



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

На тему: Дослідження комбінованої системи енергопостачання житлового комплексу смт. Чорноморське Одеської обл. на основі відновлювальних джерел

Здобувача Дальчука К.О.

IV курсу ЕН-444 групи

Керівник доц. Ярошенко В.М.

Рецензент : Директор ТОВ. « Чип-Маркет»

Пуленко О.Л.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту
Рішення кафедри від 09 червня 2023 р., протокол № 11.

Завідувач кафедри ЕТ та ПЕ
(назва кафедри)

_____ (підпис)

Юрій СЕМЕНЮК
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет нафти, газу та екології

Кафедра екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології

Освітньо-кваліфікаційний рівень - бакалавр

Спеціальність - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма - нетрадиційні та відновлювані джерела енергії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Юрій СЕМЕНЮК

«28» лютого 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Дальчуку Костянтину Володимировичу

1. Тема роботи **Дослідження комбінованої системи енергопостачання житлового комплексу смт. Чорноморське Одеської обл. на основі відновлювальних джерел** затверджена наказом ОНТУ від 31.03.2023 року № 119-03

Керівник роботи к.т.н., доцент Ярошенко В.М.

2. Термін здачі здобувачем (здобувачкою) закінченої роботи 08.06.2023 року

3. Вихідні дані роботи Дослідження та аналіз системи опалення та гарячого водопостачання житлового комплексу із трьох багатоповерхових будівель в смт. Чорноморське на основі теплонасосного циклу з використанням низькопотенційних енергетичних джерел природнього типу.

4. Перелік питань, які потрібно розробити.

1. Провести дослідження та аналіз можливостей використання відроджувальних джерел енергії природнього типу при теплопостачанні житлового комплексу на основі теплового насосу.

2. На основі будівельної документації виконати розрахунки тепловтрат та їх основі визначити енергетичну потужність комплектуючого обладнання системи теплопостачання .

3. Розробити комутаційну схему теплонасосної установки з використанням природніх енергетичних низькопотенційних джерел в виді теплової енергії ґрунту та сонячного випромінювання та розрахувати відповідне обладнання.

4. Провести техніко - економічне порівняння комбінованої теплонасосної установки з альтернативними установками теплопостачання для системи опалення та системи гарячого водопостачання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень). Презентаційна графічна частина із мінімум п'ятнадцяти слайдів, що відображають усі сторони роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основний	Доц. Ярошенко В.М.		
Економічна частина	Доц. Ярошенко В.М.		
Охорона праці	Доц. Ярошенко В.М.		

7. Дата видачі завдання 28.02.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Дослідження альтернативних джерел енергії при теплопостачання житлових комплексів	Лютий 2023	
2.	Дослідження комбінованої системи енергозабезпечення теплонасосної утановки	Лютий-березень2023	
3.	Вибір конструкцій та енергетичний основного обладнання комбінованої теплонасосної утановки.	Березень2023	
4.	Техніко економічний аналіз та розрахунок собівартості енергетичних потоків	Квітень2023	
5.	Безпека життєдіяльності та цивільна оборона	Травень023	

Здобувач

Дальчук К.В.

Керівник роботи _____ Ярошенко В.М.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ. Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник

Дальчук К.В.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему **Дослідження комбінованої системи енергопостачання житлового комплексу смт. Чорноморське Одеської обл. на основі відновлювальних джерел**

Пояснювальна записка включає: 87 стр., 26 рис., 13 табл., 11 літературних джерел, 20 слайдів презентації.

Актуальність теми

Одними із актуальних та ефективних енергозберігаючих технологій в системах теплопостачання громадських та промислових будівель являються теплові насоси, що дає можливість використовувати низькотемпературні джерела енергії, економити органічне паливо, знижувати забруднення навколишнього середовища та може енергетичну незалежність та резистивність України.

Мета роботи: дослідження можливостей застосування високотемпературних теплових насосів з аналізом низькопотенційних джерел теплоти природного та штучного походження для комплексного теплопостачання житлово-комунальних об'єктів та проектне визначення основного технологічного обладнання на основі оптимального двохступеневого термодинамічного циклу з використанням низькопотенційної енергії ґрунту.

Для досягнення вказаної мети поставлено і виконано **завдання:**

провести критичний аналіз традиційних систем теплопостачання, визначити рівень їх впливу на екологію та проаналізувати умови оптимального функціонування теплових насосів в умовах півдня України з визначенням низькотемпературних джерел енергії та їх впливом на енергетичну ефективність;

провести порівняльне дослідження особливостей високотемпературних теплових насосів та їх структурно технологічного обладнання в системах гарячого водопостачання;

провести порівняльний аналіз термодинамічних, теплофізичних та екологічних властивостей робочих тіл теплових насосів з вибором відповідного фреону;

провести аналіз та виконати розрахунок низькотемпературного джерела енергії на основі ґрунтового теплообмінника;

виконати розрахунок одноступеневого термодинамічного циклу теплового насосу з визначенням енергетичного навантаження на складові елементи з розрахунком та вибором компресорного і теплообмінного обладнання ;

провести техніко-економічне порівняння високотемпературної теплонасосної установки з бойлерною системою теплопостачання та розрахувати економічний ефект;

результати роботи можуть бути використані при розробці реального інвестиційного проекту по впровадженню високотемпературної теплонасосної установки для гарячого водопостачання громадських та житлово - побутових об'єктів для кліматичних умов півдня України.

Ключові слова: енергоефективність, теплоприливи, розрахунок тепловий насос; низькотемпературне джерело енергії, термодинамічний цикл, ґрунтовий теплообмінник, сонячне випромінювання, , гаряче водопостачання.

ABSTRACT

Bachelor's qualification work on the topic Research of the combined energy supply system of the residential complex of Chornomorske village, Odesa region, based on renewable sources

Explanatory note includes: 86 pages, 26 figures, 13 tables, 11 references, presentation slides.

Relevance of the topic.

Heat pumps are one of the most relevant and effective energy-saving technologies in the heat supply systems of public and industrial buildings, which makes it possible to use low-temperature energy sources, save fossil fuels, reduce environmental pollution and can increase energy independence and resilience of Ukraine.

The purpose of the study is to investigate the possibilities of using high-temperature heat pumps with the analysis of low-potential heat sources of natural and artificial origin for integrated heat supply of housing and communal facilities and to design the main technological equipment based on the optimal two-stage thermodynamic cycle using low-potential soil energy.

In order to achieve this goal, the following **tasks** were set and accomplished:

to conduct a critical analysis of traditional heat supply systems, determine the level of their impact on the environment and analyze the conditions for optimal operation of heat pumps in the south of Ukraine with the identification of low-temperature energy sources and their impact on energy efficiency;

to conduct a comparative study of the features of high-temperature heat pumps and their structural and technological equipment in hot water supply systems;

to carry out a comparative analysis of thermodynamic, thermophysical and environmental properties of heat pump working bodies with the choice of the appropriate freon;

analyze and calculate a low-temperature energy source based on a ground heat exchanger;

to calculate the single-stage thermodynamic cycle of the heat pump with the determination of the energy load on the components with the calculation and selection of compressor and heat exchange equipment;

to carry out a technical and economic comparison of a high-temperature heat pump unit with a boiler heat supply system and calculate the economic effect;

The results of the work can be used in the development of a real investment project for the implementation of a high-temperature heat pump unit for hot water supply of public and residential facilities for the climatic conditions of southern Ukraine.

Keywords: energy efficiency, heat tides, heat pump calculation, low-temperature energy source, thermodynamic cycle, ground heat exchanger, solar radiation, hot water supply.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. Дослідження альтернативних джерел енергії при теплопостачання житлових комплексів.....	10
1.1 Основні напрямки енергозбереження та енергоефективності систем опалення та гарячого водопостачання.....	17
1.2.Дослідження типових та доступних в даний час систем опалення та гарячого водопостачання з порівнянням їх техніко-економічної ефективності.....	20
1.3. Вплив традиційних джерел енергії на навколишнє середовище та перспективи впровадження нетрадиційних та відроджувальних джерел енергії.....	24
1.4.Обґрунтування техніко-економічної доцільності впровадження комбінованого виробництва теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу.....	27
1.5. Дослідження низькопотенційних джерел енергії для теплових насосів.....	30
1.6. Обґрунтування вибору робочого тіла для теплового насосу.....	32
Розділ 2. Дослідження комбінованої системи енергозабезпечення теплонасосної установки.....	38
2.1. Розрахунок та визначення теплової потужності.....	38
2.2. Вибір конструктивних особливостей та розрахунок енергетичного навантаження у тому числі з використанням існуючих норм споживання та витрат.....	41
2.3. Вибір схеми опалення, гарячого водопостачання та охолодження т на основі теплового насосу з використанням енергії сонця та ґрунту.....	45
2.4 Вибір способу охолодження повітря для кондиціювання.....	48

3. Вибір конструкцій та енергетичний основного обладнання комбінованої теплонасосної установки.....	50
3.1. Розрахунок циклу теплового насосу та визначення енергетичного навантаження на обладнання.....	50
3.2..Розрахунок та вибір компресорного обладнання.....	56
3.3.. Вибір конструкції та розрахунок теплообмінного обладнання (випарник , конденсатор, ґрунтовий теплообмінник).....	58
3.4 Вибір та розрахунок активного та пасивного сонячних колекторів.....	69
4. Техніко ексергетичний аналіз та розрахунок собівартості енергетичних потоків.....	77
5. Безпека життєдіяльності та цивільна оборона.....	81
Список використаної літератури.....	87

ВСТУП

Актуальність роботи:

У сучасних умовах, коли Україна зазнає загрози від агресивних дій Росії, забезпечення енергетичної безпеки стає однією з найважливіших проблем. Відновлення енергопостачання у разі надзвичайних ситуацій та забезпечення сталої роботи житлових комплексів стає критично важливим завданням. Розробка комбінованих систем енергопостачання на основі відроджувальних джерел може значно підвищити енергетичну незалежність та резистентність (стійкість) України у випадку енергетичних загроз.

Об'єкт дослідження:

Об'єктом дослідження є житловий комплекс смт. "Чорноморське" в Одеській області. Цей житловий комплекс обирається як об'єкт дослідження з метою вивчення можливостей та переваг використання комбінованої системи енергопостачання на основі відроджувальних джерел в контексті забезпечення автономної роботи у цей не простий час.

Основна мета роботи:

Основною метою даної роботи є дослідження та аналіз ефективності комбінованої системи енергопостачання житлового комплексу смт. "Чорноморське" на основі відроджувальних джерел енергії. Метою є визначення можливостей використання відроджувальних джерел енергії, таких як сонячна енергія та геотермальна енергія з метою забезпечення надійного та сталого енергопостачання житлового комплексу, зменшення залежності від традиційних джерел енергії та забезпечення безпеки мешканців (у зимовий період).

Для досягнення основної мети роботи поставлені наступні завдання:

- Вивчити наявну енергетичну інфраструктуру житлового комплексу смт. "Чабанка" та визначити проблемні аспекти, пов'язані зі стандартними джерелами енергії.

- Дослідити потенціал використання відроджувальних джерел енергії в житловому комплексі, зокрема сонячної енергії, вітрової енергії, геотермальної енергії та інших.
- Розробити комбіновану систему енергопостачання на основі відроджувальних джерел, яка враховуватиме потреби житлового комплексу та забезпечуватиме стале та надійне енергопостачання.
- Оцінити ефективність та екологічну прийнятність розробленої системи, порівняти її зі стандартними системами енергопостачання.
- Розробити рекомендації щодо впровадження комбінованої системи енергопостачання на основі відроджувальних джерел у житловому комплексі.

В результаті проведених досліджень очікується отримати наступні практичні результати:

- Визначення енергетичних потреб житлового комплексу та потенціалу використання відроджувальних джерел енергії.
- Розробка оптимальної комбінованої системи енергопостачання на основі відроджувальних джерел.
- Оцінка ефективності та екологічної прийнятності розробленої системи, порівняно зі стандартними системами.
- Розробка рекомендацій щодо впровадження комбінованої системи енергопостачання у житловому комплексі смт. "Чабанка".

Ця робота спрямована на пошук інноваційних рішень у сфері енергопостачання, які допоможуть забезпечити сталий розвиток та сталу енергетичну безпеку. Результати дослідження можуть бути використані при плануванні подібних проектів, сприяючи збереженню енергії, зменшенню залежності від традиційних джерел енергії та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

1. Дослідження альтернативних джерел енергії

Альтернативні джерела енергії, які можуть бути використані для енергозабезпечення житлових комплексів, включають в себе геотермальну енергію, сонячну енергію, вітрову енергію, біомасу та гідравлічну енергію. Наукові дослідження показують, що використання цих джерел енергії може зменшити залежність від традиційних джерел енергії, таких як нафта, вугілля та природний газ.



Рисунок 1.1 Фото геотермальної станції Svartsengi Geo (Ісландія)

Геотермальна енергія - це енергія, яка отримується з нагрітого внутрішнього ядра Землі. Це може бути використано для опалення та охолодження житлових комплексів, а також для отримання гарячої води. Відомо, що геотермальна енергія використовується в країнах з активними вулканічними діями, таких як Ісландія, де це становить значну частину енергетичного міксу.

Для опалювання і гарячого водопостачання житлових і виробничих будівель необхідна температура води не нижче 50-60°C. Найбільш раціональне використання термальних вод може бути досягнуте при послідовній їх експлуатації: спочатку в опалюванні, а потім в гарячому

водопостачанні. В даний час розроблені різні схеми використання термальних вод для опалювання і гарячого водопостачання житлових і промислових будівель.

Теплопостачання високотемпературною сильно мінералізованою термальною водою. Термальна вода має температуру вище 80°C , але сильно мінералізована. У цих умовах виникає необхідність в пристрої проміжних теплообмінників. Тут термальна вода зі свердловин розділяється на дві паралельні гілки: одна прямує в теплообмінник опалювання і потім в теплообмінник 1-го рівня підігрівання води для гарячого водопостачання; друга — в теплообмінник 2-го рівня. Аби уникнути заростання трубопроводу, термальну воду використовують з проміжним теплообмінником. Високомінералізовану воду зі свердловини подають в резервуар із зміювиками, по яких поступає прісна річкова вода. Нагріта прісна вода йде до споживача, а випадні з термальних вод солі осідають в резервуарі і на зовнішніх поверхнях зміювика. Недоліком схеми з теплообмінником є скорочення потенціалу термальної води, що спрацьовує (на кінцеву різницю температур в теплообміннику).

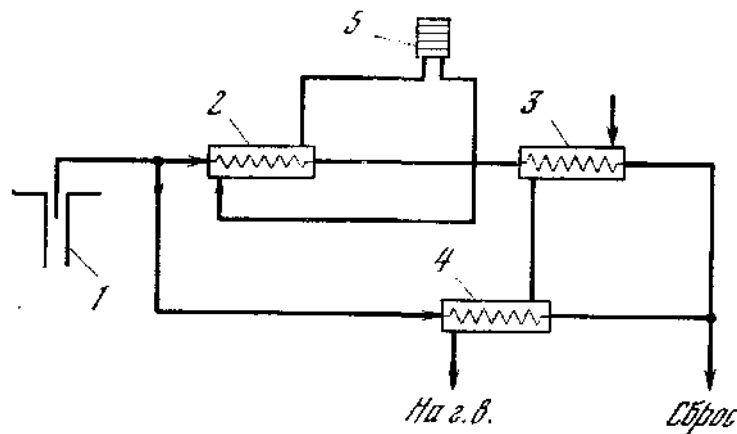


Рисунок 1.2 – Принципова схема геотермального теплопостачання з теплообмінниками: 1 – свердловина; 2 – теплообмінник системи опалювання; 3 – теплообмінник гарячого водопостачання 1-го рівня; 4 – теплообмінник гарячого водопостачання 2-го рівня; 5 – система опалювання.

Сонячна енергія - це енергія, яка отримується з сонячних променів. Сонячні панелі можуть бути встановлені на дахах будівель та генерувати

електроенергію, яка може бути використана для теплопостачання житлових комплексів. Для зберігання сонячної енергії можуть бути використані батареї.

Потенційні можливості енергетики, заснованої на використанні сонячного випромінювання, надзвичайно великі: використання всього лише 0,0125 % всієї кількості енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоденні потреби світової енергетики, а використання 0,5 % – повністю покрити потреби на перспективу. Однак існують і перешкоди – низька інтенсивність падаючих променів та їх нерівномірність, а також значна вартість перетворюючих пристроїв.

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для впровадження геліосистем як теплоенергетичного, так і фотоелектроенергетичного обладнання практично на всій території (рис. 1.3)

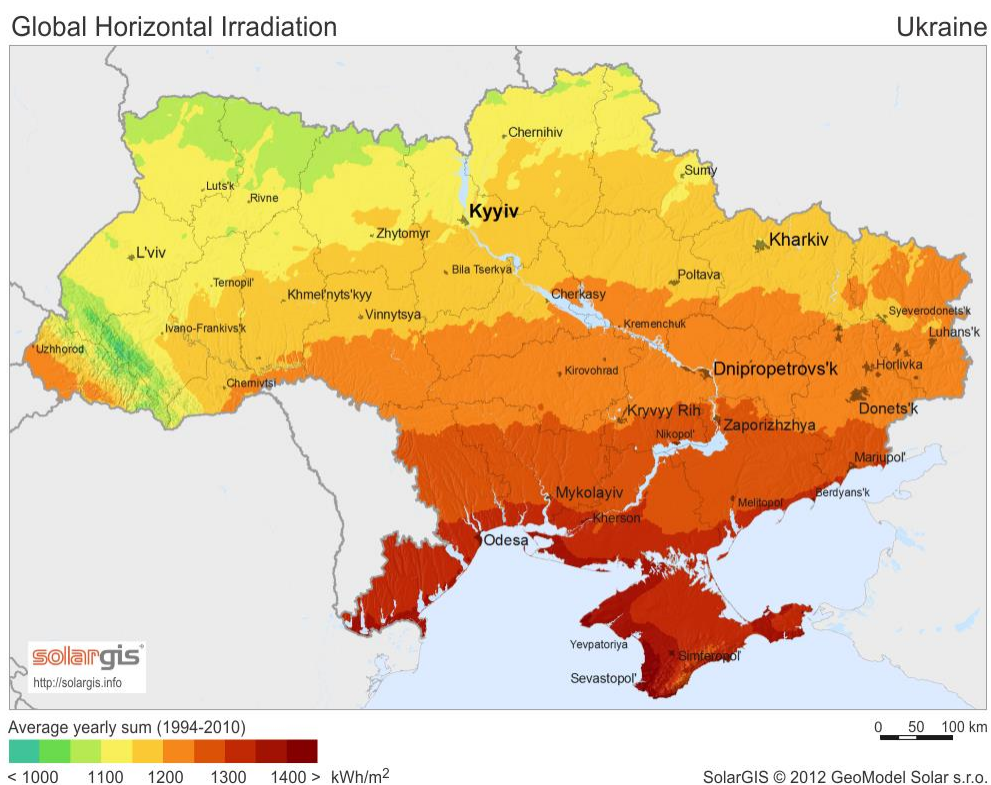


Рисунок 1.3 – Потенціал сонячної енергії України

Вітрова енергія - це енергія, яка отримується від вітру. Вітряні турбіни можуть бути встановлені на дахах будівель або на околицях міст, і генерувати електроенергію для теплопостачання житлових комплексів.

Вітрова енергія може бути використана для виробництва електроенергії, але для теплопостачання житлових комплексів її використання не є таким ефективним. Це пов'язано з тим, що вітрогенератори генерують електроенергію, яку потім необхідно перетворювати в теплову енергію, що веде до додаткових витрат на обладнання та енергію. Крім того, вітрова енергія має нестабільний характер, тому для забезпечення постійного теплопостачання потрібно зберігати великі обсяги енергії в акумуляторних батареях або інших засобах зберігання енергії, що також може збільшувати вартість проекту. У той же час, вітрова енергія може бути використана для забезпечення енергією інших процесів, наприклад, для роботи насосів, що забезпечують циркуляцію теплоносія в системі опалення.

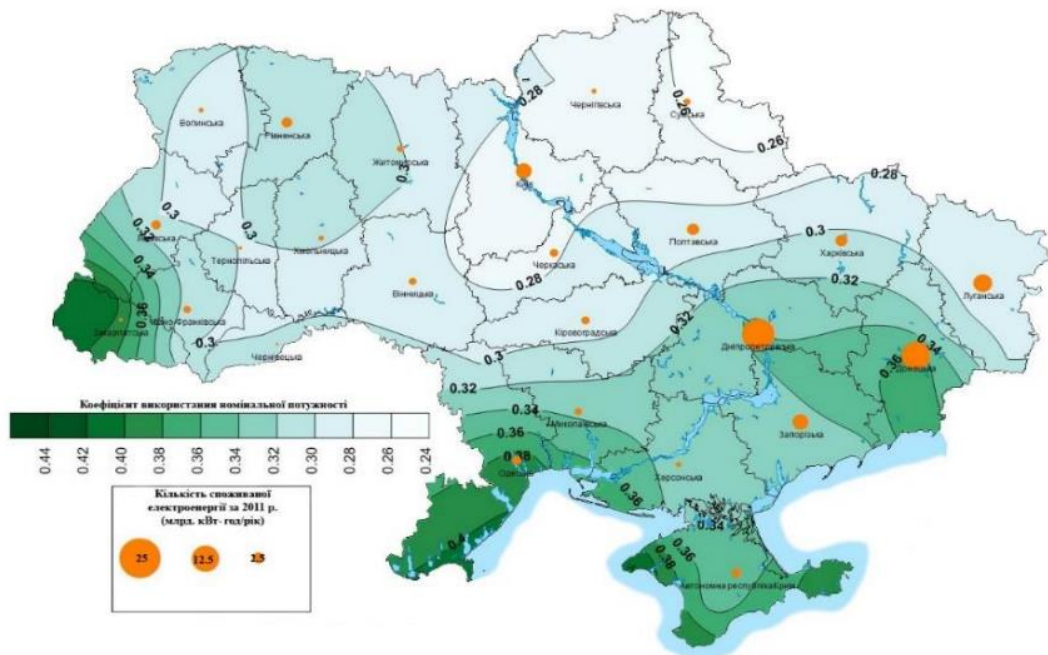


Рис. 1.4. Картографування вітрового енергетичного потенціалу території України

Біомаса - це органічні матеріали, такі як деревина, стебла рослин, живітні відходи та інші органічні відходи, які можуть бути використані для виробництва енергії. Біомаса може бути використана для опалення та виробництва електроенергії.

Джерелом біомаси та її похідних продуктів для енергетичного використання можуть бути відходи та побічні продукти (ПП) сільського господарства (рослинництва, тваринництва), харчової та переробної промисловості, відходи домашнього і комунального господарства; деревина лісів та лісонасаджень, відходи їх переробки; продукти водних середовищ; енергетичні культури (верба, тополя, міскантус, просо, сорго та ін.)

Виділяють три групи сільськогосподарської біомаси (Рис. 1.1):

- первинну, яка є побічними продуктами (ПП) рослинництва (солома, стебла кукурудзи та соняшника, тощо);
- вторинну, отриману при переробці основної сільськогосподарської продукції (жом, макуха, лушпиння, шкаралупа, костриця і т.п.);
- гній.

Первинна сільськогосподарська біомаса



солома



стебла кукурудзи



стебла соняшника

Вторинна сільськогосподарська біомаса



лушпиння соняшника



лушпиння рису



макуха ріпаку

Рис. 1.5. Деякі види первинної та вторинної сільськогосподарської біомаси.

Наразі основним джерелом виробництва біопалива і енергії з біомаси у світі є деревна біомаса – на частку дров, тріски, гранул та деревного вугілля припадає більше 85% загального обсягу споживання біомаси для енергетичних потреб. Перспективним напрямком розвитку біоенергетики і збільшення обсягів енергетичного використання біомаси вважається залучення сільськогосподарських залишків до паливно-енергетичного

балансу країн. Сьогодні з біомаси аграрного походження виробляється лише 3% загального обсягу біоенергії, але за оцінками фахівців, потенціал біомаси цього виду складає від 356 до 1646 млн т н.е./рік, що може забезпечити 3-14% загального постачання первинної енергії у світі.

У світі вже були реалізовані проекти з використанням альтернативних джерел енергії для теплопостачання житлових комплексів. Наприклад, в Швейцарії була збудована сонячна теплова станція, яка забезпечує опалення та гарячу воду для 250 житлових будинків. В Швеції була побудована геотермальна система для опалення 700 житлових будинків. У Данії була запущена в роботу вітрова турбіна, яка забезпечує електроенергією житловий комплекс.

Україна також має потенціал для використання альтернативних джерел енергії для теплопостачання житлових комплексів. Наприклад, можна використовувати сонячні колектори для забезпечення гарячої води та опалення, а також вітрогенератори для виробництва електроенергії.

Однак, використання альтернативних джерел енергії для теплопостачання житлових комплексів не є безпроблемним. Необхідно враховувати вартість устаткування та його ефективність, а також вплив на довкілля. Крім того, необхідно мати досвід у впровадженні таких проектів та підготувати кадри для роботи з новими технологіями.

Отже, використання альтернативних джерел енергії для теплопостачання житлових комплексів є перспективним напрямком розвитку енергетики. Дослідження та впровадження нових технологій можуть зменшити залежність від традиційних джерел енергії та зменшити негативний вплив на довкілля.

Надзвичайно важливо продовжувати дослідження та впровадження альтернативних джерел енергії для теплопостачання житлових комплексів, особливо в країнах, де забезпеченість традиційними джерелами енергії є проблемою. Це може сприяти зменшенню витрат на енергоспоживання, зменшенню шкідливих викидів та поліпшенню якості повітря в міських

регіонах. Крім того, використання альтернативних джерел енергії може стати стимулом для розвитку нових технологій та інновацій.

Проте, необхідно також звернути увагу на деякі проблеми, пов'язані з використанням альтернативних джерел енергії. Наприклад, вітрові електростанції можуть мати негативний вплив на лісові масиви та птахів, а гідроелектростанції можуть впливати на природний баланс річок та різноманіття екосистем. Також необхідно забезпечити ефективну інфраструктуру для зберігання та транспортування енергії, що може бути проблемою у віддалених та забезпечених низьким рівнем розвитку регіонах.

У підсумку, використання альтернативних джерел енергії для теплопостачання житлових комплексів є важливою та перспективною галуззю розвитку енергетики. Проте, необхідно забезпечити баланс між забезпеченням енергетичних потреб та захистом довкілля, а також забезпечити ефективну інфраструктуру для зберігання та транспортування енергії.

Однією з основних перешкод у використанні альтернативних джерел енергії є їх нестабільність та залежність від погодних умов. Наприклад, сонячні панелі не можуть генерувати енергію вночі або в хмарну погоду, а вітрові турбіни не працюватимуть, якщо вітер занадто слабкий або занадто сильний.

Для забезпечення стабільного та ефективного використання альтернативних джерел енергії, необхідно розробляти та впроваджувати системи зберігання енергії. Наприклад, акумулятори можуть зберігати енергію, яку виробляють сонячні панелі вдень, для використання вночі. Також можуть використовуватися системи накопичення енергії, такі як насосні гідроакумуляуючі станції, які зберігають енергію у воді, що накопичена в верхніх водосховищах.

Крім того, важливо забезпечити ефективну інфраструктуру для транспортування та розподілу енергії. Наприклад, установка сонячних панелей на дахах житлових будинків може зменшити потребу в

транспортуванні енергії на великі відстані. Також можуть використовуватися розподільчі мережі, які дозволяють обмінюватися енергією між різними джерелами, такими як сонячні панелі та вітрові турбіни.

Отже, забезпечення балансу між забезпеченням енергетичних потреб та захистом довкілля, забезпечення ефективної інфраструктури та розробка систем зберігання енергії є важливими

1.1. Основні напрямки енергозбереження та енергоефективності систем опалення та гарячого водопостачання

Енергозбереження та енергоефективність стали актуальними проблемами у сфері опалення та гарячого водопостачання. Основні напрямки енергозбереження та енергоефективності систем опалення та гарячого водопостачання охоплюють широкий спектр заходів з метою скорочення енерговитрат та зниження викидів в атмосферу, що призводять до забруднення довкілля.

У зв'язку з цим, важливим напрямком є використання теплових насосів, які забезпечують відновлювану енергію для опалення та гарячого водопостачання. Теплові насоси є ефективними та екологічно чистими пристроями, які використовують низькопотенційну енергію, яка має місце в природному середовищі, таке як повітря, ґрунт або вода. Вони можуть використовуватися як для опалення, так і для гарячого водопостачання.

Іншим важливим напрямком є використання сонячної енергії для опалення та гарячого водопостачання. Сонячні колектори можуть використовуватися для збору тепла з сонячної енергії та його передачі до систем опалення та гарячого водопостачання. Це є найбільш ефективним та екологічно чистим методом використання відновлюваної енергії.

Одним з ключових напрямків енергозбереження є використання систем з відновлюваною енергією, які дозволяють знизити витрати енергії на опалення та гаряче водопостачання. Системи опалення на базі відновлюваних джерел енергії, такі як біомаса, геотермальна енергія та вітрова енергія, стають все більш поширеними. За допомогою теплових

насосів можна використовувати тепло з повітря, ґрунту, води або сонячної енергії для опалення житлових будівель.

Для забезпечення енергоефективності систем опалення та гарячого водопостачання також важливо правильно добирати обладнання та матеріали, використовувані в будівництві. Наприклад, встановлення сучасних вікон і дверей зі склопакетами, забезпечує зменшення втрат тепла, що дозволяє знизити витрати на опалення. Також важливо мати грамотну ізоляцію приміщень, що дозволяє зберігати тепло в приміщенні та знижувати витрати на опалення.

Окрім цього, можна використовувати сучасні технології для ефективного керування системами опалення та гарячого водопостачання. Наприклад, системи "розумний дім" дозволяють керувати температурою та витратами енергії в будинку з допомогою смартфона або планшета, що дозволяє ефективно регулювати витрати енергії та забезпечувати комфортне життя в будинку.

У статті "Теплові насоси і теорії розрахунку" Арсенєва А. В. розглянуто принцип роботи теплових насосів та їх ефективність. Автор досліджує різні типи теплових насосів, включаючи абсорбційні, компресійні та геотермальні. Детально описується технічний процес роботи теплових насосів та їх енергоефективність.

Теплові насоси працюють за принципом перетворення енергії одного середовища в енергію іншого середовища. Наприклад, тепловий насос може забрати тепло з повітря, ґрунту чи води і перенести його до приміщення для опалення, або для підігріву води.

Тепловий насос не є пристроєм, що автономно працює, а є основним компонентом більш загальної системи під назвою «теплонасосна установка», в яку, крім теплового насоса, входять: устаткування, прилади і комунікації, що забезпечують експлуатаційні зв'язки теплового насоса з низькопотенціальними джерелами теплоти та об'єктами споживання навантаження.

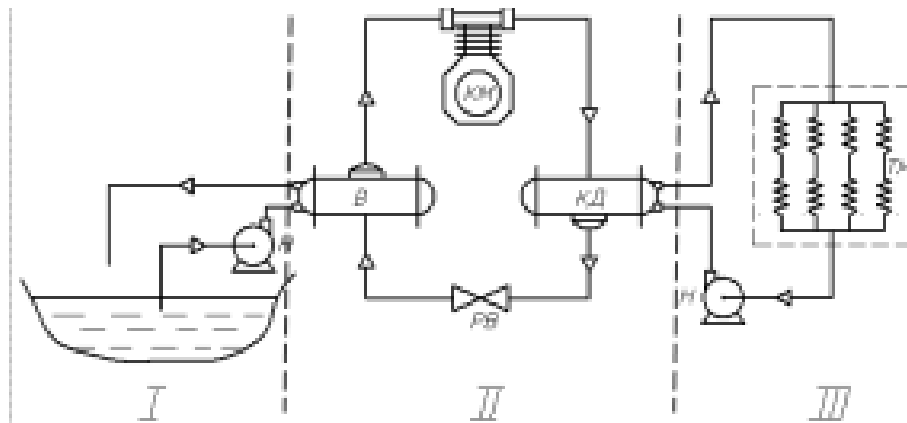


Рисунок 1.6 – Схема теплонасосної установки: I – система підведення теплоти на термотрансформацію (первинний контур);

II – система термотрансформації (тепловий насос); III – система споживача теплового навантаження (гріючий контур);

Н – насос; В – випарник; КМ – компресор; КД – конденсатор; РВ – регулювальний вентиль; ТМ – тепла мережа.

Відповідно до Рисунок 1.6, тепла насосна установка складається з трьох зв'язаних між собою систем на основі парокомпресійного типу теплового насоса. Система I забезпечує подачу відпрацьованого середовища до випарника теплового насоса, який в даному випадку є водою з природного водосховища. Випарник за допомогою теплообміну між водою та робочою речовиною (холодоагентом) охолоджує воду, яка відводиться до водосховища насиченою.

У системі II відібраний тепловий потік від води у випарнику використовується для кипіння рідкої фази холодоагенту. Пара, яка виходить з випарника, потім переходить до компресора, де підвищуються її термічні параметри до необхідного рівня для термотрансформації. Далі пара потрапляє до конденсатора теплового насоса, де відбувається її конденсація, передавання тепла споживачеві через опалювальну мережу системи III.

Принципово тепла насосна установка може працювати в якості холодильної машини і, отже, мати більш широкі функціональні можливості, наприклад, для цілорічного кондиціонування повітря.

Для забезпечення ефективності теплових насосів, важливо обрати правильне робоче тіло. У статті Ткаченко О. В. досліджується вибір робочого тіла для теплового насосу. Залежно від умов та вимог, можна використовувати різні робочі речовини, такі як аміак, вода, R-134а, R-290 тощо. Важливо враховувати технічні та економічні характеристики кожної речовини та її відповідність вимогам стандартів.

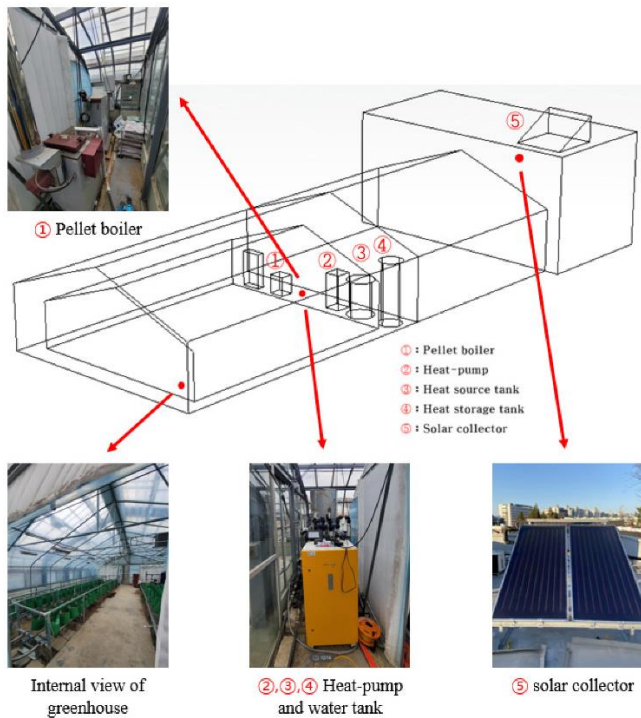
Окрім вибору робочого тіла, енергоефективність теплових насосів залежить від правильної установки та експлуатації. Наприклад, важливо забезпечити належне утеплення будівлі та системи опалення, щоб зменшити витрати енергії на опалення. Також важливо регулярно проводити технічне обслуговування систем опалення та гарячого водопостачання, оскільки це забезпечує оптимальну роботу систем та запобігає непередбачуваним витратам енергії. Наприклад, регулярна очистка котлів від нальоту забезпечує оптимальну роботу та знижує витрати енергії. Також важливо використовувати сучасні енергоефективні матеріали, такі як утеплювачі, які дозволяють знизити втрати тепла в системі опалення.

1.2. Дослідження типових та доступних в даний час систем опалення та гарячого водопостачання з порівнянням їх техніко-економічної ефективності

Згідно зі статтею "Comparative analysis of conventional and innovative heating systems in terms of energy efficiency and cost-effectiveness", серед типових систем опалення та гарячого водопостачання можуть бути використані традиційні системи зі споживанням газу, дизельного палива, а також біомаси.



(a)



(b)

Рисунок 1.7 Огляд теплиці. (а) Фото експериментальної теплиці та (б) Огляд установки опалювального пристрою.

Однак, автори статті вказують, що велику увагу слід приділяти інноваційним системам опалення та гарячого водопостачання, таким як системи сонячного опалення та системи, що використовують геотермальну енергію. Системи сонячного опалення відносяться до відроджувальних джерел енергії, які є найбільш ефективними у забезпеченні енергозбереження та енергоефективності. Одним із прикладів таких систем є система сонячного

опалення на основі плоских колекторів, яка забезпечує постачання тепла для опалення та гарячого водопостачання.

Дослідження геотермальної енергії є ще одним напрямком, який варто розглядати при дослідженні альтернативних джерел енергії для тепlopостачання житлових комплексів. За допомогою геотермальної енергії можна ефективно забезпечити опалення та гаряче водопостачання у будівлях. Дослідженням геотермальної енергії було присвячено багато наукових статей, серед яких можна відзначити статтю "The feasibility of geothermal heating and cooling systems for residential buildings in cold climate" авторів Го Чена та Хонгбо Лю.

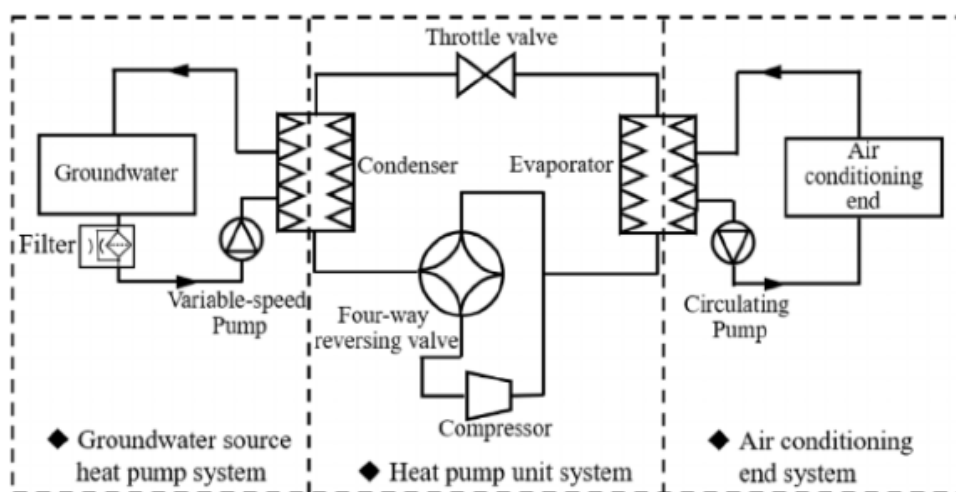


Рисунок 1.8 Принцип роботи системи ґрунтової водяної теплової помпи

Також варто звернути увагу на техніко-економічну ефективність різних систем опалення та гарячого водопостачання. У статті "Techno-economic analysis of ground source heat pump system for heating and cooling of a residential building" авторів Рафаеля Рошера та Лінганга Чена проведено дослідження техніко-економічної ефективності систем опалення та гарячого водопостачання на основі теплових насосів. Автори зробили висновок про доцільність використання систем опалення на основі теплових насосів у житлових комплексах.

Крім того, варто розглянути можливість використання низькопотенційних джерел енергії для теплових насосів. У статті "Low

temperature district heating with heat pumps – A review" авторів Мартіна Пуля та Йоханнеса Шаллермаєра розглядається використання теплових насосів для забезпечення низькотемпературного опалення в міських районах. Автори стверджують, що використання теплових насосів в поєднанні з низькотемпературними системами опалення може значно зменшити споживання енергії та викиди в атмосферу.

Також варто розглянути обґрунтування вибору робочого тіла для теплового насосу. У статті "Evaluation of refrigerants for heat pumps" авторів Роберта Гузика та Карла-Фрідріха Тімена розглядається вибір робочого тіла для теплових насосів з точки зору екології та ефективності. Автори стверджують, що не всі робочі речовини є придатними для використання в теплових насосах, оскільки деякі з них мають негативний вплив на навколишнє середовище. Також важливим фактором є ефективність робочого тіла, оскільки від неї залежить ефективність теплового насосу в цілому.

Отже, дослідження альтернативних джерел енергії та систем опалення та гарячого водопостачання є важливою темою в сучасному світі. Для досягнення максимальної енергоефективності та зменшення викидів в атмосферу необхідно вивчати нові технології та використовувати інноваційні рішення, такі як системи сонячного опалення та геотермальні системи. Також важливим є використання низькопотенційних джерел енергії для теплових насосів та обґрунтування вибору робочого тіла для теплового насосу.

Дослідження низькопотенційних джерел енергії для теплових насосів є важливою темою, яка розглядається у статті "Investigation on the potential of low-grade geothermal energy sources for heating using ground source heat pump systems" авторів Цзин Мао та ін. У цій статті досліджується потенціал використання низькопотенційних джерел енергії для опалення житлових будівель, зокрема з використанням теплових насосів на основі ґрунтового джерела тепла. Результати дослідження показують, що використання теплового насосу на основі низькопотенційної геотермальної енергії є економічно вигідним та дозволяє знизити витрати на опалення.

Крім того, у статті "Selection of working fluids for heat pumps: A review" авторів Шаоцзі Лю та ін. розглядається важлива тема вибору робочого тіла для теплового насосу. Автори наголошують на тому, що вибір робочого тіла є одним з найважливіших факторів, які впливають на ефективність та енергоефективність теплового насосу. У статті наведено огляд різних типів робочих рідин та газів, які можуть бути використані для теплового насосу, та порівняння їх технічних та економічних характеристик.

Отже, використання низькопотенційних джерел енергії для теплових насосів та вибір робочого тіла для теплового насосу є важливими факторами для підвищення ефективності та енергоефективності систем опалення та гарячого водопостачання.

1.3. Вплив традиційних джерел енергії на навколишнє середовище та перспективи впровадження нетрадиційних та відроджувальних джерел енергії

У світі сьогодні дедалі більше уваги приділяється пошуку альтернативних джерел енергії, оскільки традиційні джерела, такі як нафта, вугілля та газ, є обмеженими та мають значний негативний вплив на навколишнє середовище. Використання традиційних джерел енергії призводить до викидів шкідливих речовин, що спричиняють забруднення повітря, ґрунту та води, що в свою чергу має негативний вплив на здоров'я людей та екосистеми в цілому.

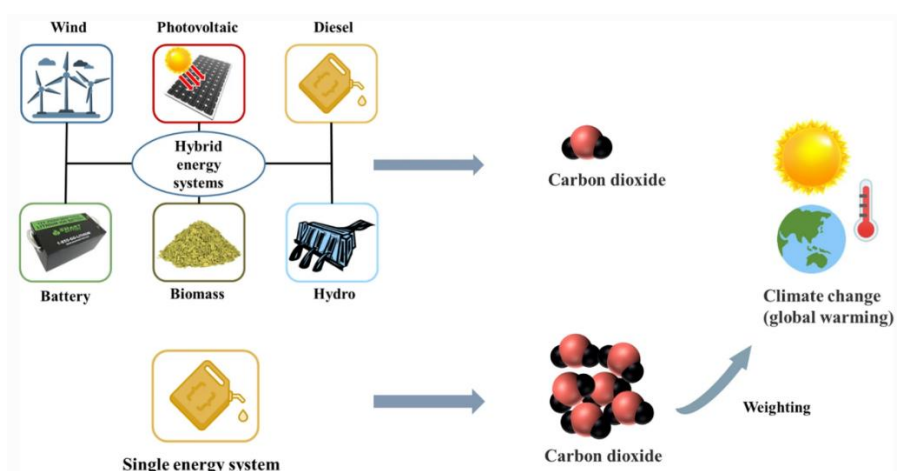


Рисунок 1.9 Порівняння впливу гібридних і традиційних енергетичних систем на зміну клімату.

Вплив енергетичної системи на зміну клімату полягає в основному у викидах вуглекислого газу. Гібридна енергетична система має менший потенціал впливу на клімат, оскільки додавання відновлюваних джерел енергії зменшує викиди вуглекислого газу, а тенденцію глобального потепління можна послабити. Навпаки, єдині енергетичні системи мають більший потенціал для забруднення навколишнього середовища та сприяння зміні клімату. Таким чином, гібридні енергетичні системи менш впливають на клімат і є більш кліматично стабільними, ніж однокомпонентні енергетичні системи

У зв'язку з цим, розвиток нетрадиційних та відроджувальних джерел енергії, таких як вітроенергетика, сонячна енергія, геотермальна енергія та інші, є дуже важливим кроком у забезпеченні сталого енергетичного розвитку та зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище. Однак, важливо розуміти, що перехід до використання нетрадиційних джерел енергії повинен бути ретельно прорахований з технічної та економічної точок зору, а також враховувати місцеві особливості та можливості.

Дослідницька робота зосереджена на розробці комбінованих систем енергопостачання житлових комплексів з використанням відроджувальних джерел енергії. Вона має на меті забезпечення найбільш ефективного та економічно доцільного використання відновлювальної енергії, зменшення викидів шкідливих речовин та поліпшення якості навколишнього середовища. Результати моїх досліджень можуть допомогти у зменшенні залежності від традиційних джерел енергії, зокрема від нафти та газу, а також зменшення вартості енергопостачання для мешканців житлових комплексів.

Однією з головних проблем традиційних джерел енергії є їх вплив на навколишнє середовище. Наприклад, при спалюванні вугілля в атмосферу виділяються шкідливі речовини, такі як вуглекислий газ та оксиди азоту, які призводять до забруднення повітря та зміни клімату. Використання відроджувальних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія,

дозволяє зменшити цей вплив та покращити якість навколишнього середовища.

Звичайні джерела енергії, такі як нафта, вугілля та газ, відомі своїми негативними впливами на навколишнє середовище, зокрема забрудненням повітря, води та ґрунту. Крім того, ці джерела енергії не є відновлювальними та необхідні для їх видобутку значні зусилля та ресурси. На сьогоднішній день все більше людей та компаній шукають альтернативні джерела енергії, такі як сонячна, вітрова, гідроенергетика, біопалива та геотермальна енергія.

Усі ці фактори роблять перспективи використання відроджувальних джерел енергії дуже привабливими. Якщо розвиток технологій та інфраструктури буде продовжуватися в цьому напрямку, можна очікувати, що відроджувальні джерела енергії з часом замінять традиційні джерела енергії та стануть основним джерелом енергії у більшості регіонів світу.

Відроджувальні джерела енергії можуть забезпечувати чисту енергію, що не тільки допомагає зменшити негативний вплив на довкілля, але й може зменшити залежність від нестабільних зовнішніх джерел енергії. Крім того, відроджувальні джерела енергії можуть бути доступними для використання у віддалених регіонах, де немає доступу до традиційних джерел енергії.

Зараз вивчають перспективи впровадження нетрадиційних джерел енергії, таких як геотермальна та гідроенергетика. Ці джерела енергії мають великий потенціал та можуть бути ефективно використані для забезпечення енергетичної потреби житлових комплексів. Однак, їх використання потребує значних вкладень та технічного обладнання, тому необхідно провести детальний аналіз їх економічної доцільності та можливостей впровадження.

Комбіновані системи енергопостачання з використанням відроджувальних джерел енергії можуть бути ефективним та економічно доцільним рішенням для житлових комплексів, зокрема у віддалених регіонах, де забезпечення енергії може бути складним завданням через обмеженість традиційних джерел енергії та високі витрати на їх

транспортування. З досліджень випливає, що геотермальна енергія та сонячна енергія є найбільш доцільними варіантами для використання в комбінованих системах енергопостачання житлових комплексів. Більше того, результати показують, що використання таких систем може призвести до значного зменшення викидів шкідливих речовин та поліпшення якості навколишнього середовища. Результати тихих досліджень можуть стати корисними для органів місцевого самоврядування та розробників житлових комплексів, які мають намір зменшити вплив традиційних джерел енергії на навколишнє середовище та перейти на використання відновлювальних джерел енергії.

1.4. Обґрунтування техніко-економічної доцільності впровадження комбінованого виробництва теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу

Одним з способів ефективного використання енергії є комбіноване виробництво теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу. Така система дозволяє використовувати одне джерело енергії для виробництва тепла та холоду, що дозволяє значно зменшити витрати на енергоносії та покращити енергоефективність.

У статті "Combined Heat and Power Systems Based on Thermal Compression Heat Pumps: A Review" авторів Джіанфранко Анджеллоні та Луїджі Счеверрі описано переваги комбінованого виробництва теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу. Зокрема, автори зазначають, що такі системи можуть бути використані як для промислових, так і для житлових будівель.

Низькопотенційні джерела енергії є іншим важливим напрямком розвитку енергетики. У статті "A review on low-grade heat conversion technologies for power generation" авторів Біньяміна Мартіна та його колег висвітлено різноманітні технології перетворення низькопотенційного тепла на електричну енергію, зокрема за допомогою теплових насосів. Автори

зазначають, що такі технології можуть бути використані у різних галузях, включаючи промисловість та житлово-комунальний сектор.

Важливим етапом впровадження технологій теплових насосів є вибір робочого тіла для теплового насосу. У статті "A review of working fluids for low-temperature organic Rankine cycles" авторів Массімо Соррентіно та його колег описано різноманітні робочі рідини, які можуть бути використані для створення теплового насосу. Автори зазначають, що вибір робочого тіла повинен здійснюватися з урахуванням технічних та економічних факторів, таких як температура роботи та вартість робочої рідини.

Необхідно також звернути увагу на використання низькопотенційних джерел енергії для теплових насосів та обґрунтування вибору робочого тіла для теплового насосу. Важливо розглянути можливість використання таких джерел, як геотермальна та сонячна енергія, які є нетрадиційними та відроджувальними джерелами енергії.

Комбіноване виробництво теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу є однією з найбільш перспективних технологій, яка дозволяє забезпечити ефективне та економічне використання енергії. В цій статті ми розглянемо основні аспекти техніко-економічної доцільності впровадження комбінованого виробництва теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу.

Один з головних переваг використання теплонасосів полягає у їхній високій енергоефективності. Завдяки технології теплонасосного циклу, тепло може бути видобуто з низькопотенційних джерел, таких як ґрунт, повітря або вода, та перетворено на високопотенційне тепло для опалення приміщень або гарячого водопостачання. При цьому, теплова енергія не втрачається, а використовується максимально ефективно.

Крім того, теплонасосний цикл може бути використаний для виробництва холоду. За допомогою теплонасосів, тепло може бути відведено з приміщень та перетворено на холод, що дозволяє забезпечити комфортні умови в приміщенні та знизити витрати енергії на кондиціонування повітря.

Однак, для впровадження комбінованого виробництва теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу необхідно ретельно обґрунтувати техніко-економічну доцільність. Серед факторів, які слід враховувати при обґрунтуванні доцільності, можна виділити наступні:

- Відповідність вимогам нормативно-правової бази. Перш ніж будь-який інший фактор, впровадження комбінованого виробництва теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу повинно відповідати вимогам законодавства та нормативно-правової бази. Необхідно дослідити правове поле та визначити можливі обмеження, що можуть вплинути на реалізацію проекту.

- Технічна складність та необхідність розробки нових технологій. Комбіноване виробництво теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу вимагає високотехнологічного обладнання та відповідних інженерних рішень. Розробка та впровадження нових технологій може бути витратною та часомірною процедурою.

- Ефективність та економічна доцільність. Незалежно від технічної складності та відповідності нормативно-правовій базі, виробництво теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу має бути ефективним та економічно доцільним. Дослідження ефективності, попередні розрахунки та аналіз ринку можуть допомогти у визначенні доцільності проекту.

- Соціальна та екологічна відповідальність. Важливим фактором, який слід враховувати при обґрунтуванні техніко-економічної доцільності, є соціальна та екологічна відповідальність. Виробництво теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу повинно бути безпечним та нешкідливим для довкілля та мешканців.

Обґрунтоване техніко-економічною доцільністю та відповідністю нормативно-правовій базі. При цьому варто враховувати ряд факторів, таких як вартість устаткування, енергетична ефективність, розмір та характеристики будівлі, вимоги до енергетичної безпеки та інші. Врахування цих факторів дозволить досягти максимальної ефективності та економічної

вигідності впровадження комбінованого виробництва теплоти та холоду на основі теплонасосного циклу.

1.5. Дослідження низькопотенційних джерел енергії для теплових насосів.

Теплові насоси є одним з найефективніших способів опалення приміщень та гарячого водопостачання. Однак, для їх роботи необхідне джерело енергії, яке може бути низькопотенційним, тобто містити недостатньо енергії для прямого використання.

Основними низькопотенційними джерелами енергії для теплових насосів є ґрунтові води, повітря та вода в річках, озерах та морях. Для використання цих джерел енергії необхідні відповідні технічні рішення та обладнання.

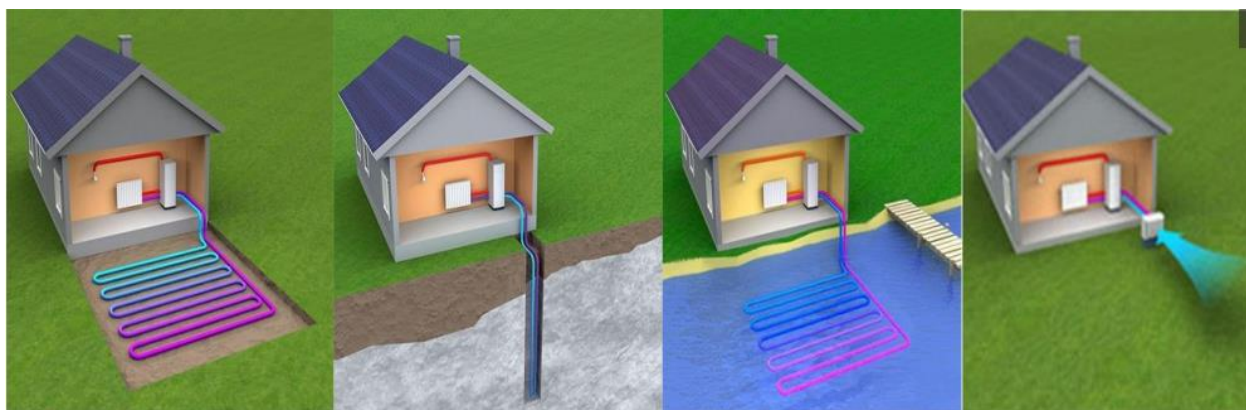


Рисунок 1.10 – Конструкційні види теплових насосів

Один з найпоширеніших способів використання низькопотенційних джерел енергії для теплових насосів - це використання теплообмінників, що дозволяють збирати тепло з повітря, води або ґрунту. Після збору тепла, теплоносій (часто це вода або гліколь) проганяється через компресор, де йому додається енергія, після чого тепло подається в систему опалення.

Крім того, можливе використання теплових насосів для забезпечення гарячої води. Для цього можна використовувати повітря або землю як джерело тепла, після чого вода проганяється через теплообмінник, де вона підігрівається за рахунок енергії, отриманої від теплового насосу.

Одним з недоліків використання низькопотенційних джерел енергії є їхній нерівномірний потік, що залежить від погодних умов. Також, для ефективного використання теплового насосу, необхідно мати високу енергозбережність будівлі та правильно підібрану систему опалення. Розрахунки показують, що використання теплових насосів може зменшити витрати енергії на опалення до 75% порівняно з традиційними системами опалення на базі котлів на природному газі або дизельного палива.

Одним з найпоширеніших джерел низькопотенційної енергії є повітря. Теплові насоси, що використовують повітря як джерело енергії, називаються аеротермічними тепловими насосами. Вони здатні відбирати тепло з повітря за допомогою зовнішнього блоку і передавати його до внутрішнього приміщення для опалення. Також можуть використовуватися ґрунтові джерела енергії, які забезпечують більш стабільний потік тепла.

Для ефективного використання низькопотенційних джерел енергії необхідно мати правильно розроблену систему опалення та водопостачання. Наприклад, важливо правильно вибрати місце розташування зовнішнього блоку теплового насосу, оскільки він потребує доступу до повітря та води. Також необхідно забезпечити достатню ізоляцію будівлі та правильно налаштувати систему регулювання температури.

Окрім того, важливо забезпечити правильне технічне обслуговування теплового насосу, що включає перевірку роботи всіх компонентів, очищення фільтрів та перевірку рівня холоди́ва. Це допоможе зберегти енергоефективність системи та зменшити витрати на електроенергію.

Усі ці фактори слід враховувати при роботі з низькопотенційними джерелами енергії для теплових насосів. Одним з важливих аспектів є розробка оптимальних стратегій управління тепловими насосами, що дозволить максимально використовувати доступну енергію та забезпечувати ефективну роботу системи опалення та гарячого водопостачання.

Також, для забезпечення максимальної ефективності теплового насосу, необхідно вибрати правильне робоче тіло, яке буде оптимальним для

конкретних умов і потреб користувачів. Наприклад, використання R-32 може забезпечити більшу енергоефективність, ніж R-410A, але при цьому необхідно враховувати її високу токсичність та пожежонебезпеку. Тому вибір робочого тіла повинен бути здійснений з урахуванням всіх факторів, включаючи ефективність, безпеку та екологічність.

Також важливо розробляти нові технології та інноваційні рішення для підвищення енергоефективності теплових насосів та покращення їхньої роботи з низькопотенційними джерелами енергії. Наприклад, використання системи енергетичного балансу може допомогти підтримувати стабільний тепловий режим та підвищувати ефективність роботи теплового насосу.

1.6. Обґрунтування вибору робочого тіла для теплового насосу.

Вибір робочої речовини (холодоагенту) для теплового насоса парокompресійного типу базується на відповідності властивостей холодоагенту певним вимогам для двох основних температурних рівнів - T_k і T_v .

Одна з вимог полягає в тому, що тиск у випарнику для вибраного значення температури T_v повинен бути більшим від атмосферного тиску. Вакуумний режим у всмоктувальній лінії теплового насоса не допустимий, оскільки може спричинити надходження повітря і вологи до системи, що негативно впливає на роботу обладнання. Тому необхідно обирати холодоагенти, які не викликають вакуумний режим при даній температурі.

Інша вимога стосується тиску конденсації пари холодоагенту, який не повинен перевищувати 25 бар з огляду на нормативи технічної безпеки. Бажано також підтримувати температуру конденсації не більше ніж 85% від критичної температури.

При виборі холодоагенту слід враховувати два основні екологічні показники - коефіцієнт дії на озоновий шар атмосфери (ODP) і коефіцієнт глобального потепління (GWP). Ці показники визначаються для порівняння з діоксидом вуглецю (CO₂), R11 та R12.

Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розробила спеціальну систему позначень холодильних агентів, де використовується буква "R" або слово "Refrigerant" та група цифр, що вказують на кількість атомів фтору, водню і вуглецю для гідрохлорофторвуглеводів (HCFC), гідрофторвуглеводів (HFC, CFC) та інших речовин.

З рисунка 1.11 видно, що верхній температурний рівень теплових насосів вищий, ніж у холодильних машинах, тому для забезпечення стабільності холодоагенту і низького тиску конденсації використовуються високотемпературні холодоагенти з нормальною температурою кипіння вище -10°C . Проте більшість високотемпературних холодоагентів містять хлор і відносяться до озоноруйнівальних речовин, що обмежує їх використання з екологічних причин.

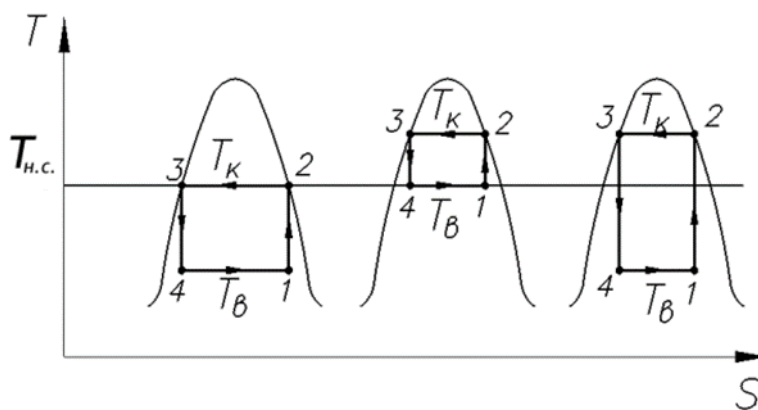


Рисунок 1.11 – Ідеальний цикл підвищувального термотрансформатора в T,s -діаграмі: а) холодильної машини; б) теплового насоса; в) комбінованої установки; 1, 2, 3, 4 – вузлові точки процесів, складових циклу

У теплових насосах також можливе використання середньотемпературних холодоагентів з нормальною температурою кипіння в діапазоні $-50...-30^{\circ}\text{C}$. Це стосується бівалентних і каскадних теплових насосів і, звичайно, холодильно-теплонасосних установок.

Останнім часом зростають екологічні вимоги до холодоагентів, що призвело до розроблення та випуску нових гідрофторвуглецевих сполук та їх сумішей, таких як SUVA HFC-125, SUVA HFC-134a, HFC-152a, HFC-236fa,

HFC-245fa, R407C та інші. Разом із поширеними гідрохлорфторвуглецями, які тимчасово припустимі з погляду показника ODP (R22, R142b), для теплових насосів можна використовувати нові холодоагенти, такі як SUVA HCFC-124, SUVA HCFC-123, HCFC-141b, HCFC-242k.

У таблиці 1.1 наведені характеристики найбільш прийнятних галоїдних похідних вуглеводнів (фреонів) для теплових насосів.

Таблиця 1.1 – Показники галоїдних похідних вуглеводнів (фреонів)

Позначення холодоагентів за ASHRAE	Критичний параметр		Температура насичення, °C		Екологічний показник		Заміновальний холодоагент
	P _{кр} , бар	T _{кр} , °C	P = 1 бар	P = 16 бар	ODP	$\frac{HGWP}{GWP}$	
R125	39,2	67,7	-48,5	32	0	$\frac{0,84}{3200}$	R22
R22	51,73	96,13	-40,8	42	0,05	$\frac{0,34}{1700}$	—
R134a	40,7	101,0	-26,5	57	0	$\frac{0,28}{1300}$	R12
R124	36,14	122,2	-12,1	78	0,02	$\frac{0,1}{480}$	R11 4
R142b	41,38	136,4 5	-9,8	85	0,02	$\frac{0,1}{-}$	—
R236fa	32,0	124,9 2	-1,44	91	0	$\frac{4,2}{6300}$	R114 R142 b
R123	37,3	184,0	27,9	130	0,02	$\frac{0,02}{90}$	R11

У таблиці 1.1 показники ODP і HGWP відносяться до R11, а показник GWP відноситься до CO₂.

Певні переваги серед робочих речовин для теплових насосів мають неазеотропні суміші фреонів, які характеризуються зміною температури під час фазових переходів (кипіння та конденсації). Ці переваги проявляються у здатності зберігати менші різниці температур між середовищами вздовж поверхні теплообміну.

У таблиці 1.2 наведені деякі термодинамічні та екологічні характеристики ряду неазеотропних сумішей фреонів. З огляду на те, що ці суміші мають невеликі значення температури конденсації при тиску 16 бар, їх можна рекомендувати для використання у теплонасосних установках з бівалентним режимом роботи та установках комбінованого типу.

Таблиця 1.2 – Показники групи фреонових сумішей

Позначення холодоагенту за ASHRAE	Компонент			Температура насичення, за P = 100 кПа, °C		Температура насичення, за P = 1600кПа, °C		Екологічний показник	
	масова частка, %			рід.	пар	рід.	пар	ODP CFC-12=1	GWP CO ₂ =1
R401A (SUVA MP-39)	<u>R22</u> 53	<u>R152a</u> 13	<u>R124</u> 53	-33,3	-27	53,9	58,2	0,03	0,973
R401B (SUVA MP-66)	<u>R22</u> 61	<u>R152a</u> 11	<u>R124</u> 28	-34,9	-28,9	51,5	55,6	0,035	1,062
R407C	<u>R32</u> 23	<u>R125</u> 25	<u>R134a</u> 52	-43	-37	37	42	0	1,526
R408A	<u>R22</u> 47	<u>R125</u> 7	<u>R143a</u> 46	-44,5	-44,1	37,9	38,2	0,026	2,649
R409A	<u>R22</u> 60	<u>R142B</u> 15	<u>R124</u> 25	-34	-26	52	57	0,05	1,288

Останнім часом економічні та екологічні аспекти вибору робочих речовин для холодильної та теплонасосної техніки активізували застосування чистих вуглеводнів та їх сумішей. Наприклад, за даними [3], використання суміші пропану-бутану в тепловому насосі замість R22 призводить до

підвищення коефіцієнта перетворення на 5-10%. Також існують великі можливості для застосування сумішей ізобутану і діоксиду вуглецю [4], а також аміаку з селективними добавками R600a [7].

У таблиці 1.3 наведені основні термодинамічні характеристики вуглеводнів.

Таблиця 1.3 – Показники чистих вуглеводнів

Назва	Позначення як холодоагентів	Критичний параметр		Температура насичення		Молекулярна маса
		P _{кр} , бар	T _{кр} , °C	P = 1 бар	P = 16 бар	
Н-пропан	R290	42,69	96,81	-41,97	40	44,1
Ізобутан	R600a	37,4	134,9	-6,2	81	58,12
Н-бутан	R600	37,79	152,01	-0,55	102	58,12
Н-пентан	R4(13)0	33,89	196,62	36,05	145	72,15

Температурний діапазон застосування робочої речовини також обмежується допустимими співвідношеннями тиску конденсації і кипіння.

$$\Delta\rho_k - \rho_v, \Pi = \rho_k/\rho_v \quad (1.1)$$

Гранична різниця тиску визначає навантаження на робочі елементи компресора, а ступінь підвищення тиску впливає на об'ємні й енергетичні коефіцієнти компресора і витрачену роботу. Рівень і характер зміни величин $\Delta\rho$ і Π для різних режимів роботи теплового насоса з різними холодоагентами наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Співвідношення тисків у теплових насосах

T _B	T _K	R22		R134a		R142в		R600		R4(13)0 Н-пентан	
		$\frac{P_K}{P_B}$	$p_K - p_B$	$\frac{P_K}{P_B}$	$p_K - p_B$	$\frac{P_K}{P_B}$	$p_K - p_B$	$\frac{P_K}{P_B}$	$p_K - p_B$	$\frac{P_K}{P_B}$	$p_K - p_B$
0	55	4	16,7	5,1	12	5,4	6,5	4,8	4,5	7,8	2,1
10		3,2	15	3,6	10,8	3,8	5,9	3,8	4,2	5	1,9
20		2,4	12,6	2,6	9,2	2,7	5	2,8	3,7	3,3	1,7

T _B	T _K	R142в		R600		R600a		Н-пентан		Н-бутан	
		$\frac{P_K}{P_B}$	$p_K - p_B$	$\frac{P_K}{P_B}$	$p_K - p_B$	$\frac{P_K}{P_B}$	$p_K - p_B$	$\frac{P_K}{P_B}$	$p_K - p_B$	$\frac{P_K}{P_B}$	$p_K - p_B$
40	90	3,3	12,4	3,96	11,4	3,3	12,6	3,2	3,6	4	3,6
50		2,5	10,7	2,6	8,1	2,6	11,2	2,3	3	3	3,1
60		2	8,7	2	6,6	2	9,2	1,8	2,4	2,2	2,6

Як видно з таблиці 1.4, застосування вуглеводнів як холодоагентів є раціональним лише для теплонасосних режимів теплотехнічних установок, де спостерігаються високі температури конденсації та кипіння.

Розділ 2. Дослідження комбінованої системи енергозабезпечення теплонасосної установки

2.1. Розрахунок та визначення теплової потужності

Житловий комплекс в населеному пункті смт. Чорноморське, що знаходиться поблизу м. Одеси на узбережжі Чорного моря, містить дві п'яти- і дві десятиповерхові будівлі, які в сумі мають 7 під'їзди і 160 квартир.

У кожному будинку є підвальні приміщення де розміщується інженерне обладнання систем водо- та теплопостачання.

Будинки виготовлені з ідентичних матеріалів, що дає змогу суттєво спростити розрахунок житлового комплексу в цілому.

Модернізація існуючої системи теплопостачання на основі котельних установок передбачає використання теплонасосного обладнання в комплексі з сонячними колекторами.

РОЗРАХУНОК ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ ОБ'ЄКТА

Для розрахунку споживання теплової енергії даним об'єктом, необхідно визначити теплові втрати стін, вікон, дахів і підвалів. Такий розрахунок називається калоричним, оскільки в результаті розрахунку визначається теплове навантаження.

Вихідні дані:

Будинок №1: Розміри 57,6(l)*18,23(h)*12.9(b) (м);

Будинок №2: Розміри 57,6(l)*18,23(h)*12.9(b) (м);

Будинок №3: Розміри 30(l)*33,3(h)*18(b) (м);

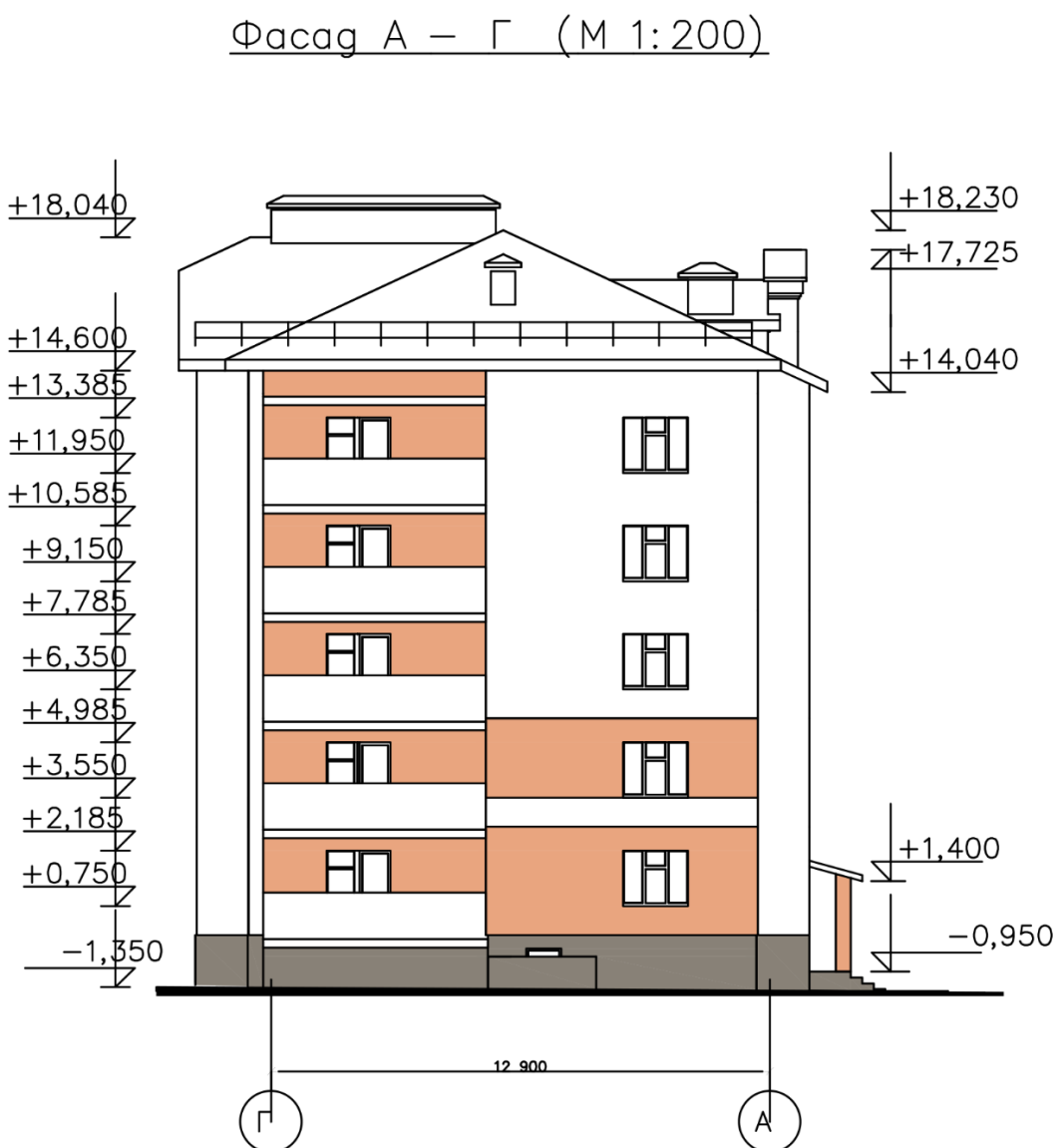


Рисунок 2.1 – Фасад п'ятиповерхових будинків №1 і №2



Рисунок 2.2 – Фасад десятиповерхового будинку №2

Розрахунок загальних площ стін, вікон, дахів і підвалів усіх будинків.

1) Визначимо площу стін будинків № 1 і 2

$$F_{CT} = (h \cdot b + l \cdot h - f_{Bик}) \cdot 2 \quad (2.1)$$

де - $f_{Bик}$ загальна площа вікон будинків № 1 і 2,

$$f_{Bик\#1} = f_{Bик\#2} = f_{Bик1} + f_{Bик2} + f_{Bик3} + f_{Bик4} \quad (2.2)$$

$$f_{Bик1} = s_{Bик} \cdot n_1 \cdot n_2 \quad (2.3)$$

де - $s_{Bик}$ площа одного вікна,

n_1 - кількість вікон на поверсі,

n_2 - кількість поверхів.

$$f_{Bик1} = 1,38 \cdot 1,435 \cdot 19 \cdot 5 = 188,1285 \text{ м}^2$$

$$f_{Bик2} = 1,68 \cdot 1,435 \cdot 8 \cdot 5 = 96,432 \text{ м}^2$$

$$f_{Bик3} = 2,55 \cdot 1,435 \cdot 6 \cdot 5 = 109,7775 \text{ м}^2$$

$$f_{Bик4} = 1,5 \cdot 1,435 \cdot 3 \cdot 5 = 32,2875 \text{ м}^2$$

$$f_{Bик} = 188,1285 + 96,432 + 109,7775 + 32,2875 \approx 426,6 \text{ м}^2$$

$$F_{CT1} = F_{CT2} = (14,6 \cdot 12,9 + 14,6 \cdot 57,6 - 426,6) \cdot 2 = 602,7 \cdot 2 = 1205,4 \text{ м}^2$$

Визначимо площу стін будинку № 3:

Загальна площа вікон будинку № 3

$$f_{\text{Вік}\#3} = f_{\text{Вік}1} + f_{\text{Вік}2} + f_{\text{Вік}3} + f_{\text{Вік}4} = 129,6 + 45 + 117 + 48 = 339\text{ м}^2$$

$$f_{\text{Вік}1} = 1,6 \cdot 0,9 \cdot 9 \cdot 10 = 129,6\text{ м}^2$$

$$f_{\text{Вік}2} = 2,5 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 10 = 45\text{ м}^2$$

$$f_{\text{Вік}3} = 2,6 \cdot 0,9 \cdot 5 \cdot 10 = 117\text{ м}^2$$

$$f_{\text{Вік}4} = 1,6 \cdot 1,5 \cdot 2 \cdot 10 = 48\text{ м}^2$$

$$F_{\text{СТ}3} = (31,4 \cdot 30 + 31,4 \cdot 18 - 339) \cdot 2 = 2336,4\text{ м}^2$$

Визначимо площі підлог і дахів будинків № 1 і 2

$$f_{\text{під}1} = f_{\text{під}2} = f_{\text{кр}1} = f_{\text{кр}2} = 12,9 \cdot 57,6 = 743,04\text{ м}^2$$

Визначимо площу підлоги та даху будинку № 3

$$f_{\text{під}3} = f_{\text{кр}3} = 30 \cdot 18 = 540\text{ м}^2$$

Визначимо загальну площу стін

$$F_{\text{СТ}} = F_{\text{СТ}1} + F_{\text{СТ}2} + F_{\text{СТ}3} \quad (2.4)$$

$$F_{\text{СТ}} = 1205,4 + 1205,4 + 2336,4 = 4747,2\text{ м}^2$$

Визначимо загальну площу підлог і дахів:

$$F_{\text{Під}} = F_{\text{Під}1} + F_{\text{Під}2} + F_{\text{Під}3} \quad (2.5)$$

$$F_{\text{Під}} = 743,04 + 743,04 + 540 = 2026,08\text{ м}^2$$

$$F_{\text{кр}} = F_{\text{кр}1} + F_{\text{кр}2} + F_{\text{кр}3} \quad (2.6)$$

$$F_{\text{кр}} = 743,04 + 743,04 + 540 = 2026,08\text{ м}^2$$

Визначимо загальну площу вікон:

$$F_{\text{Вік}} = f_{\text{Вік}\#1} + f_{\text{Вік}\#2} + f_{\text{Вік}\#3} \quad (2.7)$$

$$F_{\text{Вік}} = 426,6 + 426,6 + 339 = 1192,2\text{ м}^2$$

2.2. Вибір конструктивних особливостей та розрахунок енергетичного навантаження у тому числі з використанням існуючих норм споживання та витрат.

Розрахунок питомих теплових втрат

Питомі теплові втрати у вікні



Рисунок 2.3 принцип роботи енергозберігаючого вікна

Енергозберігаючий склопакет відрізняється від звичайного тим, що внутрішній бік одного зі стекол покривається тонким шаром атомів срібла, а сам внутрішній простір камер заповнюється не просто повітрям, а нешкідливим газом - аргоном.

Аргон, зі свого боку, має нижчу теплопровідність порівняно зі звичайним повітрям, що дає змогу істотно зменшити втрати тепла, і, відповідно, витрати на опалення приміщення. Крім того, аргон трохи підвищує рівень звукоізоляції пластикових вікон, тому що його динамічний модуль пружності вищий, ніж у повітря в звичайному склопакеті.

На цьому об'єкті встановлено віконні пакети з двошаровим склінням та енергосберігаючим шаром. Товщина скла $\delta_{ск} = 4\text{мм}$, міжскляна відстань $\delta_s = 100\text{мм}$,

Приймаємо температуру зовнішнього повітря $t_n = -10^\circ\text{C}$, температуру всередині приміщення $t_s = 20^\circ\text{C}$; $\lambda_{ст} = 0,74 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$;
 $\lambda_{возд} = 2,46 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$.

Приймаємо $\alpha_1 = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$; $\alpha_2 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$.

Визначимо середню температуру:

$$t_{cp} = \frac{(t_u + t_g)}{2} \quad (2.8)$$

$$t_{cp} = \frac{(-10 + 20)}{2} = 5^\circ C$$

Визначимо теплофізичні властивості повітря за 5°C:

$$\nu = 13.72 * 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$Pr = 0.706$$

$$\beta = 0.00359$$

$$\lambda_{возд} = 2,46 * 10^{-2}$$

$$\lambda_{cm} = 0,74$$

Визначимо число Грасгофта

$$Gr = \frac{gl^3}{\nu^2} \beta \Delta t = \frac{9.81 * 0.1^3}{(13.72 * 10^{-6})^2} = 2803.5 * 10^3 \quad (2.9)$$

$$E_k = 0.18(Gr * Pr)^{0.25} = 0.18(2803.5 * 10^{-6} * 0.706) = 6.751$$

Визначимо еквівалентний коефіцієнт теплопровідності

$$\lambda_{экв} = \lambda * E_k = 2.46 * 10^{-2} * 6.751 = 0,1661 \text{ кВт}/(\text{м} * \text{К})$$

Визначимо термічний опір склопакета

$$R_{терм} = R_{\alpha 1} + 2 * R_{cm} + R_3 + R_{\alpha 2} \quad (2.10)$$

$$R_{терм} = \frac{1}{5} + 2 \frac{0.004}{0.74} + \frac{1}{10} + 2.46 * 10^{-2} = 0.335 \text{ м}^2 * \text{К}/\text{кВт}$$

$$g_{ок} = \frac{\Delta t}{R_{терм}} \quad (2.11)$$

$$g_{ок} = \frac{30}{0.335} = 89.5 \text{ кВт}/\text{м}^2$$

$$Q_{ок} = q_{ок} * F_{ок} \quad (2.12)$$

$$Q_{ок} = 89,5 * 1192,2 = 106,7 \text{ кВт}$$

Питомі теплові втрати в стінах

$$Gr = \frac{gl^2}{\nu^2} \beta \Delta t \quad (2.13)$$

$$Gr = \frac{9.81 * 3^3}{(15 * 10^{-6})^2} * \frac{1}{18 + 273} * 6 = 2.42 * 10^{10}$$

$$Gr * Pr = 2.42 * 10^{10} * 0.7 = 1.69 * 10^{10}$$

$$Nu = 0.15 * (Gr * Pr)^{0.33} * E_t = 0.15 * (1.69 * 10^{10})^{0.33} * 1 = 355.8$$

$$\alpha_{вн}^{расч} = \frac{Nu * \lambda}{l}$$

$$\alpha_{вн}^{расч} = \frac{355.8 * 0.02}{3} = 2.37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$$

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{вн}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}}$$

$$R_0 = \frac{1}{18.6} + 1.176 + \frac{1}{2.37} = 1.65 \text{ м}^2 * \text{К}/\text{Вт}$$

$$q = \frac{\Delta t}{R_0} \tag{2.14}$$

$$q = \frac{20 - (-10)}{1.65} = 18.18 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

$$Q_{СТ} = q * F_{СТ} \tag{2.15}$$

$$Q_{СТ} = 18.18 * 4747.2 = 86.3 \text{ кВт}$$

Питомі теплові втрати через дах і підвал

Задаємося питомими тепловими втратами

$$q_{кр} = 23,17 \text{ кВт}/\text{м}^2$$

$$q_{пол} = 22,46 \text{ кВт}/\text{м}^2$$

$$Q_{кр} = q_{кр} * F_{кр} \text{ кВт} \tag{2.16}$$

$$Q_{кр} = 23,17 * 2026,08 = 46,94 \text{ кВт}$$

$$Q_{пол} = 22,46 * 2026,08 = 45,5 \text{ кВт}$$

Загальні теплові втрати

$$Q_{общ} = Q_{ок} + Q_{СТ} + Q_{кр} + Q_{пол} \tag{2.17}$$

$$Q_{общ} = 106,7 + 86,3 + 46,94 + 45,5 = 285,44 \text{ кВт}$$

Розрахунок споживання теплої води

Задамося величиною х - кількістю людей, які живуть в одній квартирі:

$$x = 3 \text{ люД/кв}$$

Кількість людей, які живуть у цьому секторі

$$n = x * y$$

$$n = 160 * 3 = 480 \text{ люД}$$

де y - кількість квартир усіх будинків

Визначаємо добову витрату гарячої води та теплоспоживання. За СНіП 2.04.01-85 приймаємо 50 л гарячої води на одну людину на добу.

Сумарна кількість:

$$G_{\text{сут}} = 50 * 480 = 24000 \text{ л / доб}$$

$$Q_{\text{су}} = C_p * G_{\text{сут}} * (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) * 10^{-6} \quad (2.18)$$

$$Q_{\text{сут}} = 4.19 * 24000 * (50 - 17) = 3.32 \text{ ГДж / сут}$$

$$Q_{\text{сек}} = 3.32 * 10^6 / 24 / 3600 = 38,426 \text{ кВт}$$

Визначимо повне теплоспоживання об'єкта

$$Q_{\text{полн}} = Q_{\text{обц}} + Q_{\text{сек}} \quad (2.19)$$

$$Q_{\text{полн}} = 285,44 + 38,426 \approx 323,9 \text{ кВт}$$

2.3. Вибір схеми опалення, гарячого водопостачання та охолодження т на основі теплового насосу з використанням енергії сонця та ґрунту

Система тепlopостачання цих багатоквартирних житлових будинків розрахована на 480 осіб, які проживають у ньому. Система повністю забезпечує протягом усього року навантаження гарячого водопостачання та опалення. Добове споживання води з температурою 65 °С на побутові потреби становить 24000 л / доб. Температура повітря в житлових приміщеннях в опалювальний період має бути не менше 20 °С.

Загальна опалювальна площа будинків становить близько $12825,6\text{ м}^2$ (багатоповерхові будинки). Передбачуване місце розташування будинку - Одеська область смт. Чорноморське (розрахункова зимова температура зовнішнього повітря $t_n = -10^\circ\text{C}$).

Нормативна величина опалювального коефіцієнта для багатоповерхового будинку в даній місцевості дорівнює - $q_n = 0,87\text{ Вт} / \text{м}^3 * \text{град}$.

Для розглянутих будинків за рахунок збільшення товщини і застосування сучасних високоефективних теплоізоляційних матеріалів і потрібного скління опалювальне навантаження було знижено згідно з рекомендаціями до величини $q = 0,3\text{ Вт} / \text{м}^3 * \text{град}$. Вважаючи, що опалювальний об'єм становить $V = 44326\text{ м}^3$, можна скласти залежність теплового навантаження будівлі від місяця року для Одеської обл.

Технічна характеристика цих будинків така:

- Загальна площа - $20,251.2\text{ м}^2$
- Витрата тепла
 - зокрема: - $Q_{\text{полн}} = 323,9\text{ кВт} \approx 324\text{ кВт}$;
 - на опалення - $Q_{\text{обц}} = 285,44\text{ кВт}$;
 - на ГВП - $Q_{\text{сек}} = 38,426\text{ кВт}$.
- Система опалення - однотрубна з природною циркуляцією;
 - Температурний графік - $65/50^\circ\text{C}$;
 - Тип нагрівальних приладів - конвектори типу "Комфорт-20";

Розробка принципової схеми та обґрунтування основних характеристик комбінованої системи.

Схема встановлення обладнання в будинку

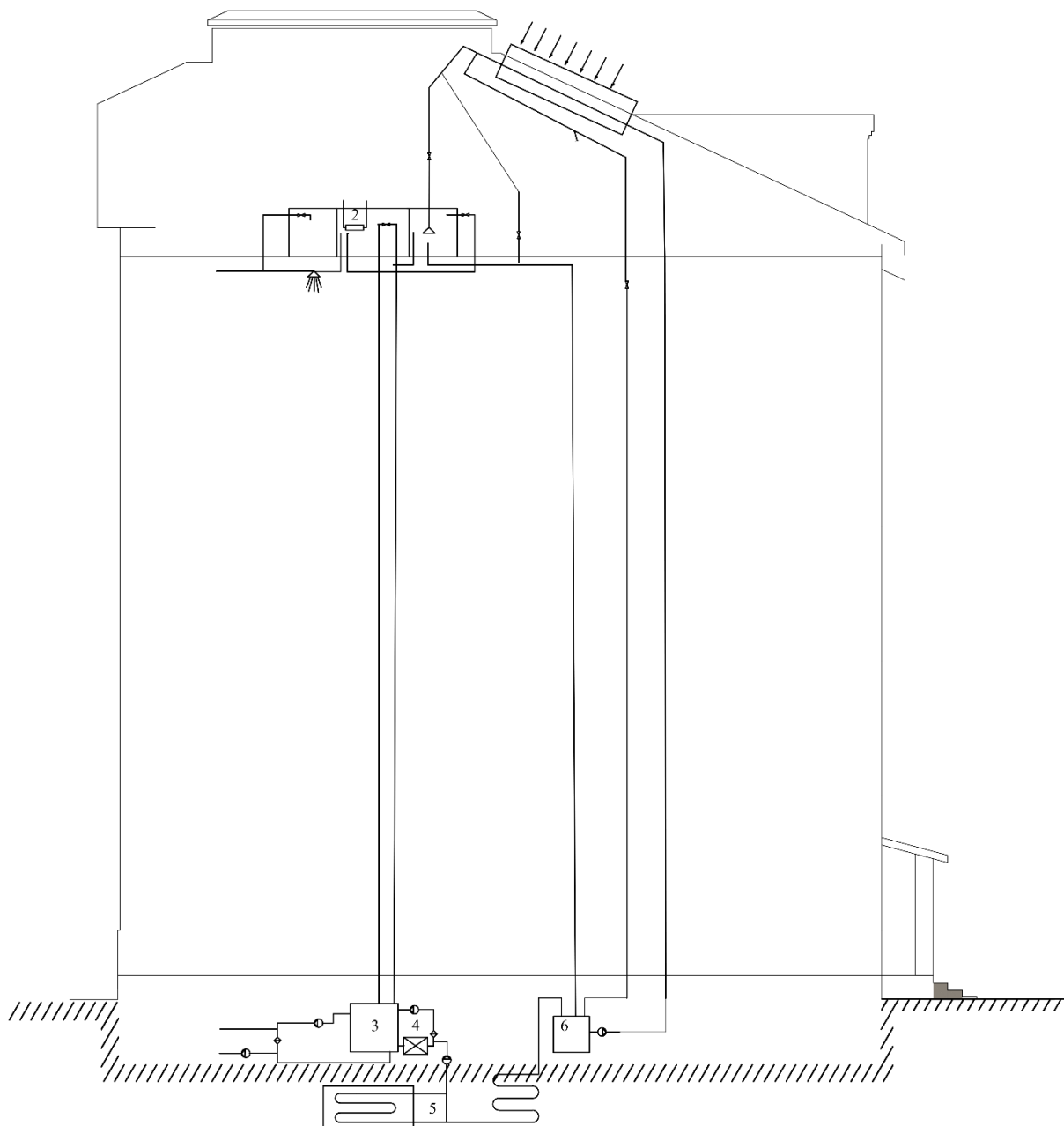


Рис. 2.4 Схема встановлення обладнання в будинку: 1 - сонячний колектор, 2 - бак гарячого водопостачання, 3 - бак опалення, 4 - тепловий насос, 5 - ґрунтовий теплообмінник, 6 - зливний бак.

2.4 Вибір способу охолодження повітря для кондиціювання

Система тепlopостачання (рис. 2.4) являє собою сукупність чотирьох структурно-незалежних одна від одної підсистем. Дві з них слугують для приймання теплової енергії - це підсистеми сонячного тепlopостачання і підсистема теплонасосної установки (ТНУ), що містить у собі ґрунтовий теплообмінник, а дві інші є споживачами теплової енергії - це підсистеми гарячого водопостачання та опалення.

Залежно від режиму роботи схеми можливе вимкнення будь-якої з підсистем. Зокрема, в літній період працюють системи сонячного тепlopостачання (приймач тепла) і гарячого водопостачання (теплове навантаження), взимку сонячний контур вимикають, у перехідний період передбачається використання всіх чотирьох підсистем. Як джерела низькопотенційного тепла можуть незалежно використовуватися сонячна енергія, енергія ґрунту, а також електрична енергія.

У літній період часу, коли виникає потреба в кондиціонуванні повітря, тепловий насос може працювати в режимі виробництва теплоти і холоду, який використовується для охолодження повітря в повітроохолоджувачі. Охолоджене повітря розподіляється через систему повітропроводів між кондиціонованими приміщеннями. Теплоносій (розсіл) при цьому циркулює між випарником теплового насоса і повітроохолоджувачами системи розподілу повітря.

Але в кожній квартирі встановлені автономні кондиціонери, які забезпечують індивідуальне кондиціонування повітря у кожному приміщенні. Це означає, що централізована система кондиціонування повітря, яка використовує тепловий насос, не розглядалась як основний метод охолодження для кожної окремої квартири. Замість цього, мешканці можуть регулювати температуру у своїх квартирах за допомогою встановлених автономних кондиціонерів, що дозволяє їм забезпечити комфортні умови відповідно до їхніх власних вимог і переваг. Кожен користувач може вибрати оптимальну температуру та режим роботи для свого приміщення незалежно

від інших квартир у будинку. Такий підхід надає більшу гнучкість і контроль над кондиціонуванням повітря для кожного мешканця, дозволяючи забезпечити комфортні умови за їхніми індивідуальними потребами.

Розділ 3. Енергетичний аналіз основного обладнання комбінованої теплонасосної установки та вибір конструктивних елементів

3.1. Розрахунок циклу теплового насосу та визначення енергетичного навантаження на обладнання

Теплові та конструктивні розрахунки. Вибір параметрів і розрахунок термодинамічного циклу

Для побудови циклу одноступеневого теплового насоса насамперед потрібно зобразити цикл ТН в одній із термодинамічних діаграм стану. Побудова циклу проводиться в такій послідовності:

1. На діаграму $h - \lg P$ або $s - T$ наносять ізотерми, що визначають режим роботи установки; t_0, t_k, t_n, t_{ec} .

2. За температурами t_0 і t_k знаходять відповідні ізобари p_0 і p_k в області перегрітої пари і переохолодження рідини (на діаграму $s - T$ ізобари в області переохолодженої рідини не наносять).

3. У результаті побудови на діаграмі отримано опорні точки:

- 5 - на перетині ізотерми t_0 з лінією сухої насиченої пари;
- 2'' - на перетині ізотерми t_k з лінією сухої насиченої пари;
- 3 - на перетині ізотерми t_k з лінією рідини;
- 4 - на перетині ізотерми з ізобар в ділянці переохолодженої рідини (у $s - T$ діаграмі точку чотири умовно наносять на лінію рідини за температури t_n).

На перетині ліній t_{ec} і p_0 в ділянці перегрітої пари знаходять точку 1, що визначає стан пари, всмоктуваної компресором.

5. Через точку 1 проводять лінію постійної ентропії (адіабати) до перетину з ізобарою p_k в точці 2'', яка визначає стан пари наприкінці стиснення.

6. Залишається отримати точку 4'', яка знаходиться на перетині лінії постійної ентальпії, що проходить через точку 4, з ізотермою p_0 в області вологої пари. Точка 4'' характеризує стан пари після процесу дроселювання в регулювальному вентилі.

7. Параметри в точці 2 (температура стиснення з урахуванням ккд компресора) визначаються через розрахунок його ентальпії (індикаторного ккд компресора)

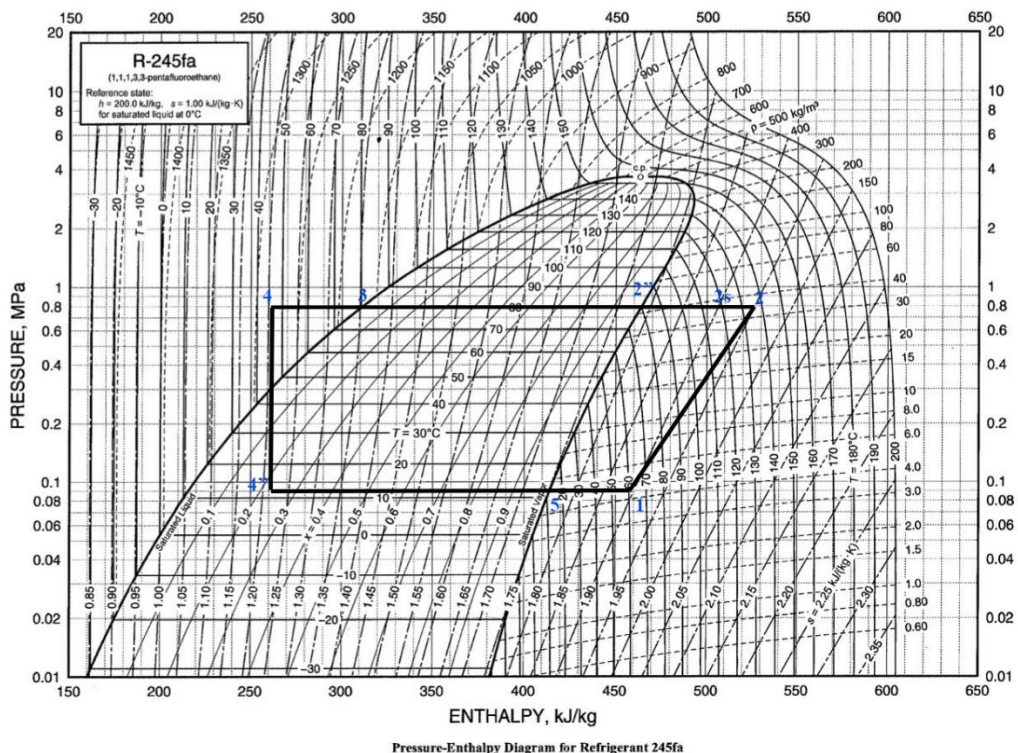


Рисунок 3.1 – Зображення циклу одноступеневого стиснення у діаграмі $h - \lg P$

На рисунку 3.1 зображені такі процеси:

- 4'' - 5 - кипіння у випарнику при p_0 і t_0 . Прийнято, що з випарника виходить суха насичена пара;
- 5 - 1 - перегрів пари на всмоктуванні від t_0 до t_{ec} при тиску p_0 ;
- 1 - 2s - адіабатний (ізоентропійний) стиск в компресорі;
- 1-2 – адіабатний стиск в реальному процесі

- 2- 3 - відведення тепла в конденсаторі, який можна розділити на два процеси:
 - 2-2" – охолодження перегрітої пари до стану насичення при постійному тиску p_k і 2" - 3 - конденсація холодоагенту при t_k і p_k .
 - 3 - 4 - переохолодження рідкого холодоагенту в регенеративному теплообміннику від t_k до t_n при тиску p_k .
 - 4 - 4"- дроселювання холодоагенту в регулюючому вентилі p_k до p_0 по лінії постійної ентальпії.

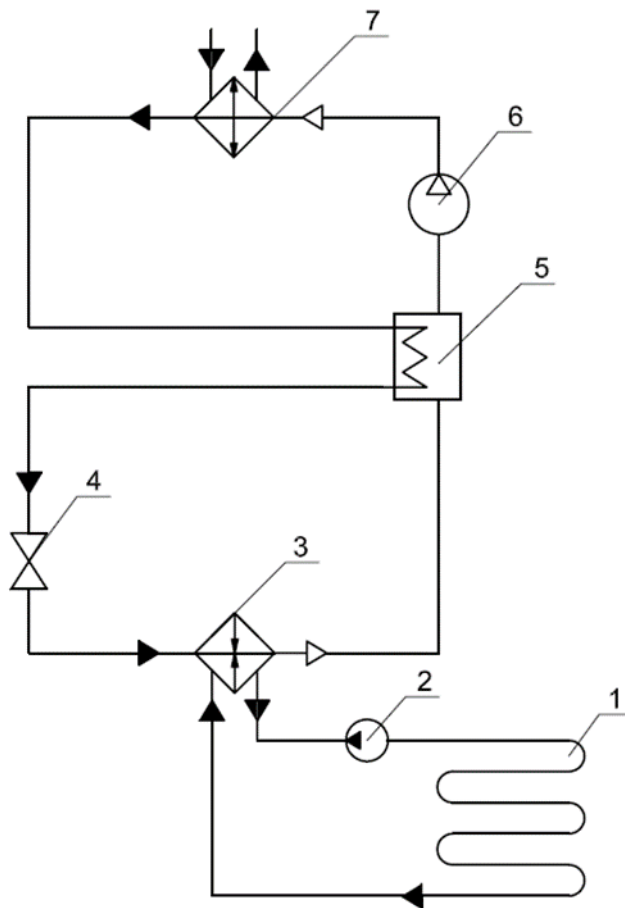


Рисунок 3.2 – Схема теплового насоса: 1 – ґрунтовий теплообмінник; 2 – насос; 3 - випарник; 4 – дросельний вентиль; 5 – регенеративний теплообмінник; 6 - компресор; 7 – конденсатор.

Схема теплового насосу наведена на рисунку 3.2. У якості вхідних даних для розрахунку термодинамічного циклу парокompресійного теплового насосу обираємо:

Холодильний агент – R-245fa

$$\text{Теплопродуктивність} - Q_h = \frac{Q_{\text{полн}}}{3} = \frac{324}{3} = 108 \text{ кВт}$$

Потрібно розподілити загальну теплопродуктивність на з установки для того щоб була можливість регулювати при необхідності теплопродуктивність (при зниженні теплового навантаження).

Відносний мертвий простір компресору – $c = 0.035$

При температурі кипіння у випарнику величина тиску кипіння повинна бути $> P_{\text{атм}}$. Тиск у конденсаторі має бути невисоким [$P_{\text{max}} < P_{\text{атм}}$].

Величини теплоти фазових переходів в конденсаторі і випарнику повинні бути якомога більшими.

Температура випаровування робочої речовини ($T_0 = 0^\circ\text{C}$) визначається в залежності від температури ґрунту, як джерела низькопотенційного тепла ($T_{\text{сп}} = 8^\circ\text{C}$), а температура конденсації ($T_{\text{к}} = 70^\circ\text{C}$) є функцією температури теплоносія (вода).

По таблиці насичених пар робочого тіла визначимо величини тисків кипіння і конденсації $P_0 = 0.09 \text{ МПа}$ і $P_{\text{к}} = 0.8 \text{ МПа}$.

Визначимо термодинамічні властивості в кожній з точок циклу. При розрахунку регенеративного теплообмінника задаємося величиною недорекуперації – 15°C ($T_4 - T_1 \approx 15^\circ\text{C}$). Для уникнення попадання парів робочої речовини в компресор задаємося величиною перегріву $\Delta t_{\text{нг}} = 20^\circ\text{C}$ перед компресором.

При визначенні температур в точці 4 і 1 використовуємо метод послідовних наближень, виходячи з умов теплового балансу РТО:

$h_3 - h_4 = h_1 - h_5$ підбираємо по температурі у точці 4

$$h_4 = h_3 - h_1 + h_5 = 890 - 965 + 952 = 877 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Таблиця 3.1 – Термодинамічні властивості речовини R 245 fa

	1	2	2s	2''	3	4	4''	5
T, К	293	365	350	343	343	333	273	273
P, МПа	0.09	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.09	0.09
h, кДж/кг	348	388	380	350	272	262	262	338
S, кДж/кг·К	1.57	1.59	1.57	1.55	–	–	–	–
v, куб. м	0.16	0.018		0.019	–	–	0.070	0.15

Виходячи з:

$$\eta_i = \frac{T_0}{T_k} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \Rightarrow h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_i}, \text{ де } \eta_i = 0.8$$

Знаходимо h_2 по формулі:

$$h_2 = 348 + \frac{380 - 348}{0.8} = 388 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (3.1)$$

$$V_d \rightarrow \lambda \rightarrow V_h = \frac{V_d}{\lambda} = \text{const} \quad (3.2)$$

$$Q_h \Rightarrow G_a = \frac{Q_h}{q_h} \quad (3.3)$$

$$V_d = G_a v_1 \quad (3.4)$$

$$G_a = \frac{V_d}{v_1} \quad (3.5)$$

Далі проводимо розрахунок циклу:

Визначаємо питомі характеристики циклу:

питома теплопродуктивність:

$$q_h = h_2 - h_3, \quad (3.6)$$

$$q_h = h_2 - h_3 = 386 - 272 = 114 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

питома холодопродуктивність установки:

$$q_0 = h_5 - h_{4''}, \quad (3.7)$$

$$q_0 = 338 - 262 = 76 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

питома адиабатична робота стиснення в компресорі:

$$l_a = h_{2''} - h_1, \quad (3.8)$$

$$l_a = 380 - 348 = 32 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Індикаторний ККД компресора, який показує відношення теоретичної адиабатної температури стиснення до дійсної роботи стиснення:

$$\eta_i = \frac{T_0}{T_k}, \quad (3.9)$$

$$\eta_i = \frac{273}{343} = 0.796$$

Визначимо дійсну питому роботу стиснення:

$$l_i = \frac{l_a}{\eta_i}, \quad (3.10)$$

$$l_i = \frac{32}{0.796} = 40.201 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Питоме теплове навантаження в РТО:

$$q_{\text{пто}} = h_3 - h_4 = h_1 - h_5, \quad (3.11)$$

$$q_{\text{пто}} = 272 - 262 = 348 - 338 = 10 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Тепловий коефіцієнт циклу:

$$\varphi = \frac{q_h}{l_i}, \quad (3.12)$$

$$\varphi = \frac{114}{40.201} = 2.8.$$

Тепловий коефіцієнт відповідного циклу Карно:

$$\varphi_k = \frac{T_k}{T_k - T_0}, \quad (3.13)$$

$$\varphi_k = \frac{343}{343 - 273} = 4.9.$$

Ступінь термодинамічної досконалості циклу

$$СТС = \frac{\varphi}{\varphi_k} = \frac{2.8}{4.9} = 0.571. \quad (3.14)$$

Визначення витрати робочого тіла (холодильного агенту)

$$G_a = \frac{Q_h}{q_h} = \frac{108}{114} = 0,947 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (3.15)$$

3.2. Розрахунок та вибір компресорного обладнання

Розрахунок і вибір компресорного устаткування. Визначимо холодопродуктивність ТН:

$$Q_0 = G_a \cdot q_0, \quad (3.16)$$

$$Q_0 = 0,947 \cdot 76 = 71,972 \text{ кВт}$$

Визначення індикаторної потужності споживаної компресором

$$N_i = G_a \cdot l_i, \quad (3.17)$$

$$N_i = 0,947 \cdot 41.457 = 39,26 \text{ кВт}$$

Потужність на валу компресора

$$N_e = N_i / \eta_{\text{мех}} \quad (3.18)$$

де $\eta_{\text{мех}}$ – механічний ККД компресора, значення якого залежить від співвідношення тисків p_k/p_0 : при $p_k/p_0 = 5 - 7$, $\eta_{\text{мех}} = 0.9$, при $p_k/p_0 = 11 - 13$, $\eta_{\text{мех}} = 0.8$.

$$N_e = \frac{39,26}{0.8} = 49,075, \text{ кВт}$$

Визначення потужності електродвигуна компресора

$$N_{\text{эд}} = \frac{N_i}{\eta_{\text{эд}}}, \quad (3.19)$$

де $\eta_{эд}$ - ККД електродвигуна (для електродвигунів малих компресів $\eta_{эд} = 0.85-0.9$, для великих $\eta_{эд} = 0.9-0.95$).

$$N_{эд} = \frac{39,26}{0.9} = 43,62 \text{ кВт}$$

Визначимо дійсну об'ємну витрату робочого тіла в компресорі

$$V_D = G_a \cdot v_1, \quad (3.20)$$

$$V_D = 0,947 \cdot 0.1480 = 0,140156 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Визначимо об'єм, який описується поршнями компресора

$$V_h = \frac{V_D}{\lambda},$$

$$\text{Де} \quad \lambda = \lambda_c \lambda_w = [1 - C[(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{1}{m}} - 1]] \frac{T_0}{T_1}$$

$$\lambda = [1 - 0.035[(\frac{0.8}{0.09})^{1.05} - 1]] \frac{273}{293} = 0.771$$

$$V_h = \frac{0,140156}{0.771} = 0,182 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

За значенням $V_h = 0,182$ обираємо компресор Маслозаповнений гвинтовий компресор CWD75A.



Рис 3.3 Маслозаповнений гвинтовий компресор CWD75A

3.3. Вибір конструкції та розрахунок теплообмінного обладнання

Проектування ґрунтового т/о. Системи збору низькопотенційної теплової енергії ґрунту поверхневих шарів Землі, або системи тепловідбору, в загальному випадку включають в себе ґрунтовий теплообмінник і трубопроводи, що з'єднують його з теплонасосним обладнанням

Під час проектування ґрунтових теплообмінників особливо важливою є класифікація ґрунтів за їхньою теплопровідністю. У наведеній нижче таблиці використано дані відомого американського довідника ASHRAE.

Таблиця 3.2. - Класифікація ґрунту

Клас ґрунту	$\lambda,$ $\frac{Вт}{м^2 * град}$	Тип ґрунту
Дуже низька теплопровідність	< 1	Легка глина (15% вологість)
Низька теплопровідність	< 1.5	Тяжелая глина (5% вологість)
Нормальна теплопровідність	< 2	Важка глина (15% вологість) Легкий пісок (15% вологість)
Висока вологість	< 2.5	Важкий пісок (5% вологість)
Дуже висока теплопровідність	> 2.5	Важкий пісок (15% вологість)

За СНиП 2.02.04-88 можна скласти таблицю 2. 5. 2. щодо визначення теплопровідності талого ґрунту - λ_{th} .

Таблиця 3.3 - Класифікація ґрунту

Клас ґрунту	λ , $\frac{Вт}{м^2 * град}$	Тип ґрунту
Дуже низька теплопровідність	< 1	Заторфонні ґрунти та торфи
Низька теплопровідність	< 1,5	Суглинки та глини, супісок пілуватий, легкий супісок пілуватий
Нормальна теплопровідність	< 2	Важкий супісок пілуватий
Висока вологість	< 2,5	Легкий пісок
Дуже висока теплопровідність	> 2.5	Важкий пісок (5% вологість)

Для точного визначення теплопровідності ґрунтів необхідно проводити експериментальні дослідження теплопровідності в місці передбачуваного будівництва.

Слід зазначити, що теплопровідність ґрунту не є величиною постійною протягом року. Вона залежить від вологості, агрегатного стану вологи в ґрунті та температури. Причому особливо сильно вологість змінюється під час замерзання ґрунту. Дані таблиць свідчать про те, що теплопровідність мерзлих ґрунтів λ_f становить

$$\lambda_f = 1.05 \div 2.1 * \lambda_{th}$$

Тепловий режим ґрунту поверхневих шарів землі формується під дією двох основних чинників - сонячної радіації, що падає на поверхню, і потоком радіогенного тепла із земних надр. Сезонні та добові зміни інтенсивності сонячної радіації й температури зовнішнього повітря спричиняють коливання температури верхніх шарів ґрунту. Глибина проникнення добових коливань

температури зовнішнього повітря та інтенсивності падаючої сонячної радіації залежно від конкретних ґрунтово-кліматичних умов коливається в межах від кількох десятків сантиметрів до півтора метра. Глибина проникнення сезонних коливань температури зовнішнього повітря та інтенсивності падаючої сонячної радіації не перевищує, як правило, 15-20 м.

Про температуру ґрунту на різній глибині вдалося виявити лише дані із зарубіжних джерел рисунок 3.3

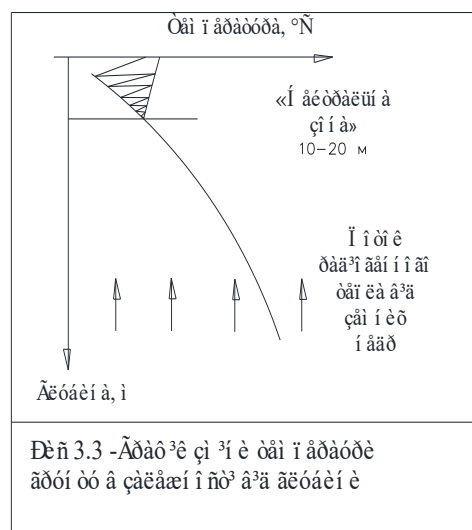


Рисунок 3.4 -Графік зміни температура ґрунту в залежності від глибини

Температурний режим шарів ґрунту, розташованих нижче за цю глибину ("нейтральної зони"), формується під впливом теплової енергії, що надходить із надр землі, і практично не залежить від сезонних, а тим більше - добових змін параметрів зовнішнього клімату. Зі збільшенням глибини температура ґрунту зростає відповідно до геометричного градієнта (приблизно 3 °С на кожні 100 м). Величина потоку радіогенного тепла, що надходить із земних надр, для різних місцевостей різняться. Для Центральної Європи ця величина становить $0.05 - 0.12 \frac{Вт}{м^2}$. Якщо воно не відоме, то зазвичай приймається $0.1 \frac{Вт}{м^2}$.

На глибині понад 8 метрів температура практично постійна протягом року (зміни становлять лише 1/20 змін на поверхні). Довідник ASHRAE пропонує визначати температуру ґрунту за температурою ґрунтових вод у даній місцевості. Якщо виходити з температури ґрунтових вод, то вона коливається в межах 8 - 10 °С для умов України.

Крім «вилучення» тепла Землі, ґрунтові теплообмінники можуть використовуватися і для накопичення тепла (або холоду) в ґрунтовому масиві.

У загальному випадку можна виділити два види систем тепловідбору:

- відкриті системи: як джерело низькопотенційної теплової енергії використовуються ґрунтові води, що підводяться безпосередньо до теплових насосів;
- замкнуті системи: теплообмінники розташовані в ґрунтовому масиві; при циркуляції по них теплоносія з пониженою температурою ґрунту щодо відбувається "добір" теплової енергії від ґрунту і перенесення її з випарника теплового насосу (або, при використанні теплоносія з підвищеною щодо ґрунту температурою, його охолодження).

Основна частина відкритих систем - свердловини, що дають можливість відбирати ґрунтові води з водоносних шарів ґрунту і повертати воду назад в ті ж водоносні шари. Зазвичай для цього влаштовуються парні свердловини.

Перевагою відкритих систем є можливість отримання великої кількості теплової енергії при відносно низьких витратах. Однак свердловини потребують обслуговування. Крім цього, використання таких систем можливо не у всіх місцевостях.

Головні вимоги до ґрунту та ґрунтових вод такі:

- достатня водопроникність ґрунту, що дозволяє поповнювати запаси води;

- хороший хімічний склад ґрунтових вод (наприклад, низька місткість заліза), що дозволяє уникнути проблем, пов'язаних з утворенням відкладень на стінках труб і корозією.

Відкриті системи частіше використовуються для тепло- або холодопостачання великих будинків. Найбільша в світі геотермальна теплонасосна система використовує як джерело низькопотенційної теплової енергії ґрунтові води. Ця система розташована в США, в м. Луїсвілл (Louisville), штат Кентуккі. Система використовується для тепло- і холодопостачання готельно-офісного комплексу, її потужність становить приблизно 10 МВт.

Іноді до систем збору низькопотенційної теплової енергії поверхневих шарів Землі відносять і системи, що використовують низькопотенційної тепло відкритих водойм, природних і штучних. Такий підхід прийнятий, зокрема, в США. Системи, що використовують низькопотенційне тепло водойм, відносяться до відкритих, як і системи, що використовують низькопотенційне тепло ґрунтових вод.

Замкнуті системи, своєю чергою, поділяються на горизонтальні та вертикальні. Горизонтальний теплообмінник встановлюють, як правило, поруч із будинком на невеликій глибині (але нижче рівня промерзання ґрунту в зимовий час). Використання горизонтальних ґрунтових теплообмінників обмежене розмірами наявної площі.

Якщо система з горизонтальними теплообмінниками використовується тільки для отримання тепла, її нормальне функціонування можливе тільки за умови достатніх теплонадходжень з поверхні землі за рахунок сонячної радіації. З цієї причини поверхня вище теплообмінників має бути піддана впливу сонячних променів.

Вертикальні ґрунтові теплообмінники дають змогу використовувати низькопотенційну теплову енергію ґрунтового масиву, що лежить нижче "нейтральної зони" (10-20 м від рівня землі). Системи з вертикальними ґрунтовими теплообмінниками не потребують ділянок великої площі і не

залежать від інтенсивності сонячної радіації, що падає на поверхню. Вертикальні ґрунтові теплообмінники ефективно працюють практично у всіх видах геологічних середовищ, за винятком ґрунтів з низькою теплопровідністю, наприклад, сухого піску або сухого гравію.

Влаштування закритих контурів із вертикальними теплообмінниками дорожче, ніж із горизонтальними теплообмінниками. Водночас контури з горизонтальними теплообмінниками займають більші площі, що може виявитися в деяких випадках вельми критичною умовою. Незважаючи на малу вивченість вертикальних ґрунтових теплообмінників і порівняно невелику історію їх застосування (10-15 останніх років), вони отримують все більше поширення в світовій практиці.

У горизонтальному варіанті теплообмінник займає, як правило, значну площу. Крім того, циркуляція теплоносія у вертикальних теплообмінниках пов'язана зі значно меншими витратами енергії на привід циркуляційних насосів, ніж у горизонтальних теплообмінниках. Але основною перевагою вертикальних теплообмінників є все-таки висока технологічність їх спорудження, що дозволяє створювати ґрунтові теплообмінники практично необмеженої теплової потужності, лімітуються, тільки технологічними можливостями бурового обладнання та вартісними показниками теплообмінника.

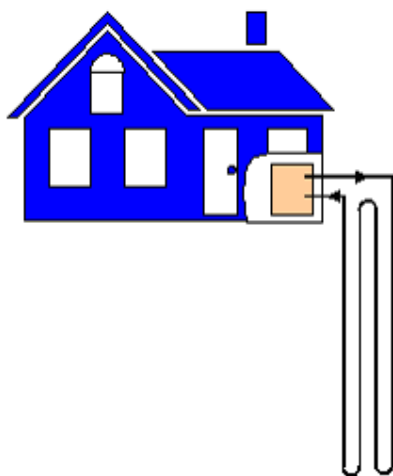


Рисунок 3.5 ГТСТ з вертикальним ґрунтовим теплообмінником

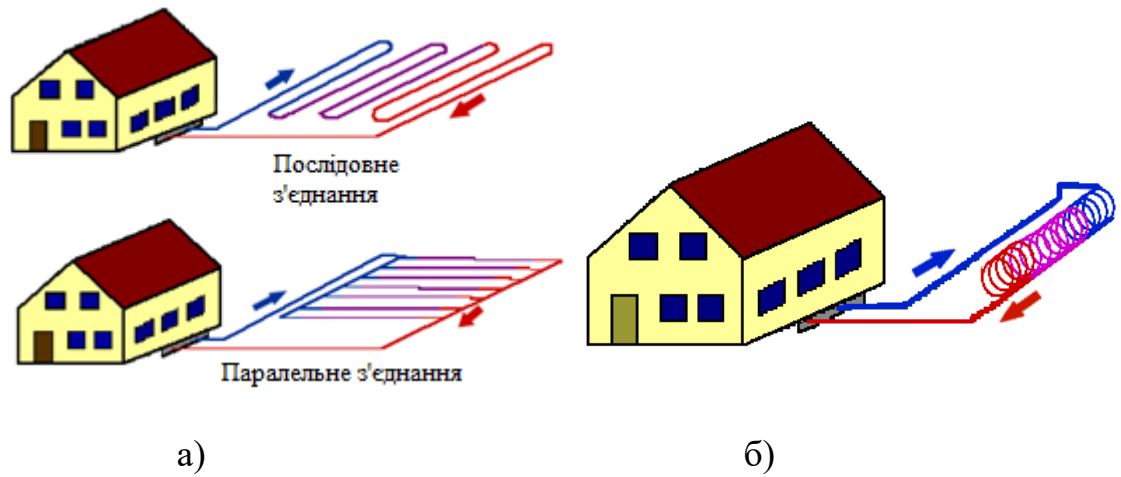


Рисунок 3.6 – Види горизонтальних теплообмінників; горизонтального з паралельним та послідовним з'єднанням (а), та спіральним (б),

При влаштуванні вертикальних ґрунтових теплообмінників теплоносій циркулює по трубах (металевим, поліетиленовим або поліпропіленовим), покладеним у вертикальних свердловинах глибиною від 50 до 200 м.

Як правило, використовується два типи вертикальних ґрунтових теплообмінників (рис. 3.5):

- U-образний теплообмінник, що представляє собою дві паралельні труби, з'єднані в нижній частині. В одній свердловині розташовуються одна або дві (рідше три) пари таких труб. Перевагою такої схеми є відносно низька вартість виготовлення;
- подвійні U-образні теплообмінники - найбільш широко використовується в Європі тип вертикальних ґрунтових теплообмінників;
- коаксіальний (концентричний) теплообмінник. Найпростіший коаксіальний теплообмінник представляє собою дві труби різного діаметру. Труба меншого діаметру розташовується усередині іншої труби. Коаксіальні

теплообмінники можуть бути і більш складних конфігурацій.

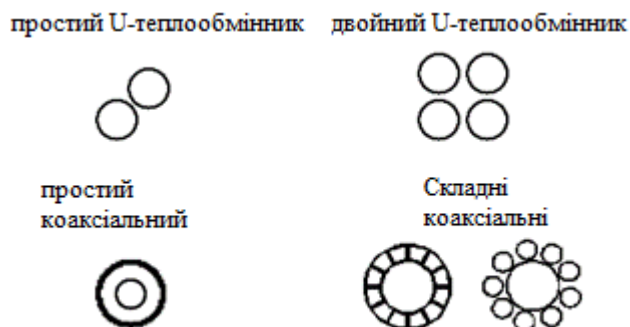


Рисунок 3.7 Переріз різних типів вертикальних ґрунтових теплообмінників

Теплонасосні системи тепло- та холодопостачання з вертикальними ґрунтовими теплообмінниками використовуються для тепло- і холодопостачання будівель різних розмірів. Для невеликого будинку достатньо однієї свердловини, а для великих будівель може знадобитися пристрій цілої групи свердловин з вертикальними теплообмінниками.

Найбільше в світі число свердловин використовується в системі тепло та холодопостачання «Richard Stockton College» в США, в штаті Нью-Джерсі. Вертикальні ґрунтові теплообмінники цього коледжу розташовуються в 400 свердловинах глибиною 130 м кожна.

При влаштуванні вертикальних ґрунтових теплообмінників теплоносій циркулює по трубах (металевим, поліетиленовим або поліпропіленовим), покладеним у вертикальних свердловинах глибиною від 50 до 200 м.

- системи прямого розширення з охолоджувальною рідиною, що випаровується в міру циркуляції в контурі трубопроводу, заглибленого в ґрунт;

- системи з розсільною рідиною, що прокачується трубопроводом, заглибленим у ґрунт.

У горизонтальних ґрунтових теплообмінниках забір тепла з ґрунту здійснюється за допомогою прокладеної в ґрунті системи пластикових труб великої площі. Пластикові труби з поліетилену або поліхлорвінілу укладають у ґрунт на глибину 1,2-1,5 м і, залежно від обраного поперечного перерізу труби, на відстані приблизно 0,5-0,7 м паралельно одна одній, так, щоб на кожен кв. м. площі забору тепла було прокладено приблизно 1,43-2,0 м труб. Тимчасове замерзання ґрунту безпосередньо в зоні пролягання труб (здебільшого в другій половині опалювального сезону) не чинить негативного впливу на працездатність ТН і ріст рослин. Але все ж у зоні проходження труб із розсолем на садових ділянках не рекомендується садити рослини з глибоким корінням. Ґрунтове тепло - це накопичене сонячне тепло, яке переходить у ґрунт завдяки прямому обігріву сонячними променями, передачі тепла від повітря або атмосферних опадів, що випали.

Корисна кількість тепла, і, таким чином, площа необхідної поверхні теплообміну значною мірою залежать від теплофізичних властивостей ґрунту та енергії інсоляції, тобто від кліматичних умов. Термічні властивості, такі як об'ємна теплоємність і теплопровідність, дуже сильно залежать від складу і стану ґрунту. Теплоакумулюючі властивості і теплопровідність тим вищі, чим сильніше ґрунт насичений водою, чим вища частка мінеральних складових і чим менший вміст у ньому пір із повітрям. При цьому потужність з відбору тепла для ґрунту перебуває приблизно між 10 і 35 Вт/м² у разі прокладання труб із кроком близько 0.5...0.7 м. Питомі теплові потоки для різних ґрунтів становлять[6]:

сухий піщаний $q_e = 10-15 \text{ Вт/м}^2$,

сирий піщаний $q_e = 15-20 \text{ Вт/м}^2$,

сухий глинистий $q_e = 20-25 \text{ Вт/м}^2$,

сирий глинистий $q_e = 25-30 \text{ Вт/м}^2$,

водоносний шар $q_e = 30-35 \text{ Вт/м}^2$.

Загалом, теплові насоси розсільного типу мають нижчу продуктивність порівняно з агрегатами першого типу через "подвійний" теплообмін, який відбувається в них (грунт-розсіл, розсіл-холодоагент), та енерговитрати на забезпечення роботи насоса циркуляції розсолу. Хоча, заради справедливості треба зауважити, що обслуговувати такі системи істотно простіше. Температура замерзання розсолу (суміші води й антифризу) має бути близько мінус 15 °С для унеможливлення його замерзання в процесі експлуатації.

Теплова ємність ґрунту варіюється залежно від його вологості та загальних кліматичних умов конкретної місцевості. В силу виробленого відбору тепла під час опалювального сезону його температура знижується. На ділянках із холодним кліматом більша частина енергії витягується у формі латентного тепла, коли ґрунт промерзає. У літній період, однак, під дією сонця температура ґрунту знову піднімається аж до початкової.

Розрахунок ґрунтового теплообмінника. Для виготовлення теплообмінника застосовуємо пластикові труби з зовнішнім діаметром - 60 мм, товщиною стінки 5 мм і коефіцієнтом теплопровідності - $50 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$.

В якості теплоносія обираємо розсіл хлористий натрій з наступними теплофізичними властивостями:

концентрація - 13.6%;

щільність - $1100 \frac{кг}{м^3}$;

теплоємність - $3.588 \frac{кДж}{кг \cdot ^\circ C}$;

коефіцієнт теплопровідності - $0.544 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$;

коефіцієнт кінематичної в'язкості - $1.95 \frac{м^2}{с}$;

критерій Прандтля $Pr = 13.9$;

середня швидкість теплоносія 1,5 м/с.

Число Рейнольдсу:

$$Re_{жс} = \frac{w_{жс} * d_{жс}}{v_{жс}}, \quad (3.21)$$

$$Re_{жс} = \frac{1,5 * 0,05}{1,95 * 10^{-6}} = 3846.$$

Число Нусельта для турбулентного режиму течії рідини ($Re > 2300$, $Pr \geq 0.7$)

$$Nu_{жс} = 0.021 * Re_{жс}^{0,8} * Pr_{жс}^{0,43} \quad (3.22)$$

Число Нусельта:

$$Nu_{жс} = 0.021 * 3846^{0,8} * 13,9^{0,43} = 54.1$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку рідини:

$$\alpha_{жс} = \frac{Nu_{жс} \cdot \lambda_{жс}}{d_{вн}} \cdot \frac{Вт}{м^2 \cdot К}, \quad (3.23)$$

$$\alpha_{жс} = \frac{54.1 \cdot 0.0683}{0.0132} = 279.93, \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку ґрунту приймаємо згідно з рекомендаціями $20 \frac{Вт}{м^2 * К}$.

Лінійний коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{жс} d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}, \quad (3.24)$$

де $k [\frac{Вт}{м \cdot К}]$ - лінійний коефіцієнт теплопровідності; $\alpha_{жс}$ - коефіцієнт теплопровідності з боку теплоносія (росолу) NaCl; α_2 - коефіцієнт теплопровідності з боку ґрунту $\alpha_2 = 15...20 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

d_2 і d_1 - зовнішній і внутрішній діаметр пластикової труби.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{279.93 \cdot 0.5} + \frac{1}{2 \cdot 20} \ln \frac{0.6}{0.5} + \frac{1}{20 \cdot 0.6}} = 10.52.$$

Розрахункова довжина труби ґрунтового теплообмінника

$$L_{mp} = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta T} = \frac{71,972 \cdot 10^3}{10.52 \cdot (8-2)} = 1140 \text{ м.} \quad (3.25)$$

При проектуванні приймаємо подвійний U – подібний теплообмінник, який буде розташований у 5 - тьох свердловинах, довжиною 114 м кожна.

3.4 Вибір та розрахунок активного та пасивного сонячних колекторів

Розрахунок сонячного колектора. Схема сонячного колектора у складі комбінованої теплонасосної системи наведена на рис.3.8.

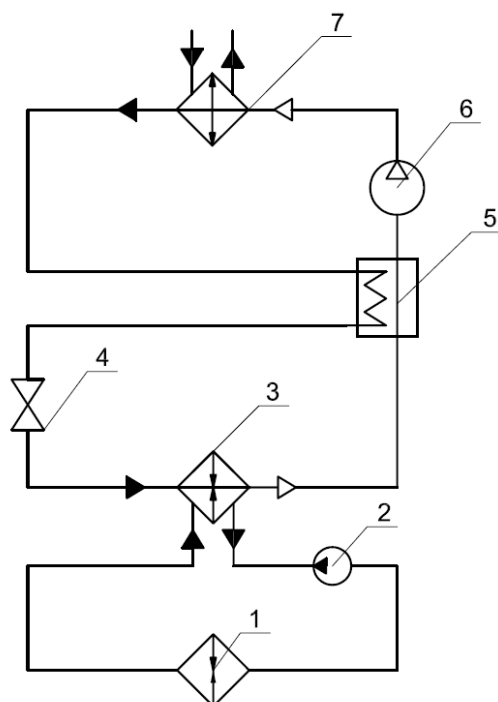


Рисунок 3.8 – Схема сонячного колектору у складі ТНУ: 1 – сонячний колектор; 2 – насос; 3 - випарник; 4 – дросельний вентиль; 5 – регенеративний теплообмінник; 6 - компресор; 7 – конденсатор.

Розрахунок необхідної площі сонячних колекторів ведемо для липня місяця, як для місяця з найбільшою сонячною сумарною радіацією. У розрахунках використовуються розроблені сонячні колектори СК-А .

Вибираємо температуру водопровідної води для липня місяця з Довідника по клімату і температуру навколишнього середовища.

$$T_{х.в.} = 17 \text{ }^{\circ}\text{C}, T_{о.с.} = 28 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.26)$$

По СНіП 2.04.01-85 приймаємо 50 л гарячої води на одну людину в добу. Сумарна кількість:

$$G_{СУТ} = 50 \cdot 480 = 24000 \frac{\text{л}}{\text{сут}} \quad (3.27)$$

Приймаємо $G_{СУТ} = 26000 \frac{\text{л}}{\text{сут}}$, щоб був надлишок про всяк випадок.

Температура гарячої води по СНіП 2.04.01-85 приймається

$$T_{Г.В.} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.28)$$

Визначаємо необхідну площу сонячних колекторів

$$A = \frac{Q_{НОРМ}^{ДОБ}}{\eta \sum_j q_{ПАД_j}}; \quad (3.29)$$

де A – площа сонячних колекторів м^2 ; η – ККД геліосистеми;

$q_{ПАД_j}$ – годинна інтенсивність сонячної радіації (щільність теплового потоку) з найбільшої за період місячної роботи сумарною радіацією, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$Q_{НОРМ}^{ДОБ}$ - нормована кількість теплоти, $\text{ГДж}/\text{доб}$;

$$\begin{aligned} Q_{НОРМ}^{ДОБ} &= C_p \cdot G_{СУТ} \cdot (T_{Г.В.} - T_{Х.В.}) = \\ &= 4,19 \cdot 26000 \cdot (50 - 17) \cdot 10^{-3} = 3595,02 \text{ МДж} \end{aligned} \quad (3.30)$$

де C_p – теплоємність води, $\text{кДж}/\text{кг}^{\circ}\text{C}$.

Для знаходження $\sum_j q_{ПАД_j}$ визначимо кут нахилу колекторів до горизонтальної поверхні:

$$\beta = 45 - 15 = 30^{\circ} \quad (3.31)$$

де 45 – широта місцевості, 15 – коефіцієнт, залежний від широти місцевості, вибирається по [3].

Вибираємо $q_{ПАДj}$ з довідника по клімату, залежне від широти місцевості, часу доби і від кута нахилу колектора до горизонтальної поверхні, і складаємо таблицю 3.4

Таблиця 3.4 – $q_{ПАД}$ для добової роботи в липні

Пар аметр	Години дня									
			0	1	2	3	4	5	6	7
$Q_{ПА}$ д,Вт/м ²	74	60	89	66	96	80	24	32	07	54

$$\sum_j q_{ПАД,j} = 374 + 560 + 689 + 766 + 796 + 780 + 724 + 632 + 507 + 354 = 6182 \quad (3.32)$$

$$\sum_j q_{ПАД,j} \quad \text{- сонячна сумарна добова радіація, Вт/м².}$$

Обчислюємо ККД установки:

$$\eta = 0,8 \left\{ \Theta - \frac{iU [0,5(T_{Г.В} + T_{Х.В}) - T_{О.С.}]}{\sum_j q_{ПАД,j}} \right\} = 0,8 \left\{ 0,73 - \frac{10 \cdot 7,21 [0,5(50 + 17) - 28]}{6182} \right\} = 0,533 \quad (3.33)$$

де Θ – оптичний ККД сонячного колектора;

i – кількість сонячних годин; $T_{О.С.}$ – середня температура повітря в липні, °С; вибирається з довідника по клімату СРСР; U – коефіцієнт теплових втрат в СК.

Обчислюємо площу сонячних колекторів за формулою:

$$A = \frac{3595,02}{0,533 \cdot 22,25} = 303,14 \text{ м}^2$$

приймаємо $A = 304 \text{ м}^2$

Сумарний об'єм баків-акумуляторів

$$V = 0.08 \cdot A = 0.08 \cdot 304 = 24,32, \quad (3.34)$$

де V - об'єм баків-акумуляторів, м^3 .

При проектуванні приймаємо два баки по 13000 л. Визначаємо місячне продуктивність установки, $Q_{\text{ЛИПЕНЬ}}$, ГДж

$$\begin{aligned} Q_{\text{ЛИПЕНЬ}} &= \eta \cdot A \cdot \sum_j q_{\text{ПАД},j} \cdot n_1 = \\ &= 0,533 \cdot 304 \cdot 22,25 \cdot 31 = 111,76 \text{ ГДж} \end{aligned} \quad (3.35)$$

де n_1 – число днів в липні.

Проводимо аналогічний розрахунок для червня і серпня місяців.

З довідника по клімату вибираємо

$$T_{\text{х.в.}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}; T_{\text{о.с.}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{НОРМ}}^{\text{ДОБ}} = 4,19 \cdot 26000 \cdot (50 - 17) \cdot 10^{-3} = 3595,02 \text{ МДж} \quad (3.36)$$

Складаємо таблицю 3.5

Таблиця 3.5 – $q_{\text{ПАД}}$ для добової роботи в червні

Па раметр	Години дня									
			0	1	2	3	4	5	6	7
$q_{\text{ПАД}}$ д,Вт/м ²	91	61	80	53	81	68	16	28	07	56

$$\sum_j q_{\text{ПАД},j} = 6141 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 22,11 \text{ МДж}$$

$$\eta = 0,8 \left\{ 0,73 - \frac{10 \cdot 7,21 \cdot [0,5 \cdot (50 + 16) - 25]}{6141} \right\} = 0,5126 \quad (2.50)$$

Площа геліосистеми колишня – $A = 304 \text{ м}^2$.

$$Q^{\text{ЧЕРВЕНЬ}} = 0.5126 \cdot 304 \cdot 22,11 \cdot 30 = 103,362 \text{ ГДж} \quad (2.51)$$

З Довідника по клімату вибираємо

$$T_{x.v.} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}; T_{o.c.} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (14)$$

$$Q_{НОРМ}^{ДОБ} = 4,19 \cdot 26000 \cdot (50 - 17) \cdot 10^{-3} = 3595,02 \text{ МДж} \quad (2.52)$$

Складаємо таблицю 3.6

Таблиця 3.6 – $q_{ПАД}$ для добової роботи в серпні

Пар аметр	Години дня									
			0	1	2	3	4	5	6	7
$Q_{ПА}$ д, Вт/м ²	09	03	41	25	59	46	90	95	63	99

$$\sum_j q_{ПАД,j} = 5730 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 20,63 \text{ МДж} \quad (2.53)$$

$$\eta = 0.8 \left\{ 0.73 - \frac{10 \cdot 7,21 \cdot [0.5 \cdot (50 + 16) - 25]}{5730} \right\} = 0.504 \quad (2.54)$$

Площа геліосистеми колишня – $A = 304 \text{ м}^2$.

$$Q^{СЕРПЕНЬ} = 0.504 \cdot 304 \cdot 20.63 \cdot 31 = 97,986 \text{ ГДж} \quad (2.55)$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.7

Таблиця 3.7– Порівняння результатів

Параметр	Місяць		
	Червень	Липень	Серпень
$T_{Г.В.}, ^\circ\text{C}$	50	50	50
$T_{Х.В.}, ^\circ\text{C}$	16	17	16
$T_{О.С.}, ^\circ\text{C}$	25	28	25
$Q_{НОРМ}^{ДОБ}, \text{ГДж}$	0,384	0,373	0,384
$\sum_j q_{ПЛАД,j}, \text{Вт/м}^2$	6141	6182	5730
η	0,5126	0,533	0,504
$Q^{МІС}, \text{ГДж}$	103,362	111,76	97,986

Визначаємо сезонне вироблення геліосистеми, що складається з двох модулів, розташованих на даху житлового комплексу

$$Q_{СЕЗОН}^{РОЗРАХ} = Q^{ЧЕРВЕНЬ} + Q^{ЛИПЕНЬ} + Q^{СЕРПЕНЬ} = 103,362 + 111,76 + 97,986 = 313,108 \text{ ГДж}$$



Вакуумний колектор



Панельний плоский колектор

Рисунок 3.9 Два види сонячних колекторів

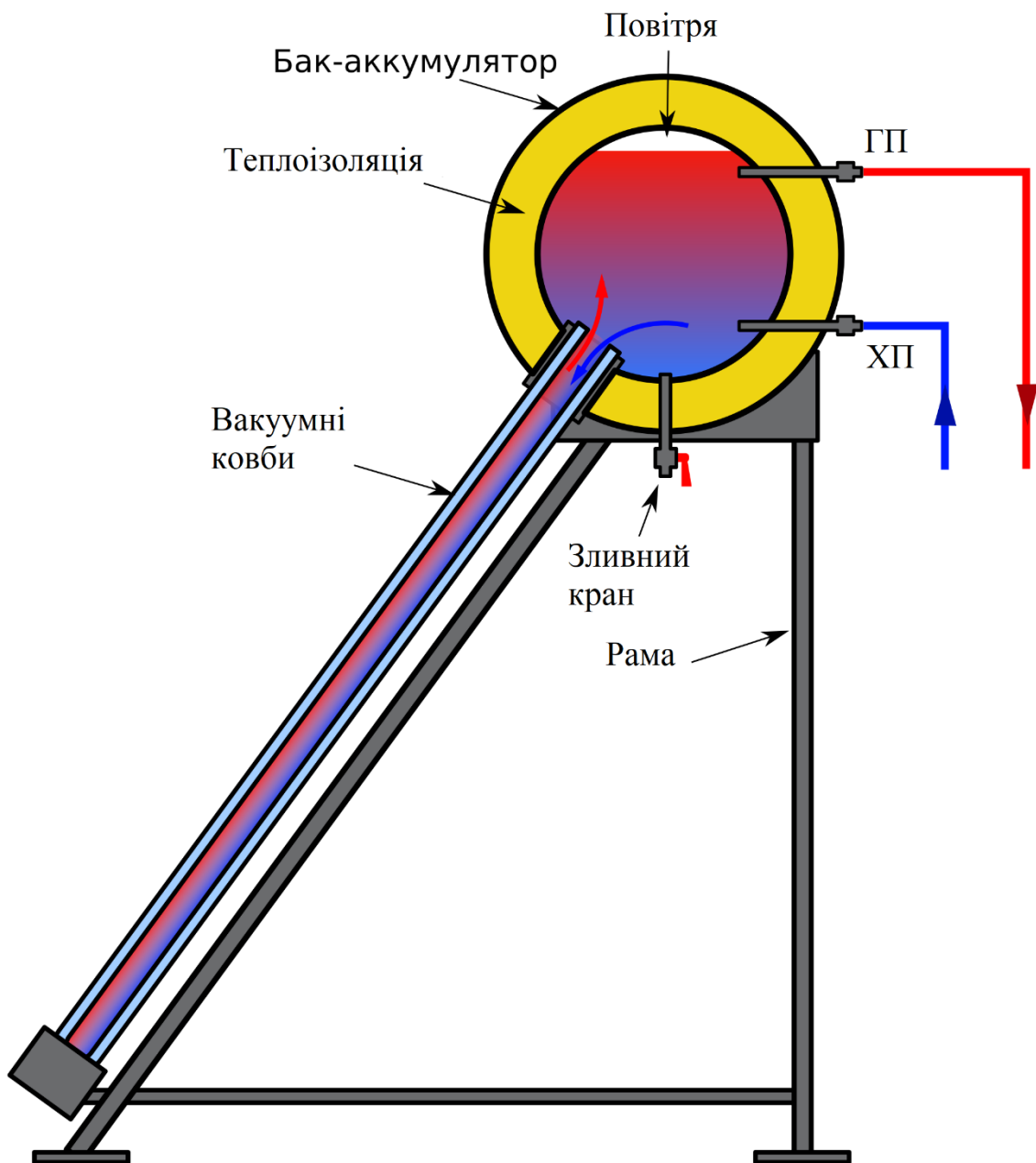


Рисунок 3.10 Пасивна система теплопостачання, на основі вакуумного колектора

Пасивний сонячний колектор, зображений на рисунку 3.6, має наступні компоненти:

- Вакуумні ковби: Це прозорі труби або ковби, які мають високу термальну ізоляцію. Вони створюють вакуумний простір між зовнішнім середовищем і внутрішнім трубчастим абсорбером.

Вакуумний шар допомагає зменшити втрату тепла через конвекцію і проведення.

- Теплоізоляція: Це шар ізоляційного матеріалу, який оточує вакуумні ковби і забезпечує додаткову термічну ізоляцію. Його завдання - зменшити теплові втрати і підвищити ефективність нагрівання.
- Бак-акумулятор: Це резервуар або контейнер, де зберігається нагріта вода. Він може мати інтегровану ізоляцію для збереження тепла. Бак-акумулятор служить для забезпечення постачання гарячої води.
- Повітря: У пасивному сонячному колекторі повітря може бути присутнє в просторі навколо вакуумних ковб або використовуватись для циркуляції.
- ГВ (гаряча вода): Це потік гарячої води, яка подається до використання, наприклад, для водопостачання у будинку.
- ХВ (холодна вода): Це потік холодної води, яка подається в колектор для нагрівання.
- Зливний кран: Це вентиль або кран, який використовується для випуску або дренажу нагрітої води, якщо потрібно виконати обслуговування або регулювання системи.
- Рама: Це конструкція або каркас, на якому розміщуються всі компоненти пасивного сонячного колектора. Рама може бути виготовлена з металу або іншого міцного матеріалу і служить для фіксації та підтримки компонентів.

4. Техніко ексергетичний аналіз та розрахунок собівартості енергетичних потоків

У цьому пункті порівнюємо собівартість тепла нашої комбінованої теплонасосної системи з собівартістю тепла, отриманого від бойлера; порахувати наведені витрати та річну продуктивність тепла.

На даному прикладі можна наочно переконатися, наскільки багатогранним і складним може бути якісний економічний аналіз обґрунтованості впровадження нового агрегату або технічного рішення.

Класифікаційна оцінка різновиду проекту:

клас - монопроект;

тип - технічний;

вид - дослідницько-освітній;

тривалість - довгостроковий;

складність - складний;

рівень - галузевий.

Мета - створення систем опалення та гарячого водопостачання на базі теплового насоса та сонячних колекторів на літній та зимовий період.

Техніко-економічні розрахунки

Розрахунок річної продуктивності комбінованої системи

Річну теплопродуктивність ТНС визначаємо за наступною залежністю:

$$Q^{TNC}_r = Q_h * T * 3600 = (3 \cdot 108) * 7000 * 3600 = 8\,164,8 * 10^6 \text{ кДж / рік} \quad (4.1)$$

Q^{TNC}_r - Річна теплопродуктивність ТНС, кДж.

Q_h - Необхідна розрахункова теплопродуктивність, кВт;

T - кількість годин роботи в рік, год;

3600 - переведення годин в секунди.

При визначенні капітальних вкладень враховуються:

- Вартість обладнання технологічного;
- Вартість монтажних робіт і автоматику.

Розрахунок капітальних вкладень комбінованої теплонасосної системи наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1

Перелік витрат	Кількість	Вартість, грн
Оптимізовані теплові насоси CLIMAVENETA 109 KW WW-НТ 0071 - 0302	3	424480
Монтаж та автоматика	15%	191016
Грунтовий теплообмінник	3	70000
Atmosfera SPK F4M/5,23 м2 модуль (сонячний колектор)	58	31 275
Загальні витрати		3488406

Розрахунок витрат на електроенергію

Річні витрати на електроенергію ТНС:

$$C_{\text{э}}^{\text{ТНС}} = q_{\text{э}}^{\text{ТНС}} \cdot a_{\text{э}} = 274\,806 \cdot 0.25 = 68\,701,5 \text{ грн}, \quad (4.2)$$

де $a_{\text{э}}$ - тариф на 1 кВт * год електроенергії

$q_{\text{э}}$ - річне споживання електроенергії кВт · год;

$$q_{\text{э}} = (3N_{\text{к}}) \cdot T \cdot n \cdot \beta = 0.75 \cdot 0.4 \cdot 7000 \cdot (3 \cdot 43.62) =$$

$$274\,806 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (4.3)$$

Враховується тільки працююче обладнання.

$N_{\text{к}}$ - потужність компресорів, кВт;

n - коефіцієнт використання потужності;

β -коефіцієнт одночасності роботи обладнання.

Розрахунок собівартості тепла

Собівартість МДж тепла теплового насоса розраховуємо за такою формулою:

$$C_{1000}^{\text{ТНС}} = C_{\text{сб}}^{\text{ТНС}} \cdot \frac{1000}{C_{\text{ТНС}}^{\text{р}}} = 68701,5 \cdot \frac{1000}{8164,8 \cdot 10^6} = 0,084 \text{ грн/МДж}, \quad (4.4)$$

де

$C_{1000}^{\text{ТНС}}$ - собівартість МДж тепла теплового насоса;

$C_{\text{сб}}^{\text{ТНС}} = C_9^{\text{ТНС}}$ - річні експлуатаційні витрати електроенергії тепловим насосом.

Розрахунок приведених витрат

Економічно доцільний варіант системи опалення визначається по мінімуму приведених затрат:

$$Z_i = C_i + E_n \cdot K_i$$

Розрахунок наведених витрат для ТНС:

$$Z_{\text{ТНС}} = C_9^{\text{ТНС}} + E_n \cdot K_{\text{ТНС}} = 68701,5 + 0,15 \cdot 3488406 = 591962,4 \text{ грн} \quad (4.5)$$

де $Z_{\text{ТНС}}$ - приведені витрати для теплонасосної системи, грн;

$C_9^{\text{ТНС}}$ - річні експлуатаційні витрати ТНС, грн;

E_n - нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності;

$K_{\text{ТНС}}$ - капітальні вкладення для ТНС, грн.

Для наглядності зведемо дані, по техніко-економічному обґрунтуванню проекту установки на об'єкті дослідження в таблицю 3.3

Таблиця 4.2 – Підсумкові дані по техніко-економічному обґрунтуванню

Техніко-економічні показники	ТНС
1. Теплова продуктивність Q_h , кВт	108
2. Приведені витрати, грн	591962,4
3. Річне споживання електроенергії, кВт·ч/год	274 806
4. Капітальні вкладення, грн	3488406
5. Собівартість ГДж тепла, грн	0,84

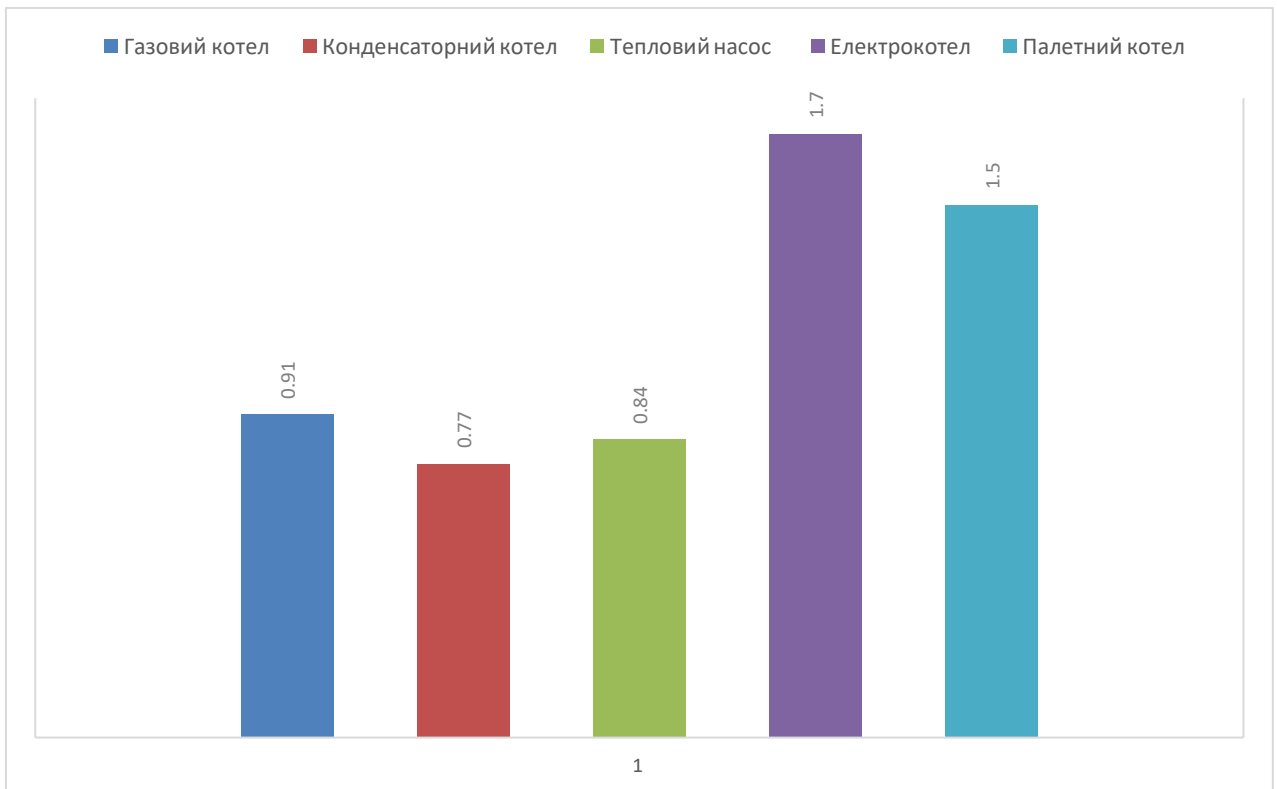


Рисунок 4.1 Порівняння цін за тепло ві різних установках

5. Безпека життєдіяльності та цивільна оборона

Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації робочих приміщень та основного технологічного обладнання забезпечують надійну та безпечну роботу теплового пункту. Для цього виконуються такі вимоги та заходи:

Монтаж основного обладнання виконується відповідно до нормативного документу та проектних рішень. Усі основні планувальні рішення, пов'язані з розміщенням обладнання, враховують вимоги ДБН В.2.5.-39:2008 «Теплові мережі».

Усі трубопроводи, включаючи обладнання та арматуру, ізолюються під час монтажу. Крім того, на трубопроводах позначається напрям руху теплоносія згідно зі схемою.

Компоновка основного та допоміжного устаткування в приміщенні теплового пункту виконана відповідно до нормативного документу та проектних рішень.

Монтажна (ремонтна) площадка передбачена в проекті теплового пункту для забезпечення доступу та обслуговування обладнання.

Розширювальні баки, які працюють під тиском вище 0,07 МПа, відповідають вимогам безпеки.

Кожен водо-водяний підігрівач оснащений штуцерами з запірною арматурою для випуску повітря і спуску води згідно з вимогами.

За проектом передбачена підлога для стоку води з нахилом 0,01 до сторони водозбірного приймка. Мінімальні розміри приймка складають 0,5 x 0,5 м, а його глибина не менше 0,8 м. Приямок повинен бути перекритий знімною решіткою для забезпечення доступу та обслуговування.

Передбачена проектом апаратура, що використовується в тепловому пункті, повинна експлуатуватися відповідно до номінальних значень струму і напруги, визначених у паспортних даних. Для забезпечення безпеки в силовому електроустаткуванні вибрано відповідне устаткування й апарати.

Всі електромонтажні роботи виконуються в суворому відповідності з діючими будівельними нормами, такими як ДБН В.2.5.24-2003 "Електротехнічні устройства. Производство електромонтажних робіт" та Правилами електротехнічної безпеки, з дотриманням норм по охороні праці та техніки безпеки.

Електропостачання всіх технологічних токоприймачів теплового пункту здійснюється від загального щита автоматизації. Підключення цього щита до системи електропостачання та обладнання здійснюється згідно з місцевими вимогами та нормами.

Блок управління насосами включає такі функції: автоматичне відключення циркуляційного насосу при падінні тиску на вході насосу нижче встановленого рівня, можливість ручного управління насосом, автоматичне відновлення роботи насосу після перебою в електропостачанні та інші функції, які детально описані у технічній документації щодо щита автоматизації.

Контролер блоку управління має можливість зв'язку з комп'ютером за допомогою інтерфейсу (RS-232, 485), що дозволяє контролювати та керувати роботою системи з використанням комп'ютерної програми.

Основними споживачами електроенергії в тепловому пункті є електродвигуни насосних установок та джерела штучного освітлення. Електрообладнання живиться від мережі змінного струму з глухо заземленою нейтраллю частотою 50 Гц.

З метою забезпечення безпеки експлуатації електрообладнання теплового пункту та уникнення можливих електротравм проектом його реконструкції передбачено наступні заходи:

Нормально струмоведучі частини електрообладнання ізолюються з опором $R_{зг} \geq 1$ кОм. Допускається експлуатація електроустановок при зниженні опору ізоляції до 0,5 кОм.

Блокуюче та огороджуюче обладнання виконане таким чином, щоб його можна було знімати або відкривати лише за допомогою ключів чи інструментів.

Загальне освітлення забезпечується лампами накаливання, живлення яких здійснюється від трифазної мережі перемінного струму 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю. Висота підвішування ламп складає 3,5 метра.

Для переносного освітлення передбачено мережу розеток з напругою 12 В.

З метою захисту людей від помилкових дій та випадкового дотику до струмоведучих частин, провідники окремих елементів електросхем, таблички та написи позначаються різнокольоровою ізоляцією із вказанням робочих напруг. Також використовуються попереджувальні знаки. Для підключення електроінструменту використовується напруга до 42 В.

З метою захисту людей від ураження електричним струмом та дії електричної дуги, всі установки обладнуються засобами захисту та засобами першої медичної допомоги відповідно до "Правил використання і випробування засобів захисту, які використовуються в електроустановках".

Наявне надійне та швидкодіюче автоматичне відключення частин електрообладнання, які випадково можуть опинитися під напругою, а також пошкоджених частин електромереж."

З метою захисту людей від ураження електричним струмом при переході напруги на неструмовідні частини установок проектом реконструкції теплопункту передбачено наступні заходи:

Занулення всіх корпусів електродвигунів насосів та регулюючих клапанів, оскільки вони можуть бути під напругою при пошкодженні ізоляції[19]. Це дозволяє уникнути небезпеки ураження електричним струмом людей при пробі на корпус обладнання однією з фаз мережі. Занулення забезпечується швидким вимиканням, максимальним струмовим захистом ділянки, на якій виникло замикання на корпус. Пробій на корпус приводить до короткого замикання фази, що включає нульовий провідник,

фазу, фазовий провідник, корпус споживача та нульовий провідник. В такому випадку спрацьовує захист від короткого замикання (автомат зі струмовим захистом), а пошкоджений провідник вимикається від мережі. При цьому дотримуються вимоги Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) - 2006 до схеми занулення, зокрема:

Забезпечується необхідна кратність струму короткого замикання.

Забезпечується цілісність нульового провідника та використання повторних заземлювачів нульового провідника.

Контроль занулення проводиться при вводі в експлуатацію, а перевірка здійснюється кожні 5 років.

У нульовому проводі не дозволяється установка роз'єднувачів та інших приладів розриву електричної мережі.

Забороняється використовувати трубопроводи в якості нульового робочого проводу.

Забезпечення пожежної безпеки - це комплекс організаційних заходів та технічних рішень, спрямованих на запобігання виникненню та поширенню пожежі, а також забезпечення безпеки людей та матеріальних цінностей.

У рамках проекту реконструкції теплового пункту передбачено дотримання низки заходів з пожежної безпеки. Наприклад, встановлення електрообладнання, що відповідає вимогам електростатичної електробезпеки, з метою запобігання пожежі внаслідок спалення електроізоляції кабелів при короткому замиканні або недотриманні правил пожежної безпеки обслуговуючим персоналом.

Для системи протипожежного захисту теплового пункту використовуються пристрої УОТС-11, які працюють з димовими та тепловими датчиками, розташованими на стелі приміщення. Також передбачено наявність первинних засобів пожежогасіння, таких як вогнегасники ОУ-5, ящик з піском, щільна тканина та лопата, які знаходяться біля входу у тепловий пункт.

Крім того, у проекті передбачено використання електродвигунів, електропровідників та кабелів, які відповідають вимогам зони безпеки та мають арматуру для захисту від струму короткого замикання та аварійних режимів. З'єднання, відводи та кінцівки жил проводів виконуються за допомогою опресовки, зварювання або пайки. Стационарне водяне пожежогасіння з пожежними кранами також передбачено для забезпечення безпеки.

Всі ці заходи та технічні рішення спрямовані на забезпечення пожежної безпеки приміщення теплового пункту, запобігання виникненню пожежі та мінімізацію впливу небезпечних факторів пожежі на людей та матеріальні цінності.

Основні висновки

У ході роботи було розглянуто всі альтернативні джерела енергії, які можуть бути використані для теплопостачання житлового комплексу смт. Чорноморське Одеська область. Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для впровадження геліосистем як теплоенергетичного, так і фотоелектроенергетичного обладнання практично на всій території

Біомаса може бути використана для виробництва енергії шляхом спалювання в спеціально розроблених котлах або використання вже існуючих котлів на вугіллі, доповнених системою подачі біомаси. Це дозволяє змішувати біомасу і вугілля всередині котла.

Геотермальна енергія, природне джерело відновлюваної енергії, що знаходиться під землею, вважається стабільним і ефективним альтернативним джерелом для опалення і охолодження, а також надає базове джерело для енергетичної мережі.

Була розроблена комбінована система водо- та теплопостачання у зимовий та літній час, для житлового комплексу розрахованого на 160 квартир(у яких потенційно може проживати 480 осіб). Охолодження приміщення відбувається за рахунок автономних кондиціонерів, які забезпечують індивідуальне кондиціонування повітря у кожному приміщенні.

Розраховано цикл теплового насоса та обрано холодильний агент R-245fa . Для можливості регулювання теплопродуктивності (при зниженні теплового навантаження) використовуються три теплові насоси теплопродуктивність 108кВт. Обрано Маслозаповнений гвинтовий компресор CWD75A.

У розділі техніко-економічне обґрунтування визначено: теплову продуктивність 108кВт; приведені витрати 591962,4 грн; річне споживання електроенергії 274806 кВт·ч/год; Капітальні вкладення 3488406 грн та Собівартість ГДж тепла 0.84 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Безродний М.К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія М.К.Безродний, Н.О. Притула. НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 272 с.
2. Безродний М.К. Енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання. НТУУ «КПІ», 2012. – 208 с.
3. Пуховий І.І. Теплонасосне та безпосереднє використання теплової енергії довкілля і її потенціал в Україні, 92–97 с.
4. Ткаченко С.Й., Остапенко О.П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання. ВНТУ, 2009. – 177с.
5. Арсеньєв В.М., Мелейчук С.С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунків. СДУ, 2018 – 356с.
6. ДБН В. 2.6.-31: 2006 зі зміною №1 від 1 липня 2013 року. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – Чинні від 2007-04-01 – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 70 с
7. Ю. І. Башинська // Організаційно-економічні засади використання потенціалу відновлюваної енергетики в регіоні – Львів, 2017 р.
8. Л.С. Рибченко, Т.О. Ревера// Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні– с. 99-103.
9. П.П. Гаврилко, Р.С. Чорний, Я.В. Шевчук // Розвиток та впровадження сонячної енергетики в домогосподарствах України .
10. Н.В. Язвінська, А.А. Барановська // Особливості ринкового позиціонування продукції для сонячної енергетики України .
11. О. М. Суходоля, А. Ю. Сменковський, А. І. Шевцов, М. Г. Земляний// Стан і перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні – випуск 12, Київ, 2014 р.