	1	792	792
	Налагоджувальні роботи	1	1188	1188
	<b>ВСЬОГО</b>			<b>43560</b>

Ціни на прилади та додаткові роботи (монтажні, транспортні та налагоджувальні) були взяті з інтернет магазинів які спеціалізуються на продажу продукції для систем опалення дому та проектування систем опалення під ключ.

### **3.2. Розрахунок експлуатаційних витрат**

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_3$ );
- єдиний соціальний внесок ( $C_c$ );
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж ( $C_T$ );

- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або втрат електроенергії ( $C_e$ );
- інші експлуатаційні витрати ( $C_{ін}$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_T + C_e + C_{ін}, \text{ грн.}$$

Детально в наступних пунктах розраховані всі витрати (розрахунки проведені у програмі Excel)

### 3.2.1. Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів і нематеріальних активів визначається підприємством самостійно, виходячи з очікуваних економічних вигод, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання. Термін корисного використання об'єктів основних засобів для нарахування амортизації, який приймається дипломником, не може бути менше мінімально допустимих термінів корисного використання.

яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартістю основних засобів і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості:

$$\Phi_a = \Phi_{п} - Л$$

де  $\Phi_{п}$  – первісна вартість об'єкта основних засобів, яка складає 301900 гривень;

$Л$  – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів, яка складає 70000 гривень.

$$\Phi_a = 231900 \text{ грн}$$

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{\Phi_n - Л}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100, \%$$

де  $T_n$  – термін корисного використання, який складає 20 років.

$$H_a = 3,84 \%$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$AO = \frac{\Phi_n \cdot H_a}{100} = 11595 \text{ грн}$$

Таблиця 3.4 Розрахунок амортизаційних відрахувань для нашої установки

№ з/п	Найменування	Капітальні інвестиції, тис. грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, тис. грн.
1.	Проектний варіант	301900	3,84	11595

Тепер так само розрахуємо амортизаційні витрати для твердопаливного та електричного котла.

Таблиця 3.5 Розрахунок амортизаційних відрахувань для твердопаливного котла

№ з/п	Найменування	Капітальні інвестиції, тис. грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, тис. грн.
1.	Проектний варіант	88700	8,87	8870

Таблиця 3.6 Розрахунок амортизаційних відрахувань для електричного котла

№ з/п	Найменування	Капітальні інвестиції, тис. грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, тис. грн.
1.	Проектний варіант	39600	8,48	600

### **3.2.2. Розрахунок річного фонду заробітної плати**

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу (робітники, КСС), що обслуговує об'єкт проектування, відповідно до їхньої чисельності, режиму роботи, за погодинними тарифними ставками, посадовими окладами, формами і системами оплати праці і преміювання, що застосовують на підприємстві.

В дипломній роботі розраховується установка для приватного будинку це не передбачує постійного працівника, так як система автоматизована і для системи буде достатньо штатної діагностики раз на квартал. Тому можемо включити погодинну заробітну плату працівника який буде проводити діагностику обладнання.

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати складає:

$$C_z = Z_{m(n)} = 4000 \text{ грн}$$

### **3.2.3. Розрахунок відрахувань на соціальні заходи**

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) на даний момент в Україні складає 22% від мінімальної заробітної плати, враховуючи, що заробітна плата зараз складає 5000 грн, то ЄСВ складає 1100 грн/місяць.

В даному проекті, визначати цей показник немає необхідності, так як, проект розрахований на приватний будинок, в якому немає штатних, або найнятих робітників

### **3.2.4. Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.**

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$З_{m.p.} = \sum_{i=1}^n \left( R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi} \right)$$

де n – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту, дорівнює 3;

$R_i$  – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, дорівнює 50 грн;

$t_i$  – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту год./ од., дорівнює 7.

$m_i$  – число ремонтів за рік (наприклад, для закритих електромашин число малих ремонтів - 2, середніх - 1, капітальних - 0,1), дорівнює 1;

$R_c$  – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання, дорівнює 5;

$S_i$  - вартість однотипних замінних елементів, 500 дорівнює грн.;

$\Pi$  – кількість однотипних замінних елементів, дорівнює 7;

$T$  – середній термін служби деталей даного типу, дорівнює 5 років.;

$T_{\phi}$  – число годин роботи апаратури на рік, дорівнює 24 год.

$$З_{т.р} = 55650 \text{ грн.}$$

За таким самим розрахунком отримаємо  $З_{т.р}$  для установки з твердопаливним та електричним котлом.

Для твердопаливного котла отримаємо:

$$З_{т.р} = 58860 \text{ грн.}$$

Для електричного котла отримаємо:

$$З_{т.р} = 57750 \text{ грн.}$$

### 3.2.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування та втрат електроенергії за формулою:

$$C_e = W_p * C_e, \text{ грн.,}$$

де  $W_p$  – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт \* год, дорівнює 29568;

$\Pi_e$  – тариф на електроенергію станом на конкретну дату, грн. / кВт \* год, дорівнює 1,68;

$$C_e = 49674,24 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість спожитої електроенергії для електричного котла і отримаємо:

$$C_e = 212889,6 \text{ грн.}$$

Так як  $W_p$  – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт \* год, дорівнює 126720.

Для твердопаливного котла не актуальний розрахунок вартості спожитої електроенергії адже він працює на згорянні твердих пелет. Тому для такого котла потрібно розрахувати вартість пелет на яких вона працює.

Отже:

$$C_e = W_p * \Pi_e, \text{ грн.},$$

де  $W_p$  – кількість витрачених пелет на опалення та гаряче водопостачання КГ за рік, дорівнює 1850 кг.

$\Pi_e$  – тарифна вартість одного кілограму пелет, дорівнює 70 грн / кг.

$$C_e = 129500 \text{ грн.}$$

### **3.2.6. Визначення інших витрат**

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Згідно з практикою, ці витрати визначаються у розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

За нашим проектом визначати цей показник немає потреби, так як ,проект розрахований на приватний будинок ,в якому немає штатних працівників.



### 3.3 Визначення річної економії від впровадження науково-технічного рішення

Для визначення річної економії, потрібно буде підрахувати експлуатаційні витрати з новою енергетичною установкою, та витрати без неї.

Порахувавши всі витрати у минулому розділі, можна знайти експлуатаційні витрати при використанні нової енергоустановки:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_T + C_e + C_{ін} = 121079,24 \text{ грн.}$$

Розрахуємо експлуатаційні витрати для твердопаливного котла і отримаємо:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_T + C_e + C_{ін} = 194180 \text{ грн.}$$

Розрахуємо експлуатаційні витрати для електричного котла і отримаємо:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_T + C_e + C_{ін} = 27129,6 \text{ грн.}$$

Далі були розраховані сумарні витрати на опалення та гарячу воду без нової установки при центральному опаленні та гарячому водопостачанні:

Витрати на опалення складають 115344 гривень на рік, а витрати на гарячу воду – 99777 гривень.

$$E_{кр} = 215121 \text{ грн}$$

Тому річна економія буде різницею річних витрат:

$$E_{нов} = E_{кр} - C = 94041,85 \text{ грн.}$$

Знайдемо річну економію для твердопаливного котла:

$$E_{тв} = E_{кр} - C = 20941 \text{ грн.}$$

Знайдемо річну економію електричного котла:

$$E_e = E_{кр} - C = -56118,5 \text{ грн.}$$

І вже відразу можемо зробити висновок, що опалення та гаряче водопостачання на електричному котлі найбільш економічно недоцільне.

### 3.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності розглянутих в дипломному проекті технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення та аналізу наступних показників:

а) розрахункового коефіцієнта ефективності (прибутковості) капітальних витрат  $E_p$ ;

б) терміну окупності капітальних витрат  $T_p$ .

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат  $E_p$  показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = E/K_{\text{пр}} = 0,283 \text{ долі од.}$$

Термін окупності капітальних витрат  $T_p$  показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження прийнятого технічного рішення:

$$T_p = K_{\text{пр}}/E = 3,5 \text{ роки}$$

Для остаточної оцінки варіантів і вибору найбільш ефективного з них необхідно порівняти розрахункове значення  $E_p$  з нормативним значенням  $E_n$ .

Проект (варіант) капітальних вкладень визнається доцільним за умови

$$E_p > E_n$$

Визначити нормативне значення коефіцієнта ефективності можна також виходячи з прийнятої для підприємства індивідуальної норми прибутковості:

$$E_n = 1/T_{\text{оч}}$$

де  $T_{\text{оч}}$  – очікуваний, прийнятний для підприємства термін окупності капітальних вкладень, дорівнює 6 років.

При цьому варіант визнається економічно доцільним за умови:

$$E_p > 1/T_{\text{оч}}$$

$$0,283 > 0,17$$

Розрахуємо коефіцієнт ефективності капітальних витрат  $E_p$  та термін окупності капітальних витрат  $T_p$  для твердопаливного котла:

$$E_p = E/K_{\text{пр}} = 0,21 \text{ долі од};$$

$$T_p = K_{\text{пр}}/E = 4,7 \text{ роки.}$$

Прийmemo що для технічних проектів  $T_{\text{оч}}$  буде дорівнювати 6 років.

І тоді отримаємо :

$$E_p > 1/T_{\text{оч}}$$

$$0,21 > 0,17$$

Розрахуємо коефіцієнт ефективності капітальних витрат  $E_p$  та термін окупності капітальних витрат  $T_p$  для електричного котла:

$$E_p = E/K_{\text{пр}} = -1,3 \text{ долі од};$$

$$T_p = K_{\text{пр}}/E = -0,78 \text{ роки.}$$

Отже головна умова  $E_p > 1/T_{\text{оч}}$  не виконується і проектування опалення на базі двухконтурного електричного котла найбільш економічно недоцільне.

Таблиця 3.5. Порівняльна оцінка техніко-економічних показників

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Проектний варіант	Твердопаливний котел	Електричний котел
1	2	3	4	5	6
1	Капітальні витрати	грн.	332090	97570	43560
2	Експлуатаційні витрати Всього	грн.	121079	194180	271239,6
	у тому числі:				
	* амортизаційні відрахування	грн.	11595	8870	600
	* заробітна плата обслуговуючого персоналу	грн.	4000	4000	4000
	* єдиний соціальний внесок	грн.	0	0	0
	* технічне обслуговування та поточний ремонт	грн.	55650	58860	57750
	* вартість споживаної електроенергії	грн.	49674,24	129500	212889,6
	* інші витрати	тис.	0	0	0
		грн.			
3	Річна економія всього	грн.	94042	20941	-56118
4	Розрахунковий коефіцієнт ефективності	долі од.	0,283	0,21	-1,3
5	Розрахунковий термін окупності капітальних вкладень	років	3,5	4,7	-0,78

## ВИСНОВОК

В даній магістерській роботі була спроектована теплопостачальна установка на базі теплового насосу та геліоколектору для будинку у місті Дінпро (48° широти) з площею 216 м<sup>2</sup>, на два поверхи, будинок має одні вхідні двері, та 14 вікон. Також в економічному розділі було розраховано термін окупності установки і проведено порівняння з іншими видами установок для теплопостачання и гарячого надходження води в будинок. Порівнювали установку з системою на твердопаливному котлі та на двухконтурному електродкотлі.

В результаті розрахунків дипломної роботи ми отримали:

- Загальні теплові витрати будинку складають 11 кВт;
- Площа одного модуля геліосистеми складає 2 м<sup>2</sup>, для повноцінного функціонування системи потрібно 16 повних модулів, встановлених з раціональним кутом 45° до горизонту в південному напрямку;
- Також ми отримали, що ґрунтовий акумулятор маємо розташувати на глибині 12,5 м, кількість свердловин 8, з'єднаних паралельно, розміщених по вершинам правильного шестикутника та в його остові.;
- Для теплопостачання в системі використовуємо тепловий насос з потужністю 13,2 кВт;
- Оперативний бак в системі складає 3 м<sup>3</sup>;
- Установка автоматизована , має датчики температур, розширювальні бачки, та клапани перемикачі, тому вона не потребує постійного нагляду людьми по управлінню процесами опалення та гарячого водопостачання.
- В економічному розділі отримали, що установка має термін окупності 3,5 років, в той час як система на твердопаливному котлі окупиться за 4,7 років, на електричному котлі за розрахунками ми отримали значення з мінусом, це означає що останній вид системи економічно недоцільний для нашого виду будинку.

В цілому можна зробити висновок, що дана схема для будинку економічно більш доцільніша ніж інші види схем опалення та гарячого водопостачання. Термін окупності не великий, надалі ж ми отримуємо значний плюс. Значною перевагою є економічна незалежність, адже при інших видах систем беручи до уваги постійні кризи, інфляцію та нестабільну ситуацію в країні витрати будуть тільки рости і з ними буде рости вартість одного дня роботи установки.

Наша ж установка отримує всі ресурси з навколишнього середовища і практично не має прив'язаності до штатних енергоресурсів, а завдяки ґрунтовому акумулятору дозволяє накопичувати значну кількість теплової енергії в теплий період року і використовувати її взимку коли тепла з навколишнього середовища отримується менше.

Також зважаючи на екологічний стан навколишнього середовища, наша установка немає шкідливого впливу тим самим ми не забруднюємо і не погіршуємо стан природи навколо нас.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлених та нетрадиційних джерел енергії. – К.: Изд. Института возобновляемой энергетики НАН Украины, 2005. – 44 с.
2. Базаров И.П. Термодинамика.-М.:Высшая школа, 1991.
3. Білогуров С. О., Золотько О. С., Січевий О. В. «Посібник до вивчення дисципліни опалення та кондиціювання», «ДНУ», 2006р., 36с.
4. Варламов Г. Б., Любчик Г. М., Маляренко В. А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: Підручник. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2003. – 232 с.: іл.
5. Герасимв Г.Г. Нагнітачі та теплові двигуни. Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2012.– 552с.
6. Даффи Дж., Бекман У.А. «Тепловые процессы с использованием солнечной энергии», М.:Мир, 1977г., 312 с.
7. Драганов Б.Х. Міщенко А.В. Борхаленко Ю.О. Основи теплотехніки і гідравліки.-К.: «Аграрна освіта», 2011.-495 с
8. Драганов Б.Х. Теплотехніка.- К.: «Фірма ІНКІОС», 2005.-399 с.
9. Дудюк, Д. Л. «Нетрадиционная возобновляемая энергетика» / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа. Львов, 2009. – 188 с.
10. Егизаров А.Г. «Устройство и изготовление вентиляционных систем, 1987г., 304с.
11. Калиниченко, В. А. «Возобновляемые источники энергии» / В. А. Калиниченко, Р. Титко. – Варшава – Краков – Полтава, 2010. – 525 с.
12. Курылев Е. С., Герасимов Н. А. «Примеры, расчеты и лабораторные работы по холодильным установкам», «Машиностроение», 1971г., 256с.
13. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс: Навчальний посібник. – 2-е видання X: «Видавництво САГА», 2008. – 320 с.з іл. ISBN 978-966-2918-54-0

14. Морозюк Л.И., Морозюк Т.В. Применение водоаммиачной смеси в современных холодильных машинах и тепловых насосах // Вестник Международной Академии Холода.- 2000.- №2,- С. 18-21,
15. Полянський О.С. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення : монографія / О. С. Полянський, О. В. Дьяконов, О. С. Скрипник та ін. [за заг. ред. В. І. Д'яконова] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 136 с
16. Рей Д. Макмаки Тепловые насосы . М.: Энергоиздат, 1975.
17. Сивораक्षा В. Е., Золотько К. Е., Марков В. Л. «Гелиосистемы для отопления и горячего водоснабжения», «ДГУ», 1995г.
18. Сонячна енергетика України. Вікіпедія. Електронна енциклопедія. Режим доступу:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0\\_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0\\_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8) (Дата звернення: 22.10.2020)
19. Трофименко А. В. «Методичні вказівки до розрахунку сонячного колектора», «ДНУ», 2006г., 24с.
20. Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения: Пер. с нем. / под ред. Б.Л.Явнеля. -М.: Стройиздат,1985.
21. Чернобровкін А. Плюси і мінуси відновлюваних джерел енергії на навігаційних об'єктах // Вісник Держгідрографії. – №3, 2009, с 4-5.

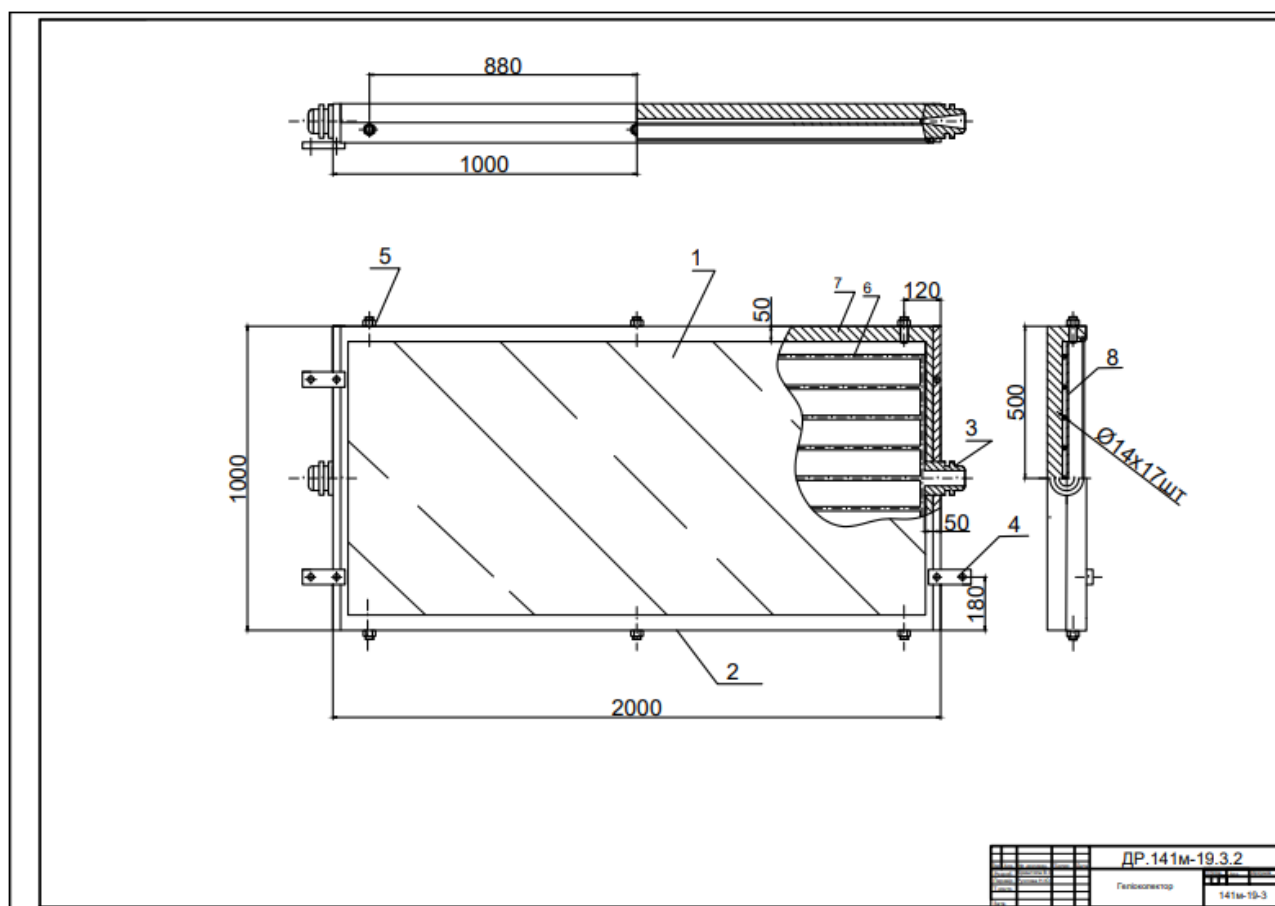


## Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1					
2			Документація		
3					
4	A4		Пояснювальна записка	67	
5					
6			Графічні матеріали		
7					
8	A3		Принципова схема енергоустановки	1	
9	A3		Геліоколектор	1	
10	A3		Схема теплового насосу	1	
11	A3		Схема будинку	1	

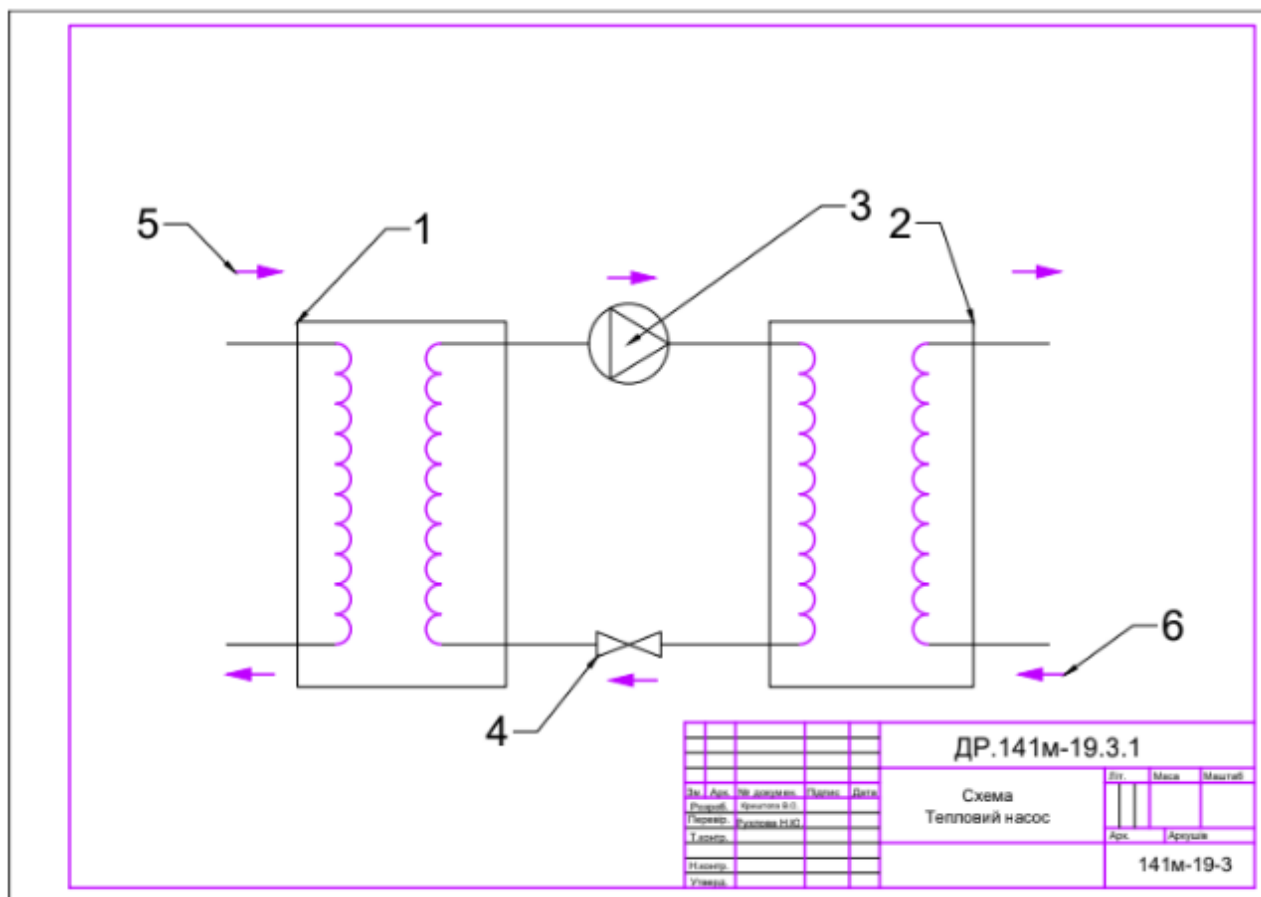
## ДОДАТОК Б

[illegible]



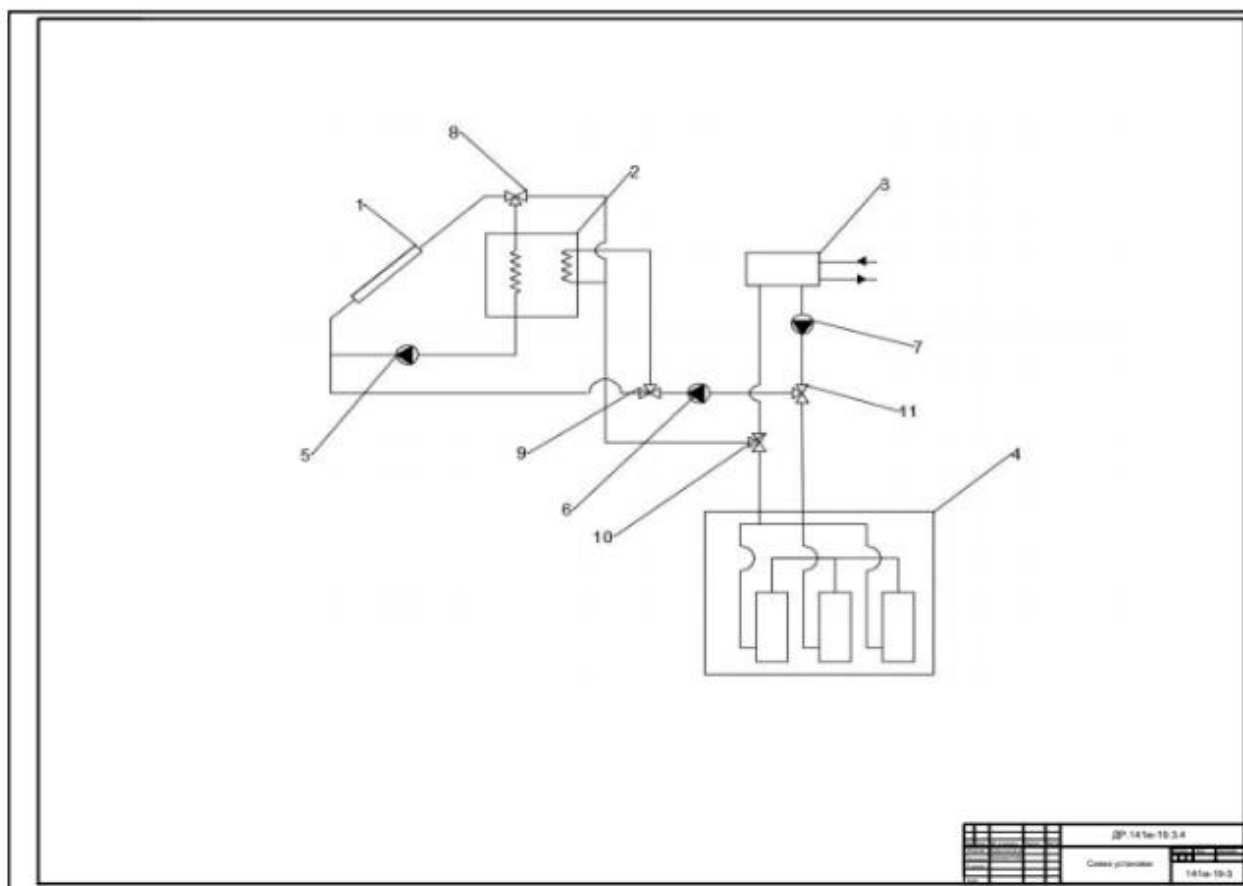
## ДОДАТОК Г

[illegible]



## ДОДАТОК Е

[illegible]



## ДОДАТОК 3

