НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО
«___»_____20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
освітня програма Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «*Гібридні системи теплозабезпечення житлових будівель на основі теплових насосів***»**
Виконав (-ла): студент (-ка) ІІ курсу, групи ОН-11мн

_____Колодяжна Анастасія Олександрівна ___ _____
(прізвище, ім'я по батькові) (підпис)

Науковий керівник _*к.т.н., доц., Дерев'янко Д.Г.*__ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант *нормоконтроль к.т.н.,доц. Черкашина Г.І.* _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент_____ *д.т.н., професор, Зайченко С.В.*_____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет *Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту*

Кафедра *електропостачання*
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

В.о. завідувача кафедри

_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

«___»_____20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Колодяжній Анастасії Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **«** *Гібридні системи теплозабезпечення житлових будівель на основі теплових насосів* **»**
науковий керівник дисертації *к.т.н., доц. Дерев'янко Д.Г.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від *21 березня 2023 р. №1294-с*
2. Строк подання студентом дисертації *19 травня 2023 року*
3. Об'єкт дослідження Процес побудови гібридних систем для теплозабезпечення житлових будівель.
4. Предмет дослідження Методи побудови гібридних систем теплозабезпечення на основі теплових насосів.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити проаналізувати тенденції впровадження та використання ВДЕ для теплозабезпечення у світі та Україні, гібридні системи теплозабезпечення та їх поширення у світі та Україні та визначено найбільш перспективні технології ВДЕ для потреб теплозабезпечення, виконати співставний аналіз існуючих типів теплових насосів для використання при побудові гібридних систем теплозабезпечення, проаналізуватикритерії вибору типу теплового насосу в залежності від конфігурації гібридної системи теплозабезпечення, розробити алгоритм вибору типу та параметрів теплового насосу для гібридної системи теплозабезпечення теплових будівель та гібридну системи для потреб теплопостачання на основі теплового насосу.

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація – наочні матеріали за результатами дослідження (алгоритми розрахунків та діаграми)

7.Орієнтовний перелік публікацій 1) Дерев`янко Д.Г. Перспективи застосування відновлювальних джерел енергії для теплопостачання громадських і житлових будівель в Україні / Дерев`янко Д.Г., Беспала Н.Г., Богойко І.І., Колодяжна А.О.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2022. – № 2. – С. 41–47. – ISSN 1813-5420. https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2022.261369

2) Дерев`янко Д.Г. Особливості визначення економічних показників доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності / Дерев`янко Д.Г., Колодяжна А.О., Ницун Ю.Г.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2021. – № 2. – С. 87–94. – ISSN 1813-5420. https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2021.247412

8.Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль *к.т.н., доц. Черкашина Г.І.*

9.Дата видачі завдання *13 березня 2023 року*

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Визначення мети, об’єкту, предмету дослідження	13.03.2023 – 19.03.2023	
2	Визначення попередньої структури дисертації	20.03.2023 – 26.03.2023	
3	Огляд літератури та робота над першим та другим розділом дисертації	27.03.2023 – 02.04.2023	
4	Робота над першим розділом	03.04.2023 – 16.04.2023	
5	Робота над другим розділом	17.04.2023 – 23.04.2023	
6.	Робота над третім розділом	24.04.2023 – 30.04.2023	
7.	Оформлення дисертації	01.0.5.2023 – 07.05.2023	
8.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	08.05.2023 – 14.05.2023	
9.	Передзахист МД	15.05.2023 – 19.05.2023	
10.	Захист дисертації	23.05.2023	

Студент _____ А.О. Колодяжна
(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ Д.Г. Дерев’янко
(підпис) (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Гібридні системи теплозабезпечення житлових будівель на основі теплових насосів». Містить 123 сторінок основного тексту, 35 рисунків, 13 таблиць, 30 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Актуальність теми дослідження.

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) привертають значну увагу в усьому світі в останні роки, оскільки країни прагнуть скоротити викиди парникових газів і рухатися до більш сталого енергетичного майбутнього. Забезпечення енергоефективного опалення та гарячої води для житлових будівель стає пріоритетом, а гібридні системи на основі теплових насосів можуть стати ефективним рішенням. Ці системи поєднують в собі переваги відновлювальних джерел енергії та забезпечують зменшення споживання традиційних джерел енергії, що сприяє екологічній сталості та зниженню викидів шкідливих речовин. Дослідження в цій галузі можуть сприяти розвитку нових технологій, підвищенню енергоефективності та сталості енергопостачання в житловому секторі, а також зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності теплопостачання житлових будівель шляхом впровадження гібридних систем опалення на основі теплових насосів.

Для досягнення мети було виконано наступні завдання:

1) Проаналізовано тенденції впровадження та використання ВДЕ для теплозабезпечення у світі та Україні.

2) Проаналізовано гібридні системи теплозабезпечення та їх поширення у світі та Україні та визначено найбільш перспективні технології ВДЕ для потреб теплозабезпечення

3) Виконано співставний аналіз існуючих типів теплових насосів для використання при побудові гібридних систем теплозабезпечення

4) Запропоновано критерії вибору типу теплового насосу в залежності від конфігурації гібридної системи теплозабезпечення.

5) Розроблено алгоритм вибору типу та параметрів теплового насосу для гібридної системи теплозабезпечення теплових будівель.

6) Розраховано гібридну системи для потреб теплопостачання на основі теплового насосу.

Об'єкт дослідження. Процес побудови гібридних систем для теплозабезпечення житлових будівель.

Предмет дослідження. Методи побудови гібридних систем теплозабезпечення на основі теплових насосів.

Методи дослідження

В цій роботі використовуються такі методи, як: літературний аналіз, аналітичні методи для аналізу даних, зокрема для статистичного оброблення результатів експериментів, побудови графіків, порівняння різних варіантів гібридних систем теплозабезпечення та формулювання висновків, моделювання гібридної системи на основі теплового насоса для потреб теплопостачання, економічний аналіз.

Практичне значення результатів полягає в можливості побудови гібридних систем теплозабезпечення для житлових будівель на основі теплових насосів на основі найперспективніших технологій ВДЕ за умови економічної та технічної доцільності функціонування елементів означених систем.

Наукова новизна одержаних результатів:

1) Проведений аналіз тенденцій впровадження та використання ВДЕ для потреб теплозабезпечення у світі та Україні, а також аналіз сучасних гібридних систем теплозабезпечення та співставний аналіз існуючих типів теплових насосів для використання при побудові гібридних систем теплозабезпечення дали змогу визначити критерії вибору типу теплового насосу в залежності від конфігурації гібридної системи теплозабезпечення, що в свою чергу дає змогу формувати структуру гібридних систем теплозабезпечення на основі сучасних найперспективніших технологій ВДЕ при їх побудові.

2) На основі проведеного співставного аналізу існуючих типів теплових насосів, що використовуються при побудові гібридних систем теплозабезпечення

формалізовано критерії вибору типу теплового насосу для гібридних систем в залежності від їх (систем) конфігурації та розроблено спосіб вибору типу та параметрів теплового насосу для гібридної системи теплозабезпечення житлових будівель, який дає змогу в залежності від типу будівлі та можливості використання енергії ВДЕ зконфігурувати оптимальну структуру гібридної системи теплозабезпечення на основі ТН.

Апробація результатів роботи

1. XIV МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА», (Київ, 2-3 червня 2022 рік);

Публікації

1) Дерев`янко Д.Г. Перспективи застосування відновлювальних джерел енергії для теплопостачання громадських і житлових будівель в Україні / Дерев`янко Д.Г., Беспала Н.Г., Богойко І.І., Колодяжна А.О.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2022. – № 2. – С. 41–47. – ISSN 1813-5420.

https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2022.261369

2) Дерев`янко Д.Г. Особливості визначення економічних показників доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності / Дерев`янко Д.Г., Колодяжна А.О., Ницун Ю.Г.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2021. – № 2. – С. 87–94. – ISSN 1813-5420.

https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2021.247412

Ключові слова: ЕНЕРГІЯ, ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ, ГІБРИДНІ СИСТЕМИ, ТЕПЛОВІ НАСОСИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ

.

ABSTRACT

Master's thesis on «Hybrid heat supply systems for residential buildings based on heat pumps». Contains 123 pages of the main text, 35 figures, 13 tables, 30 bibliographic references.

Relevance of the research topic.

Renewable energy sources (RES) have attracted considerable attention around the world in recent years as countries seek to reduce greenhouse gas emissions and move towards a more sustainable energy future. Providing energy-efficient heating and hot water for residential buildings is becoming a priority, and hybrid systems based on heat pumps can be an effective solution. These systems combine the benefits of renewable energy sources and reduce the consumption of traditional energy sources, which contributes to environmental sustainability and emissions. Research in this area can contribute to the development of new technologies, increase energy efficiency and sustainability of energy supply in the residential sector, and reduce the negative impact on the environment.

The purpose and objectives of the study. Purpose and objectives of the study. The aim of the study is to improve the efficiency of heat supply to residential buildings by introducing hybrid heating systems based on heat pumps.

To achieve this goal, the following tasks were performed:

1) Analyze trends in the introduction and use of RES for heat supply in the world and Ukraine.

2) Analyzed hybrid heat supply systems and their distribution in the world and Ukraine and identified the most promising RES technologies for heat supply needs

3) A comparative analysis of existing types of heat pumps for use in the construction of hybrid heat supply systems is performed

4) Criteria for selecting the type of heat pump depending on the configuration of the hybrid heat supply system are proposed.

5) An algorithm for selecting the type and parameters of a heat pump for a hybrid heat supply system for thermal buildings has been developed.

6) A hybrid system for heat supply needs based on a heat pump was calculated.

Object of study. The process of building hybrid systems for heat supply of residential buildings.

The subject of research. Methods of construction of hybrid heat supply systems based on heat pumps.

Research methods

This work uses the following methods: literature analysis, analytical methods for data analysis, in particular for statistical processing of experimental results, graphing, comparing different variants of hybrid heat supply systems and drawing conclusions, modeling a hybrid system based on a heat pump for heat supply needs, economic analysis.

The practical significance of the results lies in the possibility of building hybrid heat supply systems for residential buildings based on heat pumps based on the most promising RES technologies, provided that the elements of these systems are economically and technically feasible.

Scientific novelty of the results:

1) The analysis of the trends in the introduction and use of RES for heat supply in the world and Ukraine, as well as the analysis of modern hybrid heat supply systems and a comparative analysis of existing types of heat pumps for use in the construction of hybrid heat supply systems made it possible to determine the criteria for choosing the type of heat pump depending on the configuration of the hybrid heat supply system, which in turn makes it possible to form the structure of hybrid heat supply systems based on modern most promising technologies

2) Based on a comparative analysis of existing types of heat pumps used in the construction of hybrid heat supply systems, the criteria for selecting the type of heat pump for hybrid systems depending on their (systems) configuration are formalized and a method for selecting the type and parameters of a heat pump for a hybrid heat supply system for residential buildings is developed, which allows, depending on the type of building and the possibility of using RES energy, to configure the optimal structure of a hybrid heat supply system based on the heat pump.

Testing of the results of work

1. XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE "ENERGY. ENERGY. ECOLOGY. HUMAN", (Kyiv, June 2-3, 2022);

Publications

1) Derevyanko D.G. Prospects for the use of renewable energy sources for heat supply of public and residential buildings in Ukraine / Derevyanko D.G., Bespala N.G., Bogoyko I.I., Kolodyazhna A.O. // Energy: Economics, Technology, Ecology. - 2022. - No. 2. - P. 41-47. - ISSN 1813-5420.

https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2022.261369

2) Derevyanko D.G. Features of determining the economic indicators of the feasibility of implementing measures to improve energy efficiency / Derevyanko D.G., Kolodyazhna A.O., Nitsun Y.G. // Energy: Economics, Technology, Ecology. 2021. - No. 2. - P. 87-94. - ISSN 1813-5420.

https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2021.247412

Keywords: ENERGY, HEAT SUPPLY, RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES, HYBRID SYSTEMS, HEAT PUMPS, EFFICIENCY

ЗМІСТ

1 ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВДЕ ТА ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СВІТІ ТА В УКРАЇНІ 16

1.1 ТенденціЇ впровадження та використання ВДЕ у світі та в Україні для потреб теплозабезпечення 16

1.2 Гібридні системи теплозабезпечення та їх поширення у світі та Україні30

1.3 Визначення найбільш ефективних технологій ВДЕ для теплозабезпечення житлових будівель в Україні 43

1.4 Існуючі типи теплових насосів та їх характеристики 58

1.5 Потенціал теплових насосів для теплозабезпечення житлових будівель 72

Висновок 87

2 МЕТОДИКА ВИБОРУ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ДЛЯ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ 89

2.1 Критерії вибору теплового насосу для теплозабезпечення житлових будівель 89

2.2 Алгоритм побудови гібридної системи для теплозабезпечення житлових будівель 93

2.3 Економічні показники для визначення потенціалу гібридних систем на основі теплових насосів 97

Висновок 100

3 ПОБУДОВА ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ НА ОСНОВІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ 102

3.1 Визначення теплового навантаження будівлі 102

3.2 Визначення потенційних джерел тепла гібридної системи 109

3.3 Розрахунок внесок кожного джерела тепла 111

3.4 Визначення оптимальної комбінації джерел тепла 115

3.5 Проектування системи керування..... 116
3.6 Розрахунок економічної ефективності системи..... 117
Висновок..... 118
ВИСНОВКИ..... 119
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 120

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

ГВП – гаряче водопостачання

МЕА – Міжнародне Енергетичне Агентство

ПГ – парникові гази

ТН – тепловий насос

NZE – стратегія «Чисті нульові викиди»

ГТН – грунтовий тепловий насос

GSHP – геотермальний тепловий насос

ASHP – повітряний тепловий насос

COP – коефіцієнт енергетичної ефективності під час роботи на обігрів

EER – коефіцієнт енергетичної ефективності під час роботи на охолодження

SEER – сезонний коефіцієнт енергетичної ефективності під час роботи на охолодження

HSPF – сезонний коефіцієнт ефективності опалення

NPV – чиста приведена вартість

PP – простий період окупності

DPP - дисконтований термін окупності

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) привертають значну увагу в усьому світі в останні роки, оскільки країни прагнуть скоротити викиди парникових газів і рухатися до більш сталого енергетичного майбутнього. Забезпечення енергоефективного опалення та гарячої води для житлових будівель стає пріоритетом, а гібридні системи на основі теплових насосів можуть стати ефективним рішенням. Ці системи поєднують в собі переваги відновлювальних джерел енергії та забезпечують зменшення споживання традиційних джерел енергії, що сприяє екологічній сталості та зниженню викидів шкідливих речовин. Дослідження в цій галузі можуть сприяти розвитку нових технологій, підвищенню енергоефективності та сталості енергопостачання в житловому секторі, а також зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності теплопостачання житлових будівель шляхом впровадження гібридних систем опалення на основі теплових насосів.

Для досягнення мети було виконано наступні завдання:

1) Проаналізовано тенденції впровадження та використання ВДЕ для теплозабезпечення у світі та Україні.

2) Проаналізовано гібридні системи теплозабезпечення та їх поширення у світі та Україні та визначено найбільш перспективні технології ВДЕ для потреб теплозабезпечення

3) Виконано співставний аналіз існуючих типів теплових насосів для використання при побудові гібридних систем теплозабезпечення

4) Запропоновано критерії вибору типу теплового насосу в залежності від конфігурації гібридної системи теплозабезпечення.

5) Розроблено алгоритм вибору типу та параметрів теплового насосу для гібридної системи теплозабезпечення теплових будівель.

6) Розраховано гібридну системи для потреб теплопостачання на основі теплового насосу.

Об’єкт дослідження. Процес побудови гібридних систем для теплозабезпечення житлових будівель.

Предмет дослідження. Методи побудови гібридних систем теплозабезпечення на основі теплових насосів.

Методи дослідження

В цій роботі використовуються такі методи, як: літературний аналіз, аналітичні методи для аналізу даних, зокрема для статистичного оброблення результатів експериментів, побудови графіків, порівняння різних варіантів гібридних систем теплозабезпечення та формулювання висновків, моделювання гібридної системи на основі теплового насоса для потреб теплопостачання, економічний аналіз.

Практичне значення результатів полягає в можливості побудови гібридних систем теплозабезпечення для житлових будівель на основі теплових насосів на основі найперспективніших технологій ВДЕ за умови економічної та технічної доцільності функціонування елементів означених систем.

Наукова новизна одержаних результатів:

1) Проведений аналіз тенденцій впровадження та використання ВДЕ для потреб теплозабезпечення у світі та Україні, а також аналіз сучасних гібридних систем теплозабезпечення та співставний аналіз існуючих типів теплових насосів для використання при побудові гібридних систем теплозабезпечення дали змогу визначити критерії вибору типу теплового насосу в залежності від конфігурації гібридної системи теплозабезпечення, що в свою чергу дає змогу формувати структуру гібридних систем теплозабезпечення на основі сучасних найперспективніших технологій ВДЕ при їх побудові.

2) На основі проведеного співставного аналізу існуючих типів теплових насосів, що використовуються при побудові гібридних систем теплозабезпечення формалізовано критерії вибору типу теплового насосу для гібридних систем в залежності від їх (систем) конфігурації та розроблено спосіб вибору типу та параметрів теплового насосу для гібридної системи теплозабезпечення житлових будівель, який дає змогу в залежності від типу будівлі та можливості використання

енергії ВДЕ зконфігурувати оптимальну структуру гібридної системи теплозабезпечення на основі ТН.

Апробація результатів роботи

1. XIV МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА», (Київ, 2-3 червня 2022 рік);

Публікації

1) Дерев`янко Д.Г. Перспективи застосування відновлювальних джерел енергії для теплопостачання громадських і житлових будівель в Україні / Дерев`янко Д.Г., Беспала Н.Г., Богойко І.І., Колодяжна А.О.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2022. – № 2. – С. 41–47. – ISSN 1813-5420. https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2022.261369

2) Дерев`янко Д.Г. Особливості визначення економічних показників доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності / Дерев`янко Д.Г., Колодяжна А.О., Ницун Ю.Г.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2021. – № 2. – С. 87–94. – ISSN 1813-5420.

1 ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВДЕ ТА ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СВІТІ ТА В УКРАЇНІ

1.1 Тенденції впровадження та використання ВДЕ у світі та в Україні для потреб теплозабезпечення

Системи теплозабезпечення є найбільшим у світі кінцевим споживачем, на які припадає майже половина світового кінцевого споживання енергії. На промислові процеси припадає 53% кінцевого споживання тепла, ще 44% використовується в будівлях для обігріву приміщень і води та, меншою мірою, для приготування їжі. Решта використовується в сільському господарстві, переважно для опалення теплиць.

Відновлювані джерела енергії привертають значну увагу в усьому світі в останні роки, оскільки країни прагнуть скоротити викиди парникових газів і рухатися до більш сталого енергетичного майбутнього. Ось деякі тенденції використання ВДЕ у світі:

– зростання використання ВДЕ для теплопостачання;

Використання ВДЕ для теплопостачання значно зросло за останні роки, особливо в розвинених країнах, де спостерігається тенденція до скорочення викидів вуглецю. За даними МЕА, у 2020 році на відновлювані джерела енергії припадала майже третина світового попиту на тепло у порівнянні з близько 20% у 2000 році.[1]

– розширення використання сонячної теплової енергії;

Сонячна теплова енергія значно зросла, особливо в країнах з високим рівнем сонячного випромінювання, таких як Іспанія та Італія. Сонячні теплові системи можуть забезпечувати гарячу воду та опалення приміщень і стають все більш конкурентоспроможними за вартістю порівняно з традиційними опалювальними системами.

– збільшення використання біомаси для опалення;

Біомаса є значним джерелом відновлюваного теплопостачання, особливо у вигляді дерев’яних пелет. У деяких країнах, таких як Австрія та Фінляндія, на біомасу припадає більше половини всього відновлюваного теплопостачання.

– розвиток геотермальних технологій;

Геотермальна енергія, яка використовує тепло землі, стає все більш популярною для опалення та охолодження будівель. Досягнення в технології буріння свердловин і технології геотермальних теплових насосів зробили її більш економічно ефективною і доступною.

– державне стимулювання та регулювання;

Уряди багатьох країн світу запровадили стимули та нормативно-правові акти для сприяння використанню відновлюваної енергії для теплопостачання. Наприклад, Програма стимулювання відновлюваної теплоенергетики (RHI) у Великій Британії надає фінансову підтримку для встановлення систем опалення з використанням відновлюваних джерел енергії, а Директива ЄС з відновлюваної енергетики встановлює цільові показники частки відновлюваної енергії в опаленні та охолодженні.

– збільшення інвестицій;

Інвестиції у відновлювані джерела енергії зростають у всьому світі. За даними МЕА, у 2020 році глобальні інвестиції у відновлювані джерела енергії перевищили 300 мільярдів доларів США, причому більша частина інвестицій спрямована на проекти сонячної та вітрової енергетики.[1]

– зростання потужностей;

Потужність відновлюваної енергетики також стрімко зростає в останні роки. У 2020 році на відновлювані джерела енергії припадало 72% нових потужностей у всьому світі, причому основний внесок зробили сонячна та вітрова енергетика.

– падіння вартості;

Вартість відновлюваних джерел енергії в останні роки знижується, що робить їх більш конкурентоспроможними порівняно з викопними видами палива. Вартість сонячної та вітрової енергії знизилася більш ніж на 80% з 2010 року, і в багатьох регіонах вони зараз є найдешевшими джерелами нової генерації електроенергії.

– технологічний прогрес;

Технологічний прогрес також відіграв значну роль у зростанні використання відновлюваних джерел енергії. Наприклад, вдосконалення технології акумуляторів дозволило зберігати відновлювану енергію для використання, коли не світить сонце або не дме вітер.

У секторі опалення значною мірою домінують викопні види палива, а відновлювані джерела енергії задовольняють менше чверті світового попиту на тепло у 2021 році (а традиційне використання біомаси становить половину цієї кількості).

На тлі відновлення світової економіки у 2021 році споживання тепла зросло на 4% порівняно з попереднім роком, перевищивши допандемічний рівень і сягнувши рекордних 219 ЕДж. За винятком традиційного використання біомаси, сучасні відновлювані джерела енергії забезпечили лише 13% цього зростання, в результаті чого частка сучасних відновлюваних джерел енергії у світовому споживанні тепла майже не змінилася порівняно з попереднім роком - 11%.

Сучасна біоенергетика зробила найбільший внесок у збільшення споживання тепла з відновлюваних джерел, головним чином завдяки відновленню активності в промисловості, за якою слідує відновлювана електроенергія завдяки прискореному впровадженню теплових насосів у будівлях та промислових секторах. Щорічні викиди CO2, пов'язані з виробництвом тепла, зросли майже на 0,6 Гт CO2 до 14,1 Гт CO2, що становить 39% світових викидів CO2, пов'язаних з енергетикою.

Зростання уваги до відновлюваної теплоенергетики в усьому світі пояснюється не лише екологічними міркуваннями, але й гострими проблемами енергетичної безпеки в контексті нинішньої глобальної енергетичної кризи. Серед основних нещодавніх оновлень політики у сфері теплоенергетики - прийнятий у серпні 2022 року Закон США про зниження інфляції, який виділяє 22 мільярди доларів США (із загальних витрат на енергетику та боротьбу зі зміною клімату, які оцінюються в 369 мільярдів доларів США) на поліпшення енергопостачання в будинках. Закон передбачає значні знижки (до 8 000 доларів США на тепловий насос для опалення приміщень для домогосподарств з низьким та середнім рівнем

доходу) та десятирічну податкову знижку (30%, або до 2 000 доларів США) на теплові насоси, геотермальне опалення та електронагрівальні прилади (наприклад, печі та сушарки для одягу), а також високоефективні печі та котли, що працюють на біомасі.

План REPowerEU, повідомлений у березні та опублікований у травні 2022 року, має на меті зменшити залежність ЄС від російського газу та пропонує переглянути цільовий показник ЄС для відновлюваних джерел енергії в загальному кінцевому споживанні з 40% до 45% до 2030 року в рамках Fit for 55. На додаток до стратегії розвитку сонячної енергетики, він містить положення щодо декарбонізацію промислового сектору шляхом (серед інших заходів) електрифікації використання великомасштабних теплових насосів та водню на основі відновлюваних джерел енергії, а також розгортання інших відновлюваних джерел енергії, в тому числі шляхом інтеграції сонячних теплових і геотермальних технологій у системи централізованого теплопостачання.

План також пропонує сукупне встановлення 10 мільйонів нових гідравлічних теплових насосів протягом п'яти років і 30 мільйонів гідравлічних теплових насосів протягом наступних п'яти років і 30 мільйонів одиниць у секторі будівель до 2030 року. Це означатиме щорічне збільшення кількості гідравлічних теплових насосів в Європейському Союзі більш ніж на 20%. гідравлічних теплових насосів в Європейському Союзі протягом цього десятиліття, починаючи з початкової точки 1,1 мільйона одиниць у 2021 році. Для узгодження з амбіціями плану REPowerEU, поточні переговори щодо перегляду Європейської директиви з відновлюваної енергетики включають пропозиції щодо посилення цілей країн-членів щодо використання відновлюваного тепла у будівлях, промисловості та секторі централізованого теплопостачання.

У листопаді 2022 року Європейська Комісія запропонувала новий тимчасовий надзвичайний регламент для прискорення видачі дозволів на теплові насоси, запровадивши тримісячний термін та спростивши процедуру підключення до електромережі для менших установок.

Тим часом, цілі 14-го п'ятирічного енергетичного плану Китаю до 2025 року, опублікованого в березні 2022 року, включають 20% невикопного палива в енергетичному балансі до 2025 року та 60 мільйонів тонн вугільного еквіваленту (близько 1,8 ЕДж) для неелектричного використання відновлюваних джерел енергії (тобто для опалення та транспорту). Загальний бюджет у розмірі 27,5 млрд юанів буде буде виділено на екологічно чисте опалення та заходи з контролю за забрудненням повітря.[1]

У Чилі Національна стратегія у сфері тепла та холоду до 2021 року має на меті скоротити викиди парникових газів на 40%. у секторі опалення та охолодження до 2030 року і на 65% до 2050 року, а також має на меті на 45% сталої енергії в секторі опалення та охолодження до 2030 року і на 80% до 2050 року. План сприяє використанню відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергії та біомаси, а також проекти централізованого теплопостачання.

Кілька інших країн, включаючи Францію, Данію, Канаду, Великобританію, Люксембург, Австрію та Британія, Люксембург, Австрія та Мальта, також запровадили нові фінансові фінансові стимули для відновлюваного опалення та охолодження або розширили чи посилили з 2021 року, або розширили чи посилили існуючі. Особливу увагу було приділено тепловим насосам, які отримали найбільшу підтримку у вигляді податкових пільг та грантів.

З огляду на політичний ландшафт станом на вересень 2022 року, прогнозується, що глобальне споживання тепла - за винятком тепла навколишнього середовища, що використовується тепловими насосами - зросте майже на 14 ЕДж (+6%) протягом 2022-2027 років. Ця тенденція зумовлена зростанням промислової активності, причому на Китай та Індію припадає 60% зростання попиту на теплову енергію в промисловості, тоді як підвищення енергоефективності дозволяє знизити споживання тепла в будівлях на 4% в усьому світі. Очікується, що традиційне використання біомаси скоротиться більш ніж на 3 ЕДж (-13%) протягом прогнозованого періоду, переважно в Китаї та Індії, частково завдяки впровадженню вдосконалених кухонних плит, що працюють на біомасі.[1]

Очікується, що сучасне споживання тепла з відновлюваних джерел зросте майже на третину протягом 2022-2027 років, що збільшить сучасне використання відновлюваних джерел енергії в теплопостачанні з 11,4% до 14% до 2027 року. Як у промисловості, так і в будівлях, використання відновлюваної електроенергії для опалення робить найбільший внесок у споживання тепла з відновлюваних джерел протягом прогнозованого періоду завдяки поєднанню більшого використання електроенергії для опалення в тому числі за допомогою теплових насосів, та зростання частки відновлюваних джерел енергії в електроенергетиці.[1]

Тим не менш, розвиток відновлюваної теплоенергетики є недостатнім для того, щоб стримувати споживання тепла на основі викопного палива споживання теплової енергії на основі викопного палива, яке зростає в промисловості і призводить до 7% (+1 Гт CO2) зростання загальних річних викидів CO2, пов'язаних з теплом, до 2027 року. Для порівняння, щоб досягти нульових викидів за сценарієм MEA до 2050 року, споживання тепла з відновлюваних джерел має зростати у 2,4 рази швидше, і широкомасштабна зміна поведінки та значно більша енерго- та матеріалоефективність для зменшення попиту на тепло як у будівлях, так і в промисловості(рис.1.1).[1]

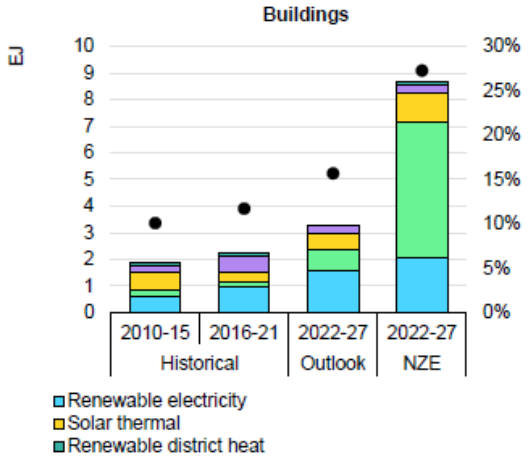
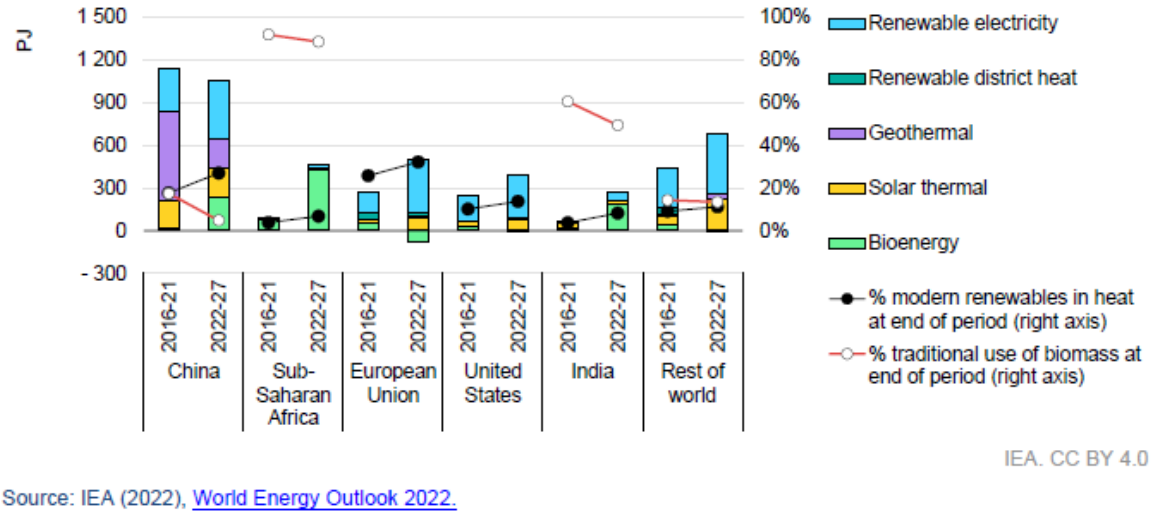


Рисунок 1.1 - Глобальне зростання споживання відновлюваної енергії та її частки у загальному попиті на теплову енергію у будівлях та промисловості, 2010-2027 рр. [1]

Незважаючи на те, що будівельні фонди зростають у всьому світі, глобальне споживання тепла в будівлях (за винятком тепла навколишнього середовища), за

прогнозами, знизиться на 3,6 ЕДж протягом 2022-2027 років. Це скорочення в основному пов'язане зі зменшенням неефективного традиційного використання біомаси (особливо в Китаї). біомаси (особливо в Китаї та Індії), підвищення ефективності будівель та будівель та опалювальних приладів, а також впровадження теплових насосів. Китай та Європейський Союз демонструють найбільше абсолютне скорочення споживання теплової енергії в будівлях, разом складають понад 80% від загального обсягу, за ними йдуть Росія, США та Індія (рис. 1.2).



Source: IEA (2022), World Energy Outlook 2022.

Рисунок 1.2 - Зростання споживання тепла з відновлюваних джерел у секторі будівель та частка відновлюваної енергетики у попиті на тепло, окремі регіони, 2016-2027 рр. [1]

За цей же період сучасне використання відновлюваної енергії в будівлях очікується, що сучасне використання відновлюваного тепла в будівлях зросте майже на 30% (+3,2 ЕДж) у всьому світі, а його частка в загальному споживанні тепла зросте з 12% у 2021 році до зросте з 12% у 2021 році до майже 16% у 2027 році - за винятком тепла навколишнього середовища. тепла навколишнього середовища. Один лише Китай відповідає за третину цього зростання, тоді як країни Африки на південь від Сахари, Європейський Союз та Сполучені Штати разом забезпечують майже 40%.[1]

На Китай, Європейський Союз та Сполучені Штати разом припадає дві третини збільшення використання відновлюваної електроенергії для опалення будівель на 1,6 ЕДж протягом прогнозованого періоду.

У 2021 році Європейський Союз зареєстрував рекордне зростання продажів теплових насосів на 34%, з Францією, Італією, Німеччиною, Іспанією, Іспанією та Швецією, які лідирують у продажах одиниць продукції, в результаті чого загальна кількість до кінця року загальна кількість установок, що експлуатуються в Європі, сягне приблизно 17 мільйонів. [2]

Попит на теплові насоси отримав подальший розвиток у першій половині 2022 року, коли продажі зросли на чверть у Німеччині, на 80% у Фінляндії, на 96% у Польщі та на 114% в Італії (для гідравлічних теплових насосів).

На додаток до високих цін на газ і зростаючого бажання споживачів зменшити залежність від російського газу, очікується, що політична підтримка електричних теплових насосів у Європейському Союзі та США значно стимулюватиме їхнє впровадження на цих ринках. Однак, щоб уникнути вузьких місць і забезпечити кваліфікованими виробничими та монтажними кадрами, необхідна стратегічна координація та надійні, диверсифіковані ланцюги постачання компонентів, а також програми професійної підготовки, що сприятимуть швидкому розширенню ринків.[1,2]

Другим за величиною фактором зростання споживання тепла з відновлюваних джерел у будівлях є сучасне використання біоенергії, на яке припадає майже чверть приросту в прогнозному періоді. Найбільший розвиток у цій сфері очікується в Китаї, Індії та країнах Африки на південь від Сахари, де вдосконалені печі на біомасі витісняють традиційне використання біомаси. На противагу цьому споживання біоенергії на історично великих ринках, таких як Європа і США дещо знижується через підвищення енергоефективності будівель і падіння попиту на теплову енергію.

Після семи років спаду світовий ринок сонячної енергетики відновився у 2021 році, збільшивши площу встановлених колекторів на 3%, що становить 25,6 ГВт нових установок та 21 ГВт чистої потужності. Зростання стало можливим завдяки стабілізації та незначному піднесенню китайського ринку, який є найбільшим на сьогоднішній день, представляючи 83% світових потужностей, а Індія, Туреччина та Бразилія в основному відповідають за решту. У відносному

вираженні, Італія, США, Греція та Польща також пережили значне зростання ринку в порівнянні з попереднім роком.

Малі побутові водонагрівачі є найпоширенішим застосуванням сонячної енергії у світі, за ними йдуть сонячні комбіновані системи. Однак ці технології стикаються зі зростаючою конкуренцією з боку теплових насосів і сонячних фотоелектричних систем у значній частині Європи та Китаю. Прогнозується, що до 2027 року споживання сонячної теплової енергії в секторі будівель зросте майже на 40% (+0,6 ЕДж). [2]

Третина цього зростання припадає лише на Китай, тоді як на Близький Схід, Європейський Союз та США разом - половина. Тим часом, протягом 2022-2027 років очікується збільшення на чверть (+0,3 ЕДж) споживання геотермального тепла в будівлях, причому на Китай припадає понад три чверті нових розробок. Хоча початкові витрати на геотермальні системи опалення, як правило, високі, нещодавні інноваційні методи встановлення підземних теплообмінників можуть знизити їхню вартість, обмеживши при цьому перебої в роботі для споживачів. Разом з розвитком альтернативних бізнес-моделей (наприклад, «тепло як послуга») ці нові методи можуть прискорити розширення використання геотермального тепла.

Важко надати конкретний аналіз тенденцій та використання відновлюваних джерел енергії у світі після російського вторгнення, оскільки вплив цієї події на світові енергетичні ринки та політику все ще розвивається. Але, очевидно, що енергетична безпека європейських країн опинилась під загрозою, оскільки вони залежать від імпорту російського природного газу.

Одним із шляхів досягнення більшої енергетичної безпеки є використання відновлюваних джерел енергії, які можуть зменшити залежність від імпортованого викопного палива та пом'якшити вплив цінових коливань і перебоїв у постачанні. Відновлювані джерела енергії, такі як вітер, сонце, геотермальна енергія та біомаса, можуть забезпечити надійне і передбачуване джерело енергії, яке не залежить від геополітичних ризиків.

В останні роки багато європейських країн вже зробили кроки для збільшення частки відновлюваної енергії у своєму енергетичному балансі в рамках зусиль, спрямованих на досягнення кліматичних цілей. Європейський Союз поставив собі за мету досягти 32% частки відновлюваної енергії в кінцевому енергоспоживанні до 2030 року, в тому числі 14% для відновлюваної теплової енергії.

Важливість енергетичної безпеки, ймовірно, підвищить інтерес до подальшої диверсифікації джерел енергії, в тому числі з більшим акцентом на відновлювану енергетику. Уряди та бізнес можуть більше інвестувати в інфраструктуру відновлюваної енергетики, таку як вітрові та сонячні електростанції, а також у технології зберігання енергії, щоб забезпечити надійне та стабільне енергопостачання. Крім того, заходи з енергоефективності та використання «розумних» мереж і технологій реагування на попит можуть допомогти зменшити споживання енергії та піковий попит.

Не дивлячись на це, російське вторгнення призвело до зростання геополітичної напруженості, що може вплинути на міжнародне співробітництво в галузі відновлюваної енергетики. Це потенційно може сповільнити зростання відновлюваних джерел енергії в деяких регіонах.

Нагальність вирішення проблеми зміни клімату залишається критично важливим фактором зростання відновлюваних джерел енергії, і навряд чи це зміниться після російського вторгнення. Уряди та бізнес по всьому світу поставили перед собою амбітні цілі щодо скорочення викидів парникових газів, і відновлювані джерела енергії є критично важливим компонентом для досягнення цих цілей.

Таким чином, вплив російського вторгнення на використання відновлюваних джерел енергії у світі є складним і багатогранним. Хоча вторгнення спричинило геополітичну напруженість, важливість вирішення проблеми зміни клімату та диверсифікації джерел енергії залишається критично важливим фактором зростання відновлюваної енергетики. Довгостроковий вплив вторгнення на тенденції розвитку відновлюваної енергетики ще належить з'ясувати, але воно

підкреслює важливість енергетичної безпеки та глобального співробітництва у побудові більш сталого енергетичного майбутнього.

Використання ВДЕ в Україні останніми роками стрімко зростає, що зумовлено поєднанням державної політики, технологічного прогресу та зростаючого інтересу інвесторів. Нижче наведено деякі тенденції та аналіз використання ВДЕ в Україні:

– збільшення використання біомаси;

Біомаса є значним джерелом відновлюваного теплопостачання в Україні, особливо у вигляді деревних гранул, тріски та соломи. За даними Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA), на біомасу припадає близько 10% загального кінцевого споживання енергії в Україні, а використання біомаси для виробництва тепла в останні роки зростає.

– зростання використання сонячної теплової енергії;

Сонячна теплова енергія набуває все більшої популярності в Україні, особливо для гарячого водопостачання та опалення приміщень. Країна має високий сонячний потенціал, в середньому 2 000 годин сонячного сяйва на рік, а вартість сонячних теплових систем стає все більш конкурентоспроможною порівняно з традиційними системами опалення.

– розширення використання геотермальної енергії;

Україна має значний потенціал геотермальної енергії, особливо в західному регіоні країни. Розвиток геотермальної енергетики для опалення та охолодження набирає обертів в останні роки, кілька геотермальних проектів вже працюють або перебувають на стадії розробки.

– державні стимули та регулювання;

Український уряд запровадив низку стимулів та нормативно-правових актів для сприяння використанню відновлюваних джерел енергії для теплопостачання, включаючи «зелений» тариф для виробників відновлюваної енергії та закон про сприяння використанню біомаси.

– потенціал вітрової та гідроенергетики;

Україна має значний потенціал вітрової та гідроенергетики, який також може бути використаний для виробництва тепла. Однак розвиток цих джерел відбувається повільніше порівняно з біомасою, сонячною та геотермальною енергією.

Системи централізованого теплопостачання (СЦТ) можуть скласти значну частину у декарбонізації енергетичного сектора, оскільки вони дозволяють інтегрувати ВДЕ в енергетичний комплекс, що є складним завданням на рівні окремої будівлі в міських густонаселених районах. Багато міст активно впроваджують технології ВДЕ у системі централізованого теплопостачання, але сьогодні близько 90% глобального виробництва централізованого тепла все ще залежить від викопного палива [2].

В областях південніше 50° північної широти витрати теплоти на гаряче водопостачання в громадських та житлових будівлях складає приблизно 60%, тому завдяки застосуванню сонячних установок для ГВП можна буде отримати значну економію при відносно невеликих витратах.

Одна з таких найпростіших термосифонних систем дозволяє організувати ефективне гаряче водопостачання у стаціонарних і автономних умовах дачних та житлових будинків, таборах відпочинку, фермах, пасовищах тощо [4]. Також перспективно застосовувати пасивні системи сонячного опалення, в них не використовується спеціальне обладнання, а самі конструкційні елементи будівель та споруджень є приймачами та акумуляторами сонячної енергії. Системи дозволяють у різних кліматичних зонах заощаджувати від 20 до 60 % традиційного палива, що витрачається на опалення. Необхідне підвищення зацікавленості виробників для впровадження і отримання економії паливно-енергетичних ресурсів.

Досить ефективним є також комплексне використання різних джерел енергії – як традиційних, так і нетрадиційних. При врахуванні всіх техніко-економічних аспектів можна досягти помітного зменшення капіталовкладень та заощадження органічного палива. Застосування сонячно-теплопомпової системи

теплопостачання індивідуальних житлових будинків з вакуумними сонячними колекторами забезпечує до 65% енергоспоживання.

На початку 2022 року встановлена потужність об’єктів ВДЕ в Україні досягла 9,5 ГВт (6,4 ГВт – промислові СЕС, 1,2 ГВт – СЕС приватних домогосподарств, 1,5 ГВт – вітроелектростанцій, 0,3 ГВт – об’єкти біоенергетики, 0,1 ГВт – мала гідроенергетика).

На рисунку 1.3 зображено світові тенденції застосування ВДЕ для теплопостачання житлових і громадських будівель, зокрема, в Україні [2,29].

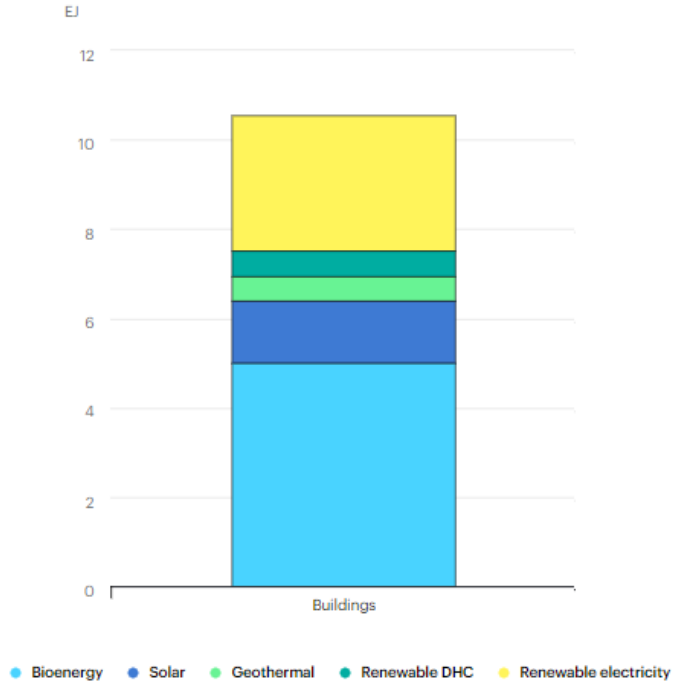


Рисунок 1.3 - Частка різних типів ВДЕ у загальному споживанні теплової енергії будівлями

З рисунку 1.3 видно що найпопулярнішим видом ВДЕ для теплопостачання будівель є біопаливо. Електрична енергія генерована ВДЕ є другою за величиною складовою теплогенерації після біопалива. Використання сонячної енергії займає третє місце та зазвичай використовується для ГВП. [2,29]

Біоенергетика є лідером серед ВДЕ з генерування тепла споживаного в будівлях. Біопаливо використовується в основному в печах і твердопаливних котлах (на дровах та пелетах), а також в мережах централізованого теплопостачання. Слід зазначити, що для останніх, побутові відходи та біомаса становлять найбільшу частку ВДЕ. Близько 11% світового виробництва

електроенергії використовується на опалення будівель електричними обігрівачами, котлами та тепловими насосами. Електрична енергія генерована ВДЕ є другою за величиною складовою ВДТ, котра використовується на опалення в будівлях після біопалива.

Виробництво відновлюваної теплової енергії також доцільно нарощувати за рахунок впровадження геліоколекторів, особливо у південних областях України, де кількість сумарної сонячної радіації складає 1300-1400 квт·год/м2. Технічно-досяжний потенціал сонячної енергії для виробництва тепла становить, за різними оцінками, 14,5-17 млрд квт-год/рік порахували в Держенергоефективності [30]. Теплова енергія сонячної радіації може ефективно використовуватись для гарячого водопостачання і опалення. Що стосується сонячних колекторів, то в зимовий період в більшості регіонів України вони не зможуть повною мірою забезпечити тепловою енергією на потреби опалення. Тому для наших кліматичних зон найбільш прийнятним є застосування теплових насосів

Модернізація енергетичної інфраструктури: Україна має застарілу енергетичну інфраструктуру, і існує потреба в її модернізації та оновленні для підвищення енергоефективності та надійності. Це може включати інвестиції в нові системи передачі та розподілу, а також інтеграцію відновлюваних джерел енергії в енергосистему. Сектор відновлюваної енергетики України продовжить зростати завдяки сприятливій державній політиці та інтересу інвесторів. Зокрема, сонячна та вітрова енергетика були основними напрямками зростання в секторі відновлюваної енергетики України, і країна стала одним з провідних ринків сонячної енергії в Європі. У 2020 році загальна встановлена сонячна потужність України досягла 6 ГВт, що робить її 9-м найбільшим ринком сонячної енергетики у світі. [1]

До вторгнення Україна поставила перед собою амбітні цілі щодо розвитку відновлюваної енергетики, маючи на меті збільшити частку відновлюваних джерел енергії у своєму енергобалансі до 25% до 2035 року. Ця мета відповідала зобов'язанням України за Паризькою угодою про зміну клімату.

В Україні також зростає увага до енергоефективності, що зумовлено занепокоєнням щодо енергетичної безпеки та скорочення викидів парникових газів. Уряд запровадив низку заходів для підвищення енергоефективності в будівлях та промисловості, що може допомогти зменшити попит на енергію та підтримати зростання використання відновлюваних джерел енергії.

Зростання відновлюваної енергетики в Україні відбулося завдяки поєднанню державної політики та інвестицій приватного сектору. Уряд запровадив низку заходів для підтримки розвитку відновлюваної енергетики, включаючи «зелені» тарифи, податкові пільги та спрощені дозвільні процедури. Інвестиції приватного сектору також були ключовим фактором, оскільки як вітчизняні, так і міжнародні інвестори фінансують проекти з відновлюваної енергетики в Україні.

Україна історично залежала від імпорту газу з Росії, але докладаються зусилля для реформування газового сектору країни та зменшення залежності від російського газу. Це може включати інвестиції у внутрішнє виробництво газу та розвідку нових джерел газу, а також заходи з підвищення енергоефективності та скорочення споживання газу.

Загалом, енергетичний сектор України, ймовірно, продовжуватиме зростати і модернізуватися в найближчі роки з акцентом на відновлювані джерела енергії, енергоефективність та зменшення залежності від російського газу. Незважаючи на виклики, спричинені російським вторгненням та конфліктом, що триває, сектор відновлюваної енергетики України, ймовірно, продовжить зростати в найближчі роки. Очікується, що прихильність уряду до відновлюваної енергетики в поєднанні зі зростаючою конкурентоспроможністю сонячної та вітрової енергетики сприятиме подальшому залученню інвестицій у цей сектор. Однак конкретний розвиток подій у секторі залежатиме від низки факторів, зокрема від державної політики, інвестиційних тенденцій та геополітичних подій.

1.2 Гібридні системи теплозабезпечення та їх поширення у світі та Україні

Гібридні системи для потреб теплозабезпечення - це тип системи опалення, яка поєднує два або більше різних джерел тепла для забезпечення будинку або будівлі теплом і гарячою водою.

Найпоширеніша гібридна система опалення(рис. 1.4) поєднує традиційну піч або котел з тепловим насосом. Піч або котел виробляє тепло, використовуючи газ або нафту, тоді як тепловий насос використовує електрику для вилучення тепла із зовнішнього повітря або землі. Комбінація джерел опалення може змінюватися залежно від конкретних потреб і вимог будівлі, а також доступності та вартості різних видів палива.

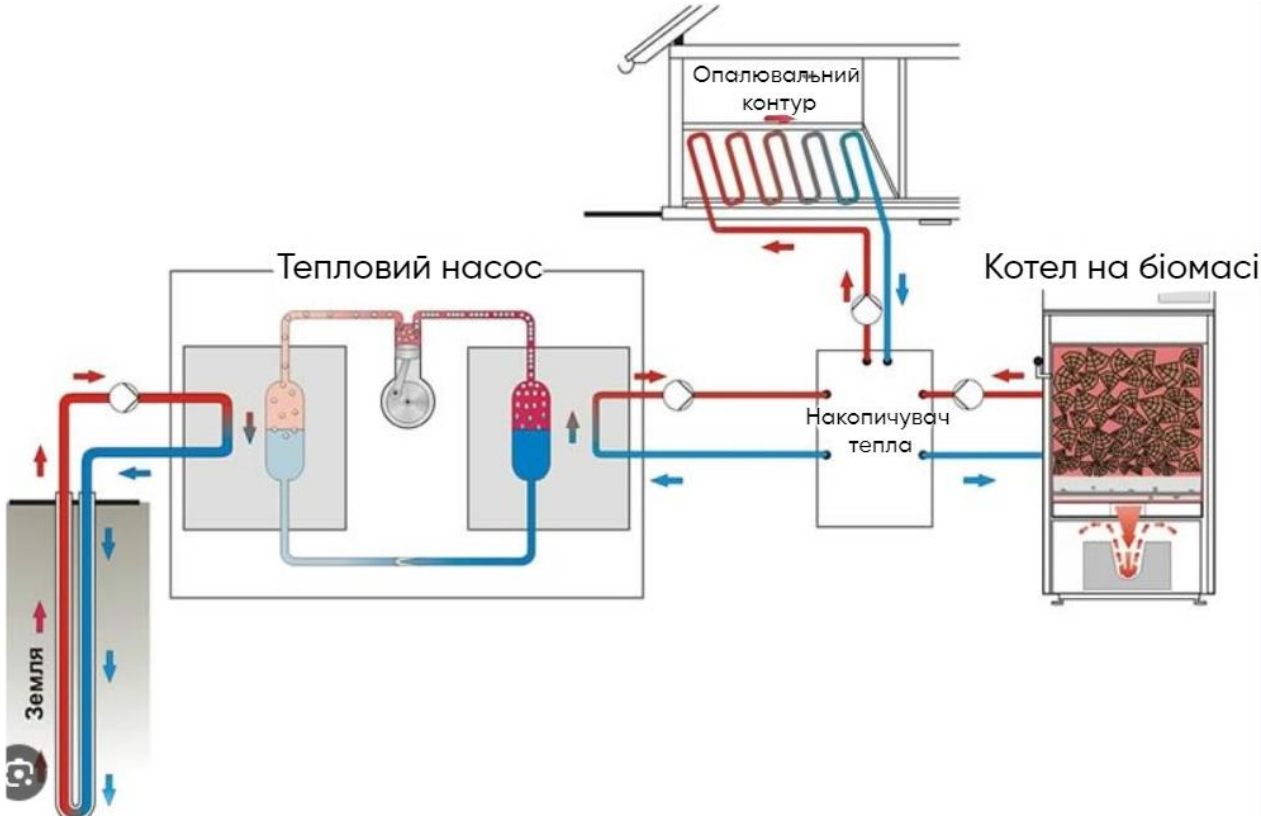


Рисунок 1.4 – Приклад гібридної системи теплозабезпечення на основі котла на біомасі

Наприклад, гібридна система опалення на основі сонячної енергії (рис. 1.5) може використовувати сонячні панелі для виробництва електроенергії та нагрівання води вдень, а надлишок енергії зберігається в акумуляторах або теплових накопичувачах для використання вночі. У разі низької доступності сонячної енергії для забезпечення теплом і гарячою водою може використовуватися резервна система, наприклад, газовий котел.

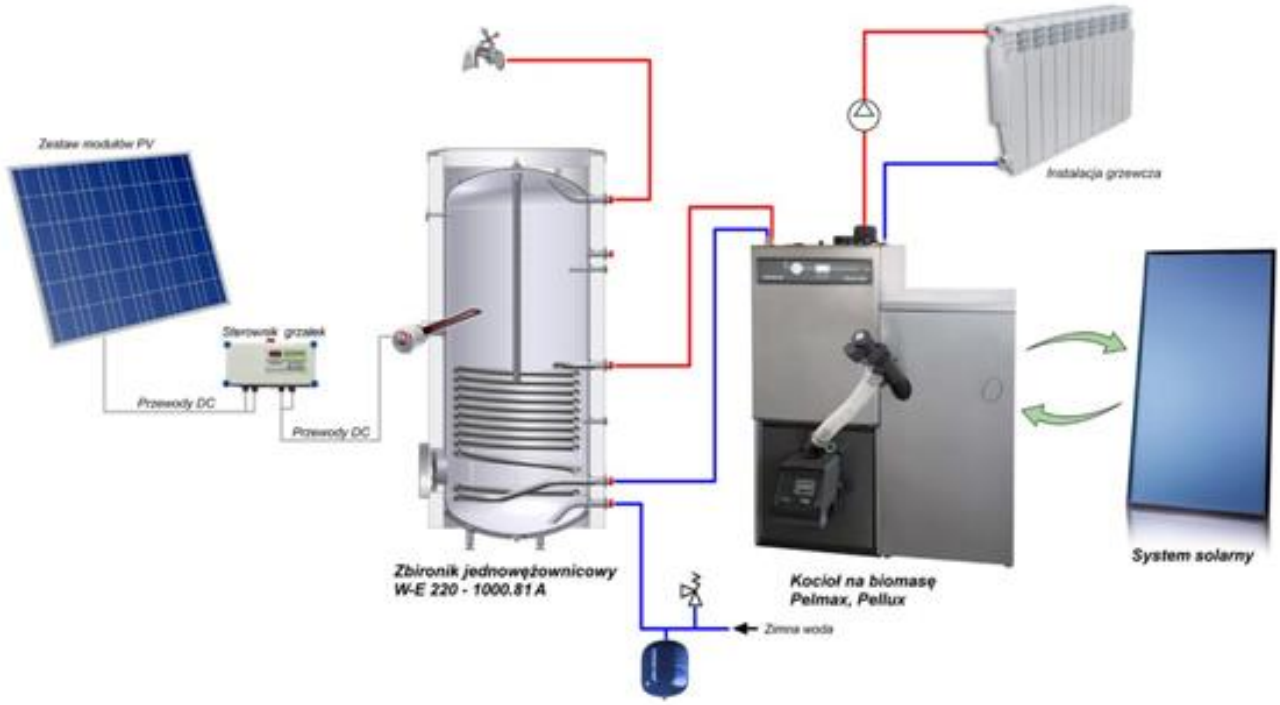


Рисунок 1.5 – Приклад гібридної системи теплозабезпечення на основі сонячної енергії

Перевагами та недоліки гібридної системи опалення наведені у таблиці 1.1:

Таблиця 1.1 - Переваги та недоліки гібридної системи опалення

Переваги	Недоліки
Енергоефективність. Гібридні системи опалення призначені для використання найбільш ефективного та економічно вигідного джерела палива в будь-який момент часу, що може допомогти зменшити споживання енергії та знизити витрати на опалення.	Початкова вартість. Гібридні системи опалення можуть мати вищу початкову вартість порівняно з традиційними системами опалення через витрати на встановлення та потребу в спеціалізованому обладнанні.

Продовження таблиці 1.1

Екологічна стійкість. Гібридні системи опалення можуть зменшити вуглецевий слід будинку або будівлі завдяки використанню відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна енергія або біомаса, які виділяють менше парникових газів, ніж традиційні системи опалення.	Потреба в технічному обслуговуванні. Гібридні системи опалення можуть потребувати більшого обслуговування, ніж традиційні системи опалення, через складність системи та необхідність регулярного обслуговування різних компонентів.
Універсальність. Гібридні системи опалення можна налаштувати відповідно до конкретних потреб будинку або будівлі в опаленні, а також адаптувати до різних кліматичних умов і джерел палива.	Технічна складність. Гібридні системи опалення можуть бути складними і вимагати спеціальних знань для встановлення та обслуговування, що може бути проблемою для деяких домовласників і підрядників.
Надійність. Гібридні системи опалення можуть забезпечити надійне та стабільне опалення навіть за екстремальних погодних умов або перебоїв в електропостачанні.	Залежність від джерел палива. Гібридні системи опалення покладаються на кілька джерел палива, що може бути недоліком, якщо одне з джерел стає недоступним або дорогим.

Гібридна система зазвичай використовує систему управління, яка керує роботою різних джерел опалення, перемикаючись між ними в міру необхідності для оптимізації енергоефективності та економії коштів. Наприклад, коли зовнішня температура помірна, система управління може віддати перевагу відновлюваному джерелу опалення, тоді як у дуже холодну погоду вона може переключитися на традиційне джерело опалення.

Крім забезпечення тепла, гібридні системи теплозабезпечення можуть також використовуватися для забезпечення гарячої води для будинку або будівлі. Багато

гібридних систем включають окремий бак для зберігання гарячої води, який можна нагрівати за допомогою одного або декількох джерел опалення.

Традиційне джерело опалення використовується як основне, а відновлюване - як додаткове. Система призначена для автоматичного перемикання між двома джерелами опалення на основі поточної потреби в енергії та зовнішньої температури, щоб досягти найвищого рівня ефективності та енергозбереження.

Наприклад, у періоди високого попиту на енергію або дуже холодної погоди, традиційна система опалення на викопному паливі буде використовуватися для забезпечення більшої частини тепла. У періоди низького попиту на енергію або більш м'якої погоди, відновлюване джерело опалення може взяти на себе і забезпечити більшу частину тепла, зменшуючи кількість використаної енергії та заощаджуючи гроші на рахунках за електроенергію.

Гібридні системи опалення пропонують гнучкий та ефективний спосіб обігріву будинку або будівлі, одночасно знижуючи витрати на енергію та сприяючи сталому розвитку. Використання відновлюваних джерел енергії може допомогти зменшити вуглецевий слід і сприяти створенню більш екологічного рішення для опалення.

Такі системи є популярним вибором для власників будинків, які хочуть зменшити свої рахунки за електроенергію та вуглецевий слід. Використовуючи тепловий насос, коли зовнішня температура помірна, домовласники можуть скористатися перевагами нижчої вартості та вищої ефективності електричного опалення. А коли температура падає, піч або котел забезпечує надійне опалення, щоб підтримувати комфорт в будинку.

Інші типи гібридних систем опалення можуть поєднувати різні типи відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі або геотермальні системи, з традиційними системами опалення. Ці системи можуть бути складнішими і дорожчими в установці, але вони можуть забезпечити ще більшу економію енергії та екологічні переваги.

Гібридні системи теплозабезпечення стають дедалі популярнішими в усьому світі завдяки їхній здатності зменшувати споживання енергії та викиди вуглецю.

Однак впровадження цих систем значно варіюється залежно від таких факторів, як клімат, ціни на енергоносії та державна політика.

Хоча впровадження гібридних систем опалення в Сполучених Штатах зростає, воно все ще залишається відносно низьким порівняно з іншими країнами, особливо в Європі, де гібридні системи опалення є більш поширеними. За даними Управління енергетичної інформації США, лише близько 2% будинків у Сполучених Штатах використовують гібридні системи опалення, порівняно з 17% у Європі.

Існує кілька причин такої розбіжності. Одна з них полягає в тому, що ціни на енергоносії в США загалом нижчі, ніж в Європі, що може зробити початкові витрати на встановлення гібридної системи опалення менш привабливими для домовласників. Крім того, у Сполучених Штатах спостерігається менша державна підтримка технологій відновлюваного опалення порівняно з деякими європейськими країнами.

Однак є ознаки того, що впровадження гібридних систем опалення в Сполучених Штатах зростає. В останні роки зростає інтерес до енергоефективності та сталості, особливо серед молодих домовласників. Це призвело до збільшення попиту на енергоефективні опалювальні рішення, в тому числі на гібридні системи опалення.

Деякі штати США також вживають заходів для сприяння впровадженню гібридних систем теплозабезпечення та інших технологій відновлюваної енергетики. Наприклад, Каліфорнія запровадила програму під назвою California Clean Energy Incentive, яка передбачає фінансові стимули для встановлення високоефективних систем опалення та охолодження, в тому числі гібридних систем опалення.

Хоча впровадження гібридних систем опалення в Сполучених Штатах все ще залишається відносно низьким порівняно з деякими іншими країнами, є ознаки того, що ситуація змінюється. Оскільки все більше домовласників шукають способи зменшити споживання енергії та вуглецевий слід, гібридні системи

опалення, ймовірно, стануть все більш привабливим варіантом, особливо за підтримки державної політики та стимулів.

У Великій Британії уряд запровадив стимули для заохочення встановлення гібридних систем опалення, такі як «Зелений грант для зелених будинків» та «Програма стимулювання відновлюваної теплоенергетики». Це дві ключові програми у Великій Британії, спрямовані на сприяння впровадженню гібридних систем опалення та інших технологій відновлюваного опалення. Вони надають фінансову підтримку домовласникам, які встановлюють гібридні системи опалення або інші технології відновлюваного опалення.[31]

Програма Зелений грант для зелених будинків, яка була запроваджена у 2020 році, надає фінансову підтримку домовласникам в Англії для проведення енергоефективних модернізацій будинків. Це включає підтримку встановлення гібридних систем опалення, а також утеплення, подвійне скління та інші енергоефективні заходи.[31]

Програма стимулювання відновлюваної теплоенергетики - це довгострокова програма, яка надає фінансову підтримку домовласникам і підприємствам, що встановлюють системи опалення з використанням відновлюваних джерел енергії, в тому числі гібридні системи опалення. Програма передбачає регулярні виплати протягом 7 років, які можуть допомогти компенсувати вищі початкові витрати на встановлення систем опалення з відновлюваних джерел енергії.

Ці програми відіграли важливу роль у сприянні впровадженню гібридних систем опалення у Великій Британії. Згідно зі звітом Фонду енергозбереження, кількість гібридних систем опалення, встановлених у Великій Британії, зросла на 134% у період з 2017 по 2020 рік. [31]

У країнах з холодним кліматом і вищими цінами на енергоносії, таких як Північна Європа і Канада, гібридні системи опалення є більш поширеними. У цих регіонах домовласники більш схильні інвестувати в енергоефективні опалювальні рішення, щоб зменшити свої рахунки за опалення та вуглецевий слід.

Наприклад, у Канаді уряд запровадив грант «Зелені будинки» для заохочення домовласників до енергоефективної модернізації своїх будинків. Програма надає

гранти у розмірі до $5,000 домовласникам для покриття витрат на енергоефективну модернізацію будинку, включаючи встановлення гібридних систем опалення.

Програма є частиною зобов'язань канадського уряду щодо досягнення нульового рівня викидів до 2050 року та скорочення викидів парникових газів від будівель, на які припадає близько 18% викидів у Канаді.

Щоб отримати право на отримання гранту «Зелені будинки», домовласники повинні спочатку провести енергоаудит будинку, який виконує сертифікований консультант з питань енергетики. Аудит визначить сфери, в яких будинок можна зробити більш енергоефективним, і домовласник може використати грант для покриття витрат на рекомендовану модернізацію.

Програма була добре сприйнята домовласниками, і спостерігається значний інтерес до встановлення гібридних систем опалення, які мають право на фінансування в рамках програми. Згідно зі звітом Міністерства природних ресурсів Канади, понад 52 000 домовласників подали заявки на отримання гранту «Зелені будинки» з моменту його запровадження у 2020 році, і понад 22 000 проєктів були завершені або перебувають на стадії реалізації.

Використання гібридних систем опалення добре розвинене в країнах Північної Європи, де вони розглядаються як важлива частина переходу до більш сталої енергетичної системи. Ці країни впровадили низку політик і стимулів, щоб зробити ці системи більш доступними і прийнятними за ціною для домовласників, і в результаті гібридні системи опалення стали широко прийнятим рішенням для опалення будинків у цих країнах.

Так, гібридні системи опалення широко використовуються в Північній Європі, особливо в таких країнах, як Данія, Швеція та Норвегія.

У Данії, наприклад, більше половини всіх будинків користуються централізованим теплопостачанням, яке є формою гібридного опалення, що використовує комбінацію централізованих опалювальних установок та індивідуальних домашніх опалювальних систем. Системи централізованого теплопостачання є високоефективними і часто використовують відновлювані джерела енергії, такі як біомаса та геотермальна енергія.

У Швеції уряд запровадив програму під назвою «Кліматичний стрибок», яка має на меті зробити Швецію вуглецево-нейтральною до 2045 року. В рамках цієї програми уряд надає фінансові стимули для встановлення гібридних систем опалення та інших технологій відновлюваного опалення.

Аналогічно, в Норвегії уряд запровадив низку стимулів для заохочення впровадження гібридних систем опалення та інших технологій з використанням відновлюваних джерел енергії, включаючи податкові пільги та гранти для власників будинків, які встановлюють ці системи.

Гібридні системи опалення не настільки поширені в Африці, як в інших частинах світу. Частково це пов'язано з тим, що в багатьох частинах Африки теплий або спекотний клімат цілий рік, а це означає, що опалення не є настільки пріоритетним, як у більш холодних регіонах.

Однак є деякі частини Африки, де використовуються гібридні системи опалення, особливо в районах, де температура може значно знижуватися протягом зимових місяців. Наприклад, у Південній Африці, де зимові температури можуть опускатися нижче нуля, деякі домовласники встановили гібридні системи опалення, які поєднують електричне опалення з сонячним нагріванням води.

Крім того, деякі комерційні та промислові будівлі в Африці використовують гібридні системи опалення для задоволення своїх потреб в опаленні та охолодженні. Наприклад, в Єгипті є низка готелів і курортів, які використовують гібридні системи опалення та охолодження, що поєднують традиційні системи опалення та охолодження з сонячними панелями.

Гібридні системи опалення набувають популярності в деяких частинах Азії, зокрема в Японії та Південній Кореї. В Японії уряд надає субсидії та податкові пільги домовласникам, які встановлюють теплові насоси та інші технології відновлюваного опалення, включаючи гібридні системи опалення.

Інші країни також впроваджують подібні програми, щоб сприяти впровадженню гібридних систем опалення та інших технологій відновлюваної енергетики.

Загалом, впровадження гібридних систем опалення, ймовірно, продовжить зростати в найближчі роки, оскільки все більше домовласників шукають способи зменшити споживання енергії та вуглецевий слід. Однак темпи впровадження залежатимуть від багатьох факторів, зокрема від державної політики, цін на енергоносії та технологічного прогресу.

Гібридні системи опалення стають все більш популярними в Україні, особливо у відповідь на зростання цін на енергоносії та занепокоєння щодо енергетичної безпеки. Країна має довгий і суворий зимовий сезон, а це означає, що опалення є значною частиною витрат для багатьох домогосподарств і підприємств.

Гібридні системи опалення розглядаються як перспективне рішення, що допоможе зменшити витрати на енергію та підвищити енергоефективність. Ці системи зазвичай поєднують традиційні джерела опалення, такі як газові або масляні котли, з відновлюваними джерелами опалення, такими як сонячні панелі або теплові насоси. Використовуючи відновлювані джерела енергії, гібридні системи опалення можуть допомогти зменшити вуглецевий слід опалення, а також забезпечити економію коштів.

В Україні зростає кількість компаній та організацій, які спеціалізуються на встановленні та обслуговуванні гібридних систем опалення. Український уряд також запровадив низку стимулів та програм для заохочення впровадження технологій відновлюваного опалення, включаючи гібридні системи опалення.

Український уряд запровадив кілька ініціатив для сприяння використанню відновлюваних джерел енергії, зокрема гібридних систем опалення. Однією з таких ініціатив є програма «Теплі кредити», яка надає кредити під низькі відсотки домовласникам для встановлення енергоефективних систем опалення, в тому числі гібридних систем.

Уряд також запровадив схему «зелених» тарифів, яка надає фінансові стимули для встановлення систем відновлюваної енергетики, таких як сонячні панелі та вітрові турбіни. Ця схема дозволяє домовласникам продавати надлишок енергії, виробленої їхніми системами відновлюваної енергетики, назад у мережу, забезпечуючи додаткове джерело доходу.

Український уряд працює над тим, щоб сприяти використанню відновлюваних джерел енергії як способу зменшити залежність країни від викопних видів палива та сприяти сталому використанню енергії. На додаток до програми «теплих кредитів» та схеми «зелених» тарифів, які згадувалися раніше, уряд запровадив кілька інших ініціатив, спрямованих на заохочення впровадження гібридних систем опалення та інших технологій відновлюваної енергетики.

Наприклад, уряд створив програму, яка надає субсидії на встановлення сонячних водонагрівачів, які можна використовувати разом з традиційними системами опалення для забезпечення гарячої води та зменшення витрат на електроенергію. Уряд також запровадив податкові пільги для компаній, які інвестують у технології відновлюваної енергетики, включаючи гібридні системи опалення.

На додаток до цих ініціатив, український уряд поставив собі за мету виробляти 25% енергії в країні з відновлюваних джерел до 2035 року. Ця амбіційна мета демонструє прихильність уряду до просування практики сталої енергетики та скорочення викидів парникових газів.

Ініціативи українського уряду щодо сприяння впровадженню гібридних систем опалення та інших технологій відновлюваної енергетики є позитивним кроком на шляху до більш сталого та енергоефективного майбутнього. Оскільки країна продовжує інвестувати у відновлювану енергетику, цілком ймовірно, що використання гібридних систем опалення стане все більш поширеним в Україні в найближчі роки.

Окрім державних стимулів, в Україні є також кілька приватних компаній, які спеціалізуються на встановленні та обслуговуванні гібридних систем опалення. Ці компанії пропонують широкий спектр послуг, від проектування та встановлення системи до поточного обслуговування та підтримки.

Загалом, хоча впровадження гібридних систем опалення в Україні все ще залишається відносно низьким порівняно з деякими іншими країнами, інтерес до цих технологій та інвестиції в них зростають. Оскільки вартість енергії продовжує зростати, а занепокоєння щодо енергетичної безпеки залишається високим, цілком

ймовірно, що використання гібридних систем опалення та інших технологій відновлюваної енергетики стане все більш поширеним в Україні в найближчі роки.

Існує кілька способів підвищити рівень впровадження гібридних систем опалення в Україні:

– підвищення обізнаності;

Освітні та інформаційні кампанії можуть допомогти поінформувати домовласників, будівельників та підрядників про переваги гібридних систем опалення та їхній принцип роботи. Такі кампанії можуть допомогти проінформувати громадськість про переваги гібридних систем опалення, про те, як вони працюють, і про потенційну економію, якої можна досягти завдяки їхньому використанню.

Ці кампанії можна проводити через різні медіа-канали, такі як телебачення, радіо, друковані ЗМІ та соціальні мережі. Їх також можна проводити на публічних заходах, майстер-класах та семінарах, де домовласники, будівельники та підрядники можуть дізнатися більше про гібридні системи опалення та поставити запитання.

Крім того, партнерство з місцевими організаціями та громадськими групами може допомогти поширювати інформацію та навчати людей про переваги гібридних систем опалення. Наприклад, співпраця з асоціаціями власників житла або громадськими центрами може допомогти охопити ширшу аудиторію та підвищити ефективність інформаційних кампаній.

– державне стимулювання;

Український уряд може надавати фінансові стимули домовласникам, які встановлюють гібридні системи опалення, такі як податкові пільги, знижки та субсидії. Це може допомогти зменшити початкові витрати на встановлення гібридної системи опалення, зробивши її більш доступною та привабливою для домовласників.

Ці стимули можуть бути спрямовані на конкретні групи населення, наприклад, на сім'ї з низьким рівнем доходу, або на конкретні райони, які мають більшу потребу в енергоефективності та сталості. Наприклад, уряд може

запропонувати вищі стимули для будинків у міських районах, де споживання енергії є вищим.

На додаток до фінансових стимулів, уряд може також надавати регуляторну підтримку та допомогу, щоб допомогти домовласникам зорієнтуватися в процесі встановлення. Це може включати надання інформації та рекомендацій щодо наявних продуктів, вимог до встановлення та процедур технічного обслуговування.

– співпрацювати з постачальниками енергії;

Постачальники енергії можуть відігравати ключову роль у просуванні гібридних систем опалення, пропонуючи фінансові стимули, спеціальні цінові плани та інші переваги для клієнтів, які переходять на гібридне опалення. Це може допомогти збільшити попит і створити більш конкурентний ринок гібридних систем опалення.

Енергопостачальники також можуть надавати споживачам інформацію та рекомендації щодо переваг гібридних систем опалення та того, як правильно вибрати систему, що відповідає їхнім потребам. Це може включати надання інформації про наявні продукти, вимоги до встановлення та процедури обслуговування.

Крім того, постачальники енергії можуть співпрацювати з виробниками та дистриб'юторами гібридних систем опалення, пропонуючи комплексні пакети, які включають систему та послуги з монтажу. Це може полегшити споживачам доступ до гібридних систем опалення та їх встановлення, а також допомогти знизити вартість монтажу.

– заохочення стандартів зеленого будівництва»

Заохочення стандартів і кодексів зеленого будівництва може сприяти впровадженню гібридних систем опалення в нових будівельних проектах. Включення вимог до енергоефективних систем опалення, таких як гібридні системи опалення, в будівельні норми і правила може створити рівні умови для всіх і гарантувати, що всі нові будівельні проекти будуть розроблені і побудовані з урахуванням принципів сталого розвитку.

– забезпечити навчання та сертифікацію»

Проведення навчальних та сертифікаційних програм для монтажників, підрядників та технічного персоналу може допомогти забезпечити правильне встановлення та обслуговування гібридних систем опалення. Це може підвищити довіру споживачів до гібридних систем опалення та сприяти їх ширшому впровадженню.

Це гарантує, що ці системи встановлюються та обслуговуються належним чином, зменшуючи ризик виникнення проблем і підвищуючи довіру споживачів до цієї технології.

Крім того, уряд може запропонувати пільги або субсидії для інсталяторів, підрядників і технічного персоналу, які пройшли ці програми навчання та сертифікації. Це може заохотити більшу кількість фахівців отримати кваліфікацію для встановлення та обслуговування гібридних систем опалення, створюючи більшу та більш кваліфіковану робочу силу для цієї технології.

1.3 Визначення найбільш ефективних технологій ВДЕ для теплозабезпечення житлових будівель в Україні

Найбільш ефективна технологія використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для теплопостачання житлових будинків в Україні залежить від різних факторів, таких як місце розташування, клімат, конструкція будівлі, попит на енергію та доступність ресурсів. Однак, виходячи з поточних тенденцій та політики в Україні, можна виділити деякі з найбільш ефективних технологій ВДЕ для теплопостачання житлових будинків:

1.3.1 Сонячна теплова енергія.

Сонячна теплова технологія - це ефективний спосіб уловлювання енергії сонця і використання її для нагріву води та приміщень. Сонце є надзвичайно потужним джерелом енергії, і сонячне світло є найбільшим джерелом енергії, яку отримує Земля, але його інтенсивність на поверхні Землі насправді досить низька. Це пов'язано, головним чином, з величезним радіальним поширенням випромінювання від далекого Сонця. Відносно невелика додаткова втрата відбувається через земну атмосферу і хмари, які поглинають або розсіюють до 54

відсотків сонячного світла, що надходить на Землю. Сонячне світло, яке досягає землі, складається з майже 50 відсотків видимого світла, 45 відсотків інфрачервоного випромінювання і меншої кількості ультрафіолетового та інших форм електромагнітного випромінювання.

Серед найпоширеніших пристроїв, що використовуються для уловлювання сонячної енергії та перетворення її в теплову, є плоскі колектори, які застосовуються для сонячного опалення. Оскільки інтенсивність сонячного випромінювання на поверхні Землі дуже низька, ці колектори повинні мати велику площу. Наприклад, навіть у сонячних частинах помірних регіонів світу колектор повинен мати площу близько 40 квадратних метрів (430 квадратних футів), щоб зібрати достатньо енергії для забезпечення енергетичних потреб однієї людини. [3]

В Україні сонячні колектори можуть використовуватися як для гарячого водопостачання, так і для опалення приміщень. Сонячна теплова енергія особливо ефективна в південних регіонах України, де протягом року багато сонячного світла.

Використання сонячного випромінювання в якості теплової енергії називається сонячним тепловим обігрівом(рис. 1.6) . Його не слід плутати з ефектом фотовольтарики, який полягає в отриманні електричного струму від сонячного світла. Високий рівень можливостей сонячної енергії давно було визнано у світі, а ефективність використання цих технологій, було доведено шляхом досліджень та випробувань.

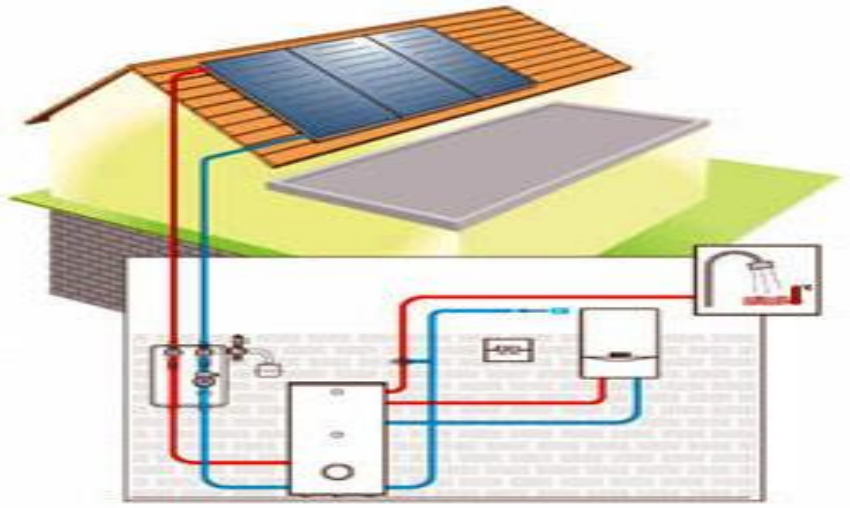


Рисунок 1.6 – Схема роботи сонячного колектора для потреб опалення та ГВП

Переваги сонячної енергії:

– нескінченна кількість безкоштовної енергії;

– відсутність викидів CO_2 під час роботи;

– економія витрат: на 60% менше енергії для нагріву води, на 25% менше енергії для опалення;

– скорочує споживання викопних видів палива;

– сонячну теплову систему можна інтегрувати в існуючі системи.

Сонячні колектори працюють за принципом чорного садового шланга, який лежить на сонці. Поверхня шланга поглинає сонячні промені і, зокрема, теплове випромінювання, нагріваючи при цьому воду, яка в ньому знаходиться. Сонячний нагрів працює таким чином:

1. Колектори за допомогою поглинача (абсорбера) поглинають сонячне світло. У ньому нагрівається особливий рідкий теплоносій.

2. Насос подає рідину на теплообмінник сонячного акумулятора.

3. У ньому теплова енергія передається на акумулюючий бак.

4. При недостатності сонячної радіації для нагріву води, звичайна опалювальна система підігріває акумулюючий бак до встановленої температури.

Сонячна теплова система залежно від конструкції покриває приблизно до 60% енергії необхідної для задоволення потреб у гарячій воді. Крім виробництва гарячої води для побутових потреб нагрітий в колекторах теплоносій може використовуватися для додаткового підігріву системи опалення. Цей метод забезпечує підтримку системи опалення і дає суттєву економію. Таким чином, навіть при помірних температурах, завдяки системі сонячної підтримки, блок нагріву часто може залишатися вимкненим.

Ключовим елементом даного рішення є комбінована буферна ємність у поєднанні зі станцією приготування гарячої води. При достатньому рівні сонячного випромінювання теплоносій, який знаходиться в сонячній системі, нагріває воду в буферній ємності за допомогою теплообмінника, що знаходиться в її нижній частині. У разі зменшення температури, наприклад, через те, що Ви довго

приймаєте душ, вмикається другий нагрівальний контур (наприклад, від газового котла), який здійснює додатковий нагрів води. [4]

Сонячна теплова енергія є перспективним відновлюваним джерелом енергії в Україні, особливо для забезпечення гарячого водопостачання та опалення приміщень. Україна має багаті сонячні ресурси, в середньому 1 500-2 500 годин сонячного сяйва на рік, що робить сонячні теплові системи ефективним та економічно вигідним способом виробництва тепла.

В останні роки Україна активно сприяла розвитку сонячних теплових систем за допомогою різних політичних заходів та ініціатив. У 2017 році український уряд запровадив схему «зеленого» тарифу для відновлюваних джерел енергії, включаючи сонячну теплову енергію. Схема «зеленого» тарифу передбачає фінансові стимули для встановлення сонячних теплових систем зі ставкою тарифу 0,21 євро за кВт-год для систем потужністю до 150 кВт.

На додаток до схеми «зеленого» тарифу, український уряд також впровадив низку інших заходів для сприяння розвитку сонячної теплоенергетики, таких як надання субсидій на встановлення сонячних водонагрівачів у житлових будинках, а також розробка технічних керівництв і стандартів для сонячних теплових систем.

Використання сонячної теплової енергії в Україні все ще перебуває на ранніх стадіях розвитку і має значний потенціал для подальшого зростання. За наявності належної політичної бази та стимулів, сонячна енергія може відігравати важливу роль у задоволенні енергетичних потреб України, одночасно зменшуючи викиди парникових газів та сприяючи енергетичній безпеці.

1.3.2 Опалення на біомасі

Найбільш сучасним паливом в наш час вважається біомаса. Про неї заговорили недавно, навіть, незважаючи на те, що люди протягом століть зігрівалися, спалюючи гілки, дерево або хмиз, іншими словами, справжнісінькою біомасою. Експлуатація біомаси у якості палива вважається привабливою, як з економічної, так і з екологічної точки зору.

Біомаса - являє собою продукт органічного фотосинтезу. Її згоряння не призводить до значної емісії сірчаного газу, а баланс вуглекислоти перебуває на

нульовій позначці - в процесі згоряння біомаси її виділяється стільки, скільки згорілі рослини застосовували раніше під час фотосинтезу. Біомаса, як паливо для опалювальних котлів, в першу чергу, представлена деревами та їх відходами, а також пелетів, соломою та енергетичними рослинами, які вирощуються спеціально для цих цілей.

У домашньому господарстві серед представлених різновидів палива найбільш популярною є деревина. Сюди можна віднести, як колоті, так і різані дрова. Крім того, деревина може пройти додаткову переробку. Як приклад можна назвати брикети, які виготовляються за рахунок пресування подрібненого дерева, деревний пил, що отримується з сировинного висушеного матеріалу, розколотого на частки, а також пелети (невеликі гранули).

Брикети і пеллети не призводять до забруднення навколишнього середовища і згоряють майже повністю. Варто врахувати, що їх попіл можна застосовувати в якості мінерального добрива. За рахунок підвищеної щільності і низького вмісту води вони характеризуються високою тепловіддачею (в порівнянні з непереробленому деревиною). Щоб процес спалювання пелет проходив максимально ефективно, можна використовувати котли, обладнані відповідними пальниками.

Котли на біомасі (рис. 1.7) можуть використовуватися для нагріву води або повітря, а також можуть бути інтегровані в існуючі системи опалення.

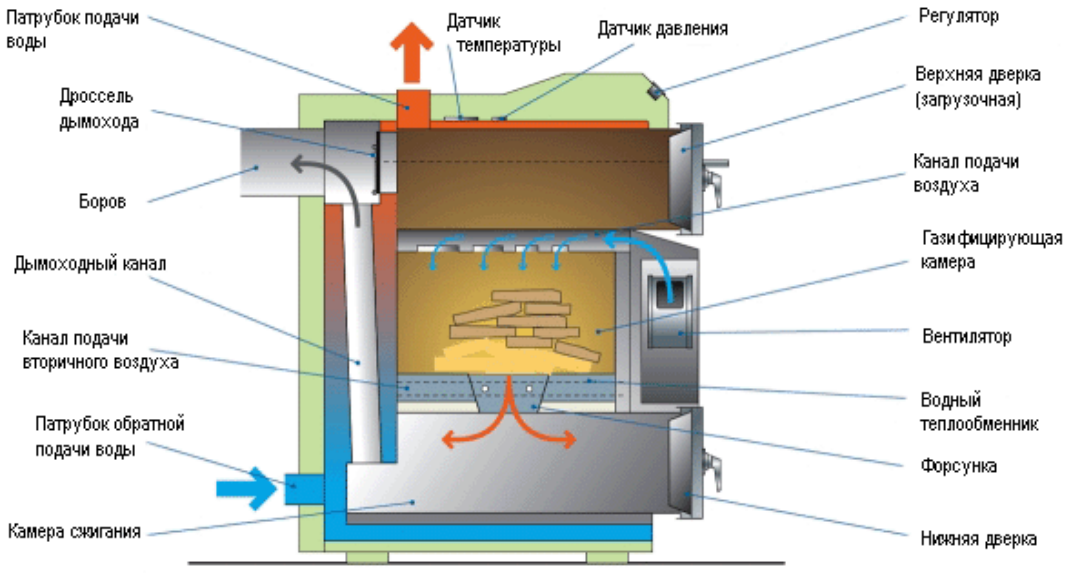


Рисунок 1.7– Схема конструкції котла на біомасі

Опалення на біомасі є ефективним варіантом для будівель, розташованих у сільській місцевості, де є легкий доступ до ресурсів біомаси.

Твердопаливні котли найбільш простої конструкції представлені моделями з верхньою подачею палива. Їх головний «мінус» складається з майже повній відсутності хоч якого-небудь контролю процесу згоряння. У них спалюється абсолютно вся порція завантаженої біомаси. Продукти згоряння відправляються по спеціальному каналу, що знаходиться у верхній частині камери, рухаючись крізь весь обсяг використаного палива. Слід зазначити, що потужність такого котла може змінюватися відповідно до зміни товщини завантаженого палива. Як показує практика, подібні пристрої не дуже пристосовані для спалювання біомаси, оскільки вона згорає вкрай швидко і не надто ефективно - незначна частина тепла віддається опалювальній системі, решта втрачається з димом.

Більш сучасними і вигідними вважаються котли, які характеризуються нижньою подачею палива. Вони придатні для згорання дров та вугілля, а також тирси і різних біоорганічних відходів. Представлені моделі вважаються більш дорогими, ніж прилади з верхньою подачею, однак їх коефіцієнт корисної дії в процесі топки набагато більший, а, відповідно, вони витрачають менше палива і їх придбання виявиться вигіднішим з економічної точки зору.

Котли, які характеризуються нижньою подачею палива, мають дво- а бо трьох тяговою систему камер спалювання, за рахунок чого існує можливість допалювання частинок палива, миттєво випаровується в димар в котлах з верхньою подачею. Їх перевага полягає не просто в більш економному витрачанні палива, а й зниженні різних небезпечних викидів в навколишнє середовище. [5]

Опалення на біомасі є перспективним джерелом відновлюваної енергії в Україні, особливо для сільської місцевості, де є багато біомаси. Системи опалення на біомасі використовують органічні матеріали, такі як деревина, солома та сільськогосподарські відходи для виробництва тепла. Ці матеріали можуть бути використані як паливо для котлів, що забезпечують опалення та гаряче водопостачання житлових, комерційних та промислових будівель.

Використання систем опалення на біомасі в Україні може допомогти зменшити викиди парникових газів та сприяти енергетичній безпеці, зменшуючи залежність від викопних видів палива.

Український уряд активно сприяє розвитку енергетики на біомасі за допомогою різних політичних заходів та ініціатив. У 2017 році уряд запровадив схему «зеленого» тарифу для відновлюваних джерел енергії, включаючи енергію біомаси. Схема «зеленого» тарифу передбачає фінансові стимули для встановлення систем опалення на біомасі за тарифною ставкою 0,12 євро за кВт-год для систем потужністю до 5 МВт.

На додаток до схеми «зеленого» тарифу, український уряд також впровадив інші заходи для просування енергії з біомаси, такі як надання субсидій на встановлення котлів на біомасі в сільській місцевості, а також розробка технічних керівництв і стандартів для систем опалення на біомасі.

Використання систем опалення на біомасі в Україні все ще перебуває на ранніх стадіях розвитку і має значний потенціал для подальшого зростання. За наявності належної політичної бази та стимулів опалення на біомасі може відігравати важливу роль у задоволенні енергетичних потреб України, одночасно зменшуючи викиди парникових газів та сприяючи енергетичній безпеці.

1.3.3 Геотермальне опалення.

Термін «геотермальне» означає «тепло від землі». Геотермальне опалення, або опалення з підземних джерел, як його ще називають, не обов'язково відноситься до природних гарячих джерел, які можна знайти по всій Новій Зеландії. У цих районах вода з гарячих джерел подається безпосередньо в будинки для обігріву.

Геотермальне опалення, про яке ми говоримо, - це передача тепла від землі, яка не є природно гарячою. Ці системи забирають тепло з-під землі за допомогою труб у вертикальній свердловині або серії труб, прокладених горизонтально на глибині кількох метрів під поверхнею, і рідини в трубах, яка передає тепло від землі до приладу, що підвищує температуру до рівня, придатного для опалення будинку (рис. 1.8).

Сонячна енергія поглинається землею протягом року. Захищена від екстремальних спекотних чи холодних температур повітря, земля тут цілий рік зберігає температуру близько 12°C. Тепло, яке ви отримуєте від рідини в трубах у землі, саме по собі не буде достатньо теплим, щоб обігріти будинок. Його необхідно «підвищити» до рівня, необхідного для обігріву будинку за допомогою електричного приладу, відомого як «геотермальний або ґрунтовий тепловий насос». Іншими словами, земля виробляє величезну кількість низькотемпературного тепла, яке тепловий насос перетворює на невелику кількість високотемпературного тепла, придатного для обігріву будинку.

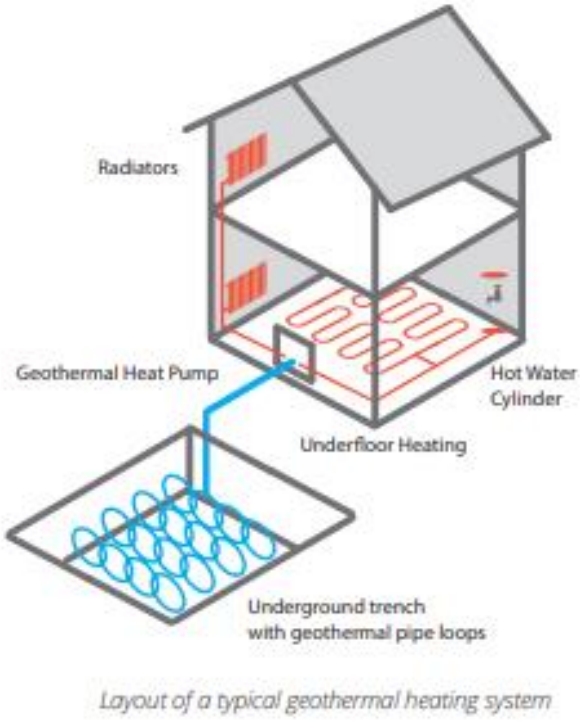


Рисунок 1.8 - Шаблон стандартної геотермальної системи опалення

Геотермальний або ґрунтовий тепловий насос - це електричний прилад, який вичавлює максимальну кількість енергії з одиниці електроенергії. У добре спроектованій системі кожна вкладена одиниця електричної енергії дає до п'яти одиниць теплової енергії, навіть коли температура зовнішнього повітря нижче нуля. Енергія землі доступна в більшості місць, 24 години на добу, 365 днів на рік, що робить її найпотужнішим відновлюваним джерелом енергії з усіх. [6]

Геотермальні системи використовують тепло, що зберігається в землі, для забезпечення опалення та охолодження будівель. В Україні геотермальне опалення

можна використовувати як для житлових, так і для комерційних будівель. Геотермальні системи особливо ефективні в районах зі стабільною підземною температурою, таких як західні регіони України.

Геотермальне опалення є перспективним джерелом відновлюваної енергії в Україні, особливо для забезпечення опалення та охолодження будівель. Україна має значний геотермальний потенціал, з численними гарячими джерелами та геотермальними ресурсами, доступними по всій країні.

В останні роки український уряд активно сприяє розвитку геотермальної енергетики за допомогою різних політичних заходів та ініціатив. У 2017 році уряд запровадив схему «зеленого» тарифу для відновлюваних джерел енергії, включаючи геотермальну енергію. Схема «зеленого» тарифу передбачає фінансові стимули для встановлення геотермальних систем опалення зі ставкою тарифу 0,16 євро за кВт-год для систем потужністю до 5 МВт.

На додаток до схеми «зеленого» тарифу, український уряд також впроваджує інші заходи для просування геотермальної енергії, такі як надання субсидій на встановлення геотермальних систем опалення в житлових будинках, а також розробка технічних керівництв і стандартів для геотермальних систем опалення.

1.3.4 Теплові насоси

Теплові насоси все частіше визнаються критично важливою технологією для декарбонізації тепла, отримуючи все більшу політичну підтримку в ряді країн протягом останніх років. У 2021 році в будівлях по всьому світу експлуатувалося близько 190 мільйонів теплових насосів. Глобальний запас теплових насосів досить стабільно зростав протягом останніх кількох років, особливо на первинних ринках опалення - у Північній Америці, Європі та Північній і Східній Азії. У 2021 році було зареєстровано рекордно високе зростання продажів теплових насосів, зокрема в Європі, Китаї та США; 2022 рік також демонструє перші ознаки позитивного зростання, незважаючи на проблеми в ланцюгах постачання. Окрім кліматичних цілей, енергетична безпека є важливим рушієм для теплових насосів, зокрема, в Європейському Союзі, де у 2022 році зростає політична увага до цього питання. Частково розгортання також зумовлене зростаючим попитом на

охолодження приміщень, який задовольняється за допомогою реверсивних теплових насосів.

Однак теплові насоси все ще задовольняють лише близько 10% глобальної потреби в опаленні будівель, що нижче рівня, необхідного для досягнення сценарію «Чисті нульові викиди до 2050 року». За цим сценарієм, до 2030 року світовий парк теплових насосів досягне близько 600 мільйонів одиниць, що покриватиме щонайменше 20% світових потреб в опаленні. Необхідна подальша політична підтримка та технічні інновації, зокрема, для зменшення початкових витрат на придбання та встановлення, усунення ринкових бар'єрів для комплексної реконструкції, підвищення енергоефективності та довговічності, а також використання потенціалу теплових насосів як засобу інтеграції та гнучкості енергосистеми. [2]

Одним з ефективних заходів щодо економії палива та підвищення рівня захисту навколишнього середовища представляється широке використання теплонасосних установок, які перетворюють природну низькопотенціальну теплоту і теплові відходи в енергію вищого температурного рівня, придатну, зокрема, для систем теплопостачання. [7]

Теплові насоси схожі на холодильники та системи кондиціонування: вони використовують цикл холодоагенту для вилучення дуже низькотемпературного тепла (зазвичай нижче 25 °C) і підвищення його до більш високої температури.

Тепловий насос складається з трьох взаємопов'язаних систем(рис. 1.9):

— Джерело, звідки видобувається тепло, наприклад, повітря або вода;

— Система охолодження, яка покращує/генерує тепло; і

— Система розподілу тепла, яка доставляє тепло до точок використання, наприклад, до радіаторів.

Теплові насоси можуть забезпечувати різні типи систем розподілу тепла. Деякі нагрівають повітря безпосередньо, тоді як інші забезпечують тепло через воду. Ці «вологі системи» зазвичай використовуються для опалення приміщень або гарячого водопостачання. [8]

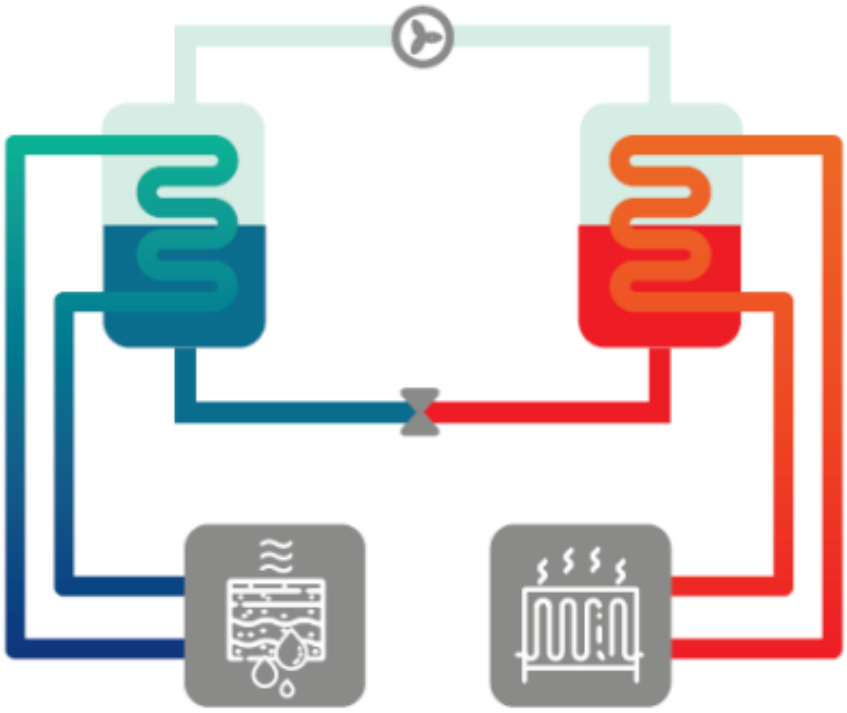


Рисунок 1.9 - Принципова схема теплового насоса

В розробці систем з використанням теплових насосів згідно [9, 10, 11] необхідно враховувати наступне:

– система повинна забезпечувати обґрунтоване значення коефіцієнта перетворення енергії для відповідного низькотемпературного джерела теплоти, значення якого збільшується при зменшенні різниці між температурами теплоносія джерела та теплоносія абонентської системи.

– з теплоенергетичної оцінки очевидно, що слід використовувати низькопотенціальні джерела з вищою температурою, а абонентські системи – з нижчими температурами. Орієнтовно можна вважати, що зниження температури теплоносія для абонентської системи на 1°С веде до збільшення коефіцієнта перетворення приблизно на 2%;

– при проектуванні теплонасосних систем необхідно передбачати такі рішення, за яких сезонний коефіцієнт перетворення був би не менше мінімального нормованого значення;

– температура, а відповідно і тиск в процесі конденсації робочого тіла, повинні враховувати технічні можливості обладнання для забезпечення високої

ефективності роботи всієї системи та необхідний термін служби теплового насоса, зокрема компресора;

– теплонасосну систему розробляють з мінімальною кількістю запусків на годину. Вона повинна відповідати технічним умовам виробника теплового насоса та бути зручною для експлуатації без постійного обслуговування. [7]

Використовуючи електроенергію для утилізації тепла землі, води або повітря, теплові насоси можуть постачати корисне тепло, витрачаючи від третини до п'ятої частини електроенергії, що використовується звичайним електричним обладнанням. Враховуючи національні портфелі виробництва електроенергії на 2021 рік, завдяки використанню теплових насосів замість конденсаційних газових котлів можна було б задовольнити більш ніж чотири п'ятих світового попиту на опалення приміщень та підігрів води з меншими викидами CO2.

Завдяки постійному вдосконаленню енергетичних характеристик теплових насосів та зниженню вуглецевої інтенсивності виробництва електроенергії, це потенційне покриття є значним покращенням у порівнянні з рівнем 2010 року, який становив 50%. Швидке скорочення викидів від електропостачання та підвищення ефективності технологій за сценарієм «чистого нуля» означає, що до 2025 року в усіх регіонах теплові насоси матимуть нижчий рівень викидів CO2, ніж конденсаційні газові котли, що працюють на природному газі (рис. 1.10). [2]

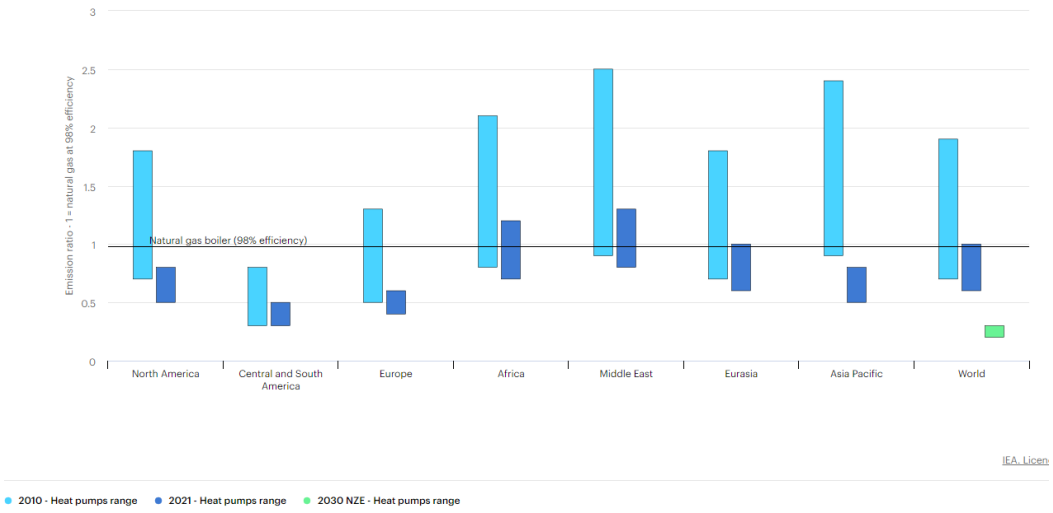


Рисунок 1.10 - Відносні викиди CO2 від роботи повітряних теплових насосів у порівнянні з найефективнішими конденсаційними газовими котлами за регіонами за сценарієм «чистого нуля», 2010-2030 рр.[2]

Теплові насоси та холодильні системи використовують властивості газів. Стискання газу підвищує його температуру. Тепловий насос злегка нагріває газ, а потім стискає його до високого тиску, щоб він був достатньо гарячим, щоб бути корисним. Після того, як він розшириться до початкового тиску, він буде трохи холоднішим, ніж був до стиснення.

Зазвичай тепловий насос, який використовується для опалення, працює за принципом парокомпресійного холодильного циклу. Ця технологія комерційно використовується в холодильниках і кондиціонерах з 1850-х років. Вона складається з чотирьох етапів як показано на рисунку 1.11:

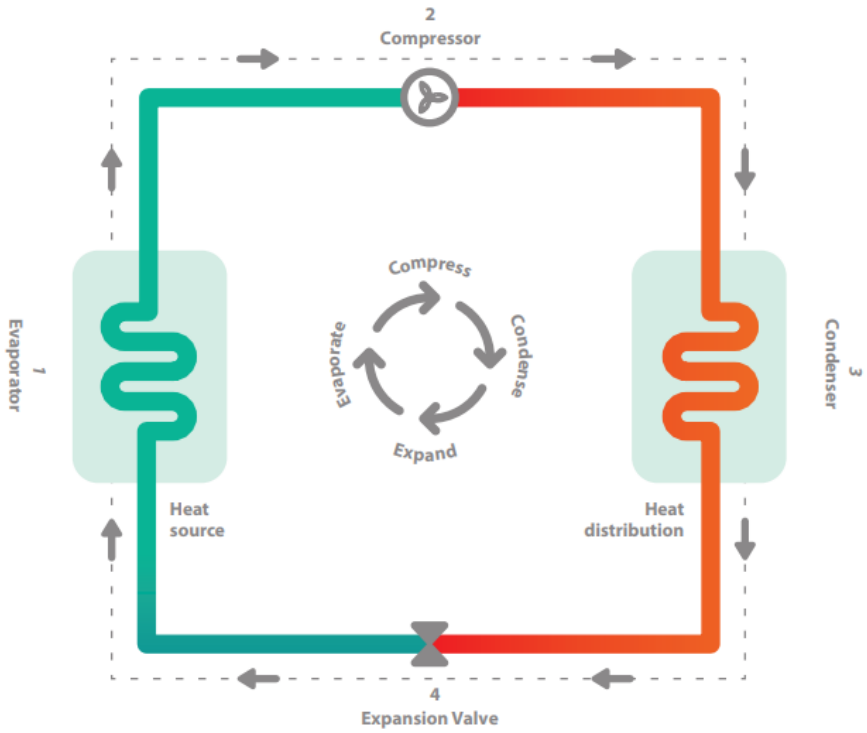


Рисунок 1.11 – Етапи роботи теплового насосу

1. Рідкий холодоагент низької температури і низького тиску проходить через теплообмінник, де він нагрівається приблизно на 5 °C і випаровується з рідини в газ. близько 5 °C і випаровується з рідини в газ. Ця частина теплового насоса називається випарником. Джерелом з якого забирається тепло, може бути повітря, земля або водойма.

2. Потім газ стискається в компресорі до високого тиску. У цей момент газ досягає набагато вищої температури (див. Малюнок 2: Залежність між температурою і тиском для звичайного газу-холодоагенту).

3. Гарячий газ проходить через теплообмінник, який передає тепло в систему розподілу. При цьому газ трохи охолоджується (приблизно на 5 °C). Більш низька температура змушує газ конденсуватися, і рідкий холодоагент рухається до розширювального клапана. Ця частина теплового насоса називається конденсатором.

4. Потім теплий рідкий холодоагент розширюється до більш низького тиску. Це падіння тиску призводить до зниження температури, і цикл починається знову. знижується, і цикл починається знову.

Одним з основних факторів, що впливають на ефективність теплового насоса, є різниця між середньою температурою у випарнику та конденсаторі. Якщо це можливо, різницю температур слід зменшити:

– підвищення температури джерела тепла, або

– зниження температури системи розподілу тепла.

Теплові насоси набагато чутливіші до температури в системі розподілу тепла (і різниці температур в ній), ніж котли. Це важливо враховувати при проектуванні системи розподілу тепла.

Теплові насоси з циклом стиснення пари (за винятком транскритичних) для ефективної роботи потребують зміни фаз газу (з рідини на газ і навпаки) у випарнику та конденсаторі. Невелика різниця температур гарантує, що більша частина поглинутого (або виділеного) тепла відбувається при цій зміні фаз. Чим менша різниця температур чим менша різниця температур, тим ефективніша робота теплового насоса.

Теплові насоси можуть використовуватися поряд з іншими джерелами тепла з різних причин, таких як:

1. Потужність системи теплових насосів обмежена через обмеження постачання електроенергії, тому інше джерело тепла забезпечує додаткову необхідну теплову потужність.

2. Система опалення або процес може періодично вимагати температури, якої тепловий насос не може досягти (наприклад, для циклу з легіонелами).

3. Необхідна резервна система.

Особливу увагу слід приділяти інтеграції високотемпературних джерел тепла в систему з низькотемпературним тепловим насосом. Гідравлічна конструкція і системи керування системи повинні дозволяти тепловому насосу працювати в межах його продуктивності і враховувати швидкість потоку, різницю температур в системі, а також різницю температур і витрату, необхідну для будь-якого іншого теплогенератора в системі. Різниця температур, необхідна для котлів, часто набагато вища (наприклад, понад 50 °C), ніж для системи теплових насосів.

Різні робочі параметри двох джерел тепла зазвичай компенсуються такими заходами, як:

– використання пластинчастих теплообмінників в якості теплового розриву, щоб котел міг підтримувати більш високі температури подачі та повернення, ніж система, що обігрівається;

– використання колекторів з низькими втратами, які забезпечують різну швидкість потоку між джерелом і споживачем тепла; або

– використання буферних ємностей.

Просте підключення теплового насоса паралельно з котлом без урахування різниці у витратах і температурах призводить до проблем в експлуатації. Тепловий насос може не працювати або не перезапуститися, коли працює резервне джерело тепла. Це означає, що тепловий насос не забезпечує очікуваного теплового навантаження, а отже, знижує витрати і скорочення викидів вуглецю.

В Україні повітряні теплові насоси є найбільш поширеним типом теплових насосів. Вони всмоктують зовнішнє повітря, стискають його для підвищення температури, а потім за допомогою вентилятора циркулюють у приміщенні. Геотермальні теплові насоси, які видобувають тепло з землі, також є варіантом, але вони вимагають більш масштабної установки і можуть бути дорожчими.

Однією з переваг використання теплових насосів в Україні є те, що вони можуть бути більш енергоефективними, ніж традиційні системи опалення. Це пов'язано з тим, що вони не покладаються на спалювання викопного палива для виробництва тепла, яке може бути дорогим і сприяти забрудненню повітря. Крім

того, теплові насоси можна використовувати для охолодження в літні місяці, що робить їх універсальним варіантом для цілорічного комфорту.

Однак важливо зазначити, що ефективність теплових насосів може бути обмежена при дуже низьких температурах, що може викликати занепокоєння в умовах суворих зим в Україні. У таких ситуаціях можуть знадобитися додаткові джерела опалення, щоб доповнити потужність теплового насоса.

Теплові насоси можуть бути хорошим варіантом для опалення будівель в Україні, особливо в м'яких зимових умовах. Важливо враховувати специфіку клімату та потреби будівлі в опаленні, перш ніж вирішити, чи є тепловий насос правильним вибором. Крім того, важливо співпрацювати з кваліфікованим фахівцем, щоб забезпечити належне встановлення та обслуговування системи.

1.4 Існуючі типи теплових насосів та їх характеристики

Теплові насоси вважаються ключовою енергетичною технологією для майбутніх сталих міст, оскільки вони збирають тепло з відновлюваних місцевих джерел енергії, таких як повітря, вода, земля або відпрацьоване тепло, і не виробляють прямих місцевих викидів. Здатність об'єднувати електричну і теплову енергію робить їх ключовими компонентами інтегрованих енергетичних стратегій майбутнього та ідеальними «партнерами» у розумному зберіганні енергії, управлінні попитом і пропозицією, балансуванні енергосистеми та перерозподілі навантажень. У більш розвинених країнах, таких як Нідерланди, існують високі податки на ціни на викопні види енергії для побутового використання, такі як електроенергія та природний газ. Фактично, ці податки підштовхують людей до використання меншої кількості енергії (енергозбереження), а також до переходу на більш відновлювані та «зелені» джерела енергії.

Економічне зростання, безпосередньо пов'язане зі зростанням населення світу, є однією з головних причин збільшення світового споживання енергії.[12] У цьому сценарії світове енергопостачання все ще залишається тривожно залежним від використання викопних видів палива, що неминуче призводить до неприйнятних викидів парникових газів (ПГ) [13]. З кінцевою метою пом'якшення руйнівного впливу цих традиційних джерел енергії, відновлювані джерела енергії

постають як важливий механізм боротьби зі зміною клімату. Таким чином, вітрові, сонячні або гідроелектростанції (зазвичай найбільш використовувані) часто включаються державами як відновлювані рішення для зменшення вразливості електроенергетичних систем і залежності від викопних видів палива. [14] Сучасний енергетичний контекст вимагає використання екологічно чистих рішень, які сприяють витісненню традиційних викопних видів палива. У зв'язку з цим теплові насоси стали важливим інструментом декарбонізації енергетичної системи опалення та охолодження.

Теплові насоси можна класифікувати за наступною ознакою:

– за принципом дії;

– за використовуваними джерелами низькопотенційного тепла;

– по поєднанню використовуваного низькопотенційного тепла з середовищем, що нагрівається в теплових насосах;

– за видами енергії, що витрачається.

За першою ознакою розрізняють паро-компресорні, абсорбційні і термоелектричні теплові насоси.

Як джерела низькопотенційного тепла для теплових насосів можуть бути використані:

– зовнішнє повітря;

– поверхневі води (річка, озеро, море);

– підземні води;

– ґрунт;

– сонячна енергія;

– низькопотенційне тепло штучного походження (скидні води, нагріті води технологічних процесів і ін.).

При класифікації за поєднанням джерел низькопотенційного тепла і середовища, що нагрівається, розрізняють наступні варіанти:

– повітря-повітря;

– повітря-вода;

– ґрунт-повітря;

– ґрунт-вода;

– вода-повітря;

– вода-вода.

За видами енергії, що витрачається, розрізняють теплові насоси, що використовують електроенергію, паливо того або іншого вигляду, вторинні енергетичні ресурси. [15] Зважаючи на попередні бар'єри, особливо на інвестиції, які спочатку потрібні для більшості будівельних установок GSHP, теплові насоси з повітряним джерелом (ASHP) набувають все більшого поширення в секторі опалення та охолодження, стаючи найпоширенішою формою теплових насосів. Ці пристрої, ймовірно, відіграватимуть важливу роль у міру електрифікації опалення будівель, особливо в міських районах. Однак, системи ASHP не завжди є найвигіднішою альтернативою, тобто не є рекомендованим рішенням у тих сценаріях, коли зовнішні умови спричиняють високі експлуатаційні витрати.

Як зазначалося вище, теплові насоси стали однією з найвпливовіших технологій у майбутньому сталому енергетичному розвитку. Ці пристрої здатні передавати тепло з природного середовища, такого як земля, повітря або вода, а також з інших джерел промислових або побутових відходів. Вони переміщують тепло з області з низькою температурою в область з вищою температурою (або навпаки), використовуючи невелику кількість електроенергії, і застосовуються як для охолодження та обігріву приміщень, так і для нагрівання води для побутових потреб (ГВП).

Ефективність теплового насоса визначається шляхом порівняння кількості теплової енергії, виробленої тепловим насосом, і кількості енергії, яку він споживає, що, в свою чергу, виражається коефіцієнтом продуктивності (COP) - відношенням кількості тепла/охолодження в кіловатах, виробленого тепловим насосом, Q, до кіловат потужності, спожитої тепловим насосом, W. Аналогічно, в режимі охолодження використовується коефіцієнт енергоефективності (EER), який виражає відношення між теплом, вилученим з приміщення, і електроенергією, спожитою тепловим насосом. Насправді, однією з головних переваг цих систем є високий COP і, отже, знижене споживання електроенергії,

пов'язане з їх використанням. Значення цього COP залежить від умов установки, але воно особливо високе в системах GSHP і в тих гібридах теплових насосів (як GSHP, так і ASHP) з іншими відновлюваними системами, такими як сонячні колектори або фотоелектричні панелі [16,17]

Геотермальні теплові насоси (рис.1.12) або теплові насоси на основі геотермальних джерел використовують тепло Землі через теплообмінники, заглиблені в землю. Це дозволяє збільшити видобуток тепла, але в той же час робить глобальну систему опалення більш дорогою і руйнівною. Серед цих рішень можна виділити дві основні категорії: система «вода-повітря» (найчастіше використовується в офісних будівлях), яка використовує воду для теплообміну з землею і повітря для обігріву приміщення, і альтернатива «вода-вода» (особливо використовується в житловому секторі), яка застосовує воду для обох цілей. У глобальних геотермальних системах часто зустрічаються дві різні конфігурації: системи з відкритим контуром (також включають теплові насоси на поверхневих водах), які забирають воду безпосередньо з найближчого водоносного горизонту або річки через видобувну свердловину і повертають її після проходження через установку через другу нагнітальну свердловину.

Геотермальна енергетика поступово набуває все більшого поширення, являючи собою реальний варіант сприяння досягненню Паризької угоди щодо обмеження підвищення температури атмосфери на 2 °C або менше. Інші додаткові європейські політики підтримують розробку рішень для опалення та охолодження з використанням відновлюваних джерел енергії, покладаючи великі надії на неглибоко залягаючу геотермальну енергію.

Отже, протягом останніх кількох років особлива увага приділяється згаданій неглибокій геотермальній енергії, яка використовується ґрунтовими тепловими насосами (ГТН) для просування вперед декарбонізації житлового сектору. Незважаючи на цей факт і високий потенціал цієї енергії, лише близько 2% відновлюваного опалення та охолодження в Європі виробляється за допомогою цих систем. [18] Причини такого низького рівня використання геотермальної енергії в основному пов'язані з нетехнологічними бар'єрами, такими як авансові

витрати, правові питання або низька видимість та обізнаність кінцевих споживачів. У зв'язку з цим, для вирішення всіх цих проблем необхідні різні заходи, починаючи з регіональних і національних заходів і закінчуючи новими дослідженнями, спрямованими на оптимізацію цього потенціалу, але все ще недостатньо поширеними рішеннями.

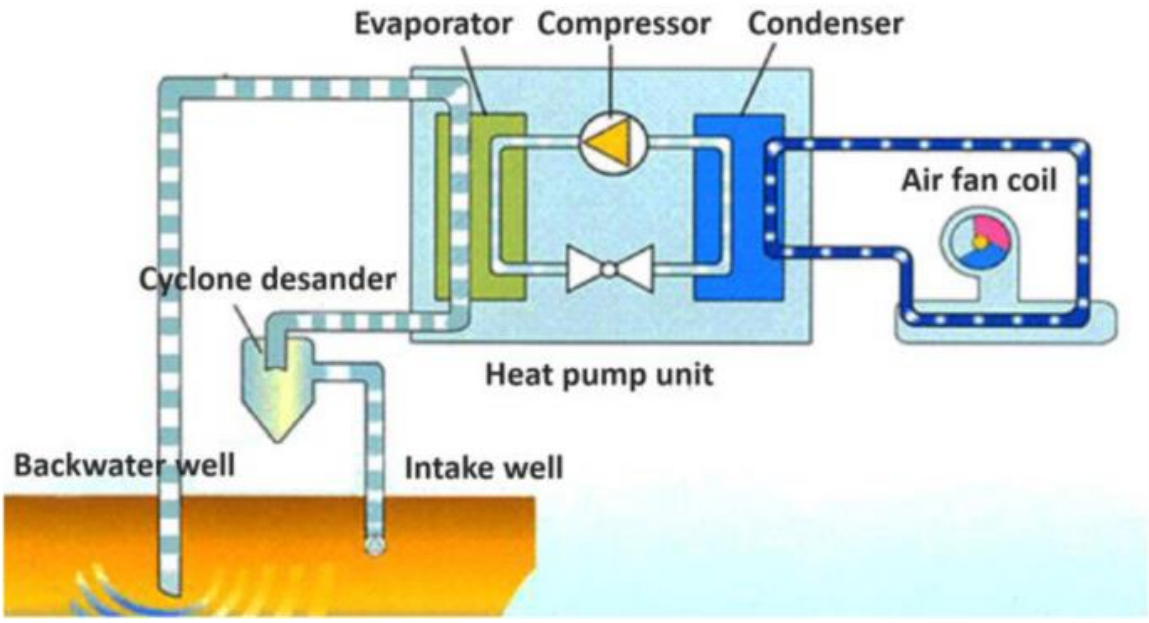


Рисунок 1.12 - Принципова схема теплонасосної системи з грунтовими водами

У свою чергу, існують замкнуті системи теплообміну, які базуються на використанні герметичного теплообмінника, що витягує тепло з підземного джерела, розташованого в скелях або ґрунті. Ці труби можуть бути розташовані горизонтально, на глибині 1-2 м, хоча найпоширенішою схемою є використання вертикальних свердловин глибиною 100-150 м, які значно збільшують теплообмін з ґрунтом завдяки здатності експлуатувати тепловий ресурс при постійній температурі протягом усього року і вищим значенням температури, що досягаються на цих рівнях.

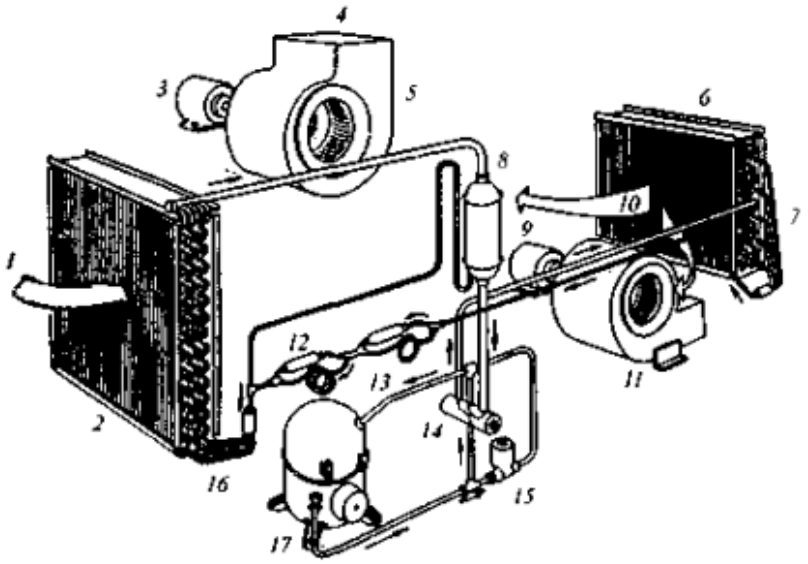
Теплова потужність цих систем безпосередньо пов'язана з розміром заглиблених теплообмінників, тому життєво важливо виконати правильний розрахунок системи, щоб уникнути втрати теплового комфорту під час поступової експлуатації установки. У цьому сенсі особливо важливим є поглиблене

дослідження надр для визначення переважаючих геологічних формацій на глибині та їх здатності до теплообміну з компонентами геотермальної системи.

Повітряні теплові насоси

Системи повітряних теплових насосів засновані на використанні різниці між температурою повітря в приміщенні та на вулиці для обігріву/охолодження певного простору. Ці пристрої зазвичай поділяються на два основних різновиди: системи типу «повітря-повітря» (рис. 1.13) та «повітря-вода».

Перша категорія безпосередньо нагріває повітря в приміщенні за допомогою настінного блоку (різні внутрішні блоки можуть бути підключені до компресора як мульти-спліт-системи, щоб збільшити кількість кімнат, які потрібно обігріти). Як і GSHP, більшість цих систем є реверсивними, тобто можуть працювати як на обігрів, так і на охолодження.



1 — зовнішнє повітря; 2 — випаровувач; 3 — двигун вентилятора; 4 — викиди охолодженого повітря; 5 — вентилятор зовнішнього повітря; 6—конденсатор; 7—холодне повітря з приміщення; 8— регулятор витрат; 9 — двигун вентилятора; 10—нагріте повітря в приміщенні; 11 — вентилятор внутрішнього повітря; 12-зворотні клапани; 13— капіляри; 14—розподільчий клапан; 15 — клапан розвантаження компресора; 16—розподілювач потоку; 17—компресор.

Рисунок 1.13 – Схема теплового насоса типу повітря – повітря

З іншого боку, теплові насоси типу «повітря-вода» (рис.1.14) інтегровані в гідравлічну систему центрального опалення, метою якої є забезпечення будівлі опаленням і гарячою водою. Крім зовнішнього компресора, спліт-системи також

потребують блоку управління і компактного теплообмінника, розміщеного поруч з водонагрівачем для передачі тепла від холодоагенту.

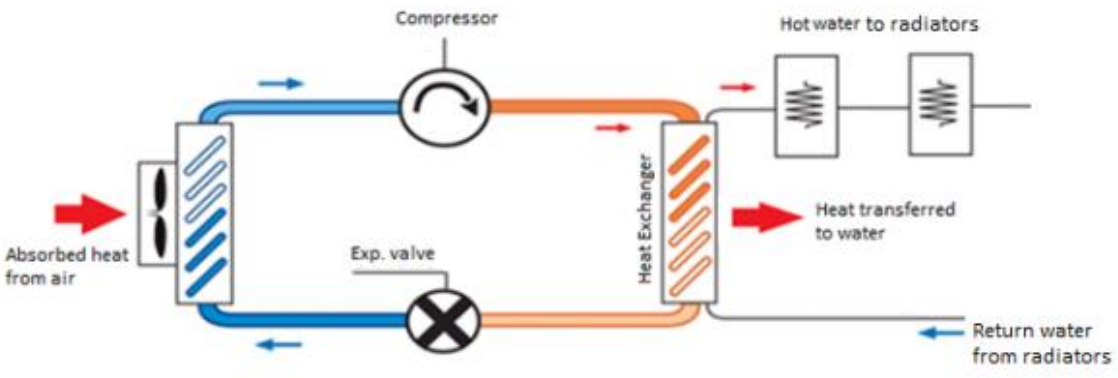


Рисунок 1.14 – Схема роботи теплового насосу «повітря- вода»

ASHP є найбільш широко використовуваними тепловими насосами і присутні в багатьох країнах, їм часто надають перевагу в помірному кліматі і в тих будинках, що розташовані в міських районах з високою щільністю забудови і обмеженою прилеглою територією. Альтернативи опалення повітря-повітря широко розповсюджені в Південній Європі та Азії, де кліматичні умови дозволяють використовувати їх як для опалення, так і для кондиціонування повітря.

Оглянута література свідчить про те, що ТН мають ряд переваг з точки зору вищої енергоефективності, нижчої вартості життєвого циклу і меншого впливу на навколишнє середовище, все це в поєднанні з більшою надійністю системи та іншими практичними причинами. Коротше кажучи, системи на основі ТН рекомендуються у тих випадках, коли йдеться про новобудови з високим енергоспоживанням і коли користувач може зіткнутися з високими або помірними початковими капіталовкладеннями. Системи GSHP також вважаються пріоритетними в кліматі з великими сезонними коливаннями температури. Що стосується ASHP, то вони підходять, коли місцевий клімат є м'яким, коли наявність землі не дозволяє провести заземлення або коли користувач надає перевагу більш коротким періодам окупності. Однак, більшість з цих тверджень залежать від конкретного випадку, що вивчається, і, зокрема, від кліматичних умов, в яких знаходиться простір.

Незважаючи на загальні правила, згадані вище, все ще існує реальність, що в багатьох випадках користувач не має необхідної інформації, щоб визначити, який тип теплового насоса є найбільш підходящим для конкретних характеристик об'єкта, що підлягає обігріву. Оскільки більшість існуючих досліджень були зосереджені на аналізі опалення та охолодження в промислових енергетичних системах, існує явна нестача точної інформації в цьому відношенні, адаптованої до побутового сектору.

Вода як джерело теплоти.

Теплові насоси на воді використовують водойми(рис.1.15), такі як озеро або річка, як джерело тепла. Вони подібні до ґрунтових теплових насосів з точки зору продуктивності та ефективності, але потребують доступу до водойми і можуть бути дорожчими в установці.

Рисунок 1.15- Системи теплових насосів на поверхневих водах

Артезіанська вода має майже однакову температуру, приблизно від 10°C у північних областях до 15°C поблизу екватора.

Ґрунтові води, температура яких протягом року складає 8-10°C, мають сприятливі властивості для використання в теплових насосах без підготовчих процесів. Інфільтрація охолодженої води здійснюється в тому випадку, коли ґрунтова вода не може бути використана для технологічних потреб.

Водопідйомні та інфільтраційні колодязі повинні бути розташовані один від одного не менше ніж на 15 м. Вода відкритих водоймищ, таких, як озера, моря та ріки, також може служити джерелом теплоти. При її використанні, як і у випадку з повітрям, трапляються труднощі взимку: Вода надходить з температурою 4-7°C. Щоб вона не замерзала, її не слід охолоджувати до 1-2°C.

Слабо нагріта вода як джерело теплоти — найбільш привабливе джерело. Тому викидна вода в побуті сільських і міських будинків (ванни, душі посудомийні і пральні машини) може використовуватись як джерело теплоти теплових насосів. [15]

Сонячні колектори і абсорбери як джерела теплоти.

Абсорбційні теплові насоси використовують для виробництва тепла джерело тепла, наприклад, природний газ, пропан або сонячну енергію. Вони менш поширені, ніж інші типи теплових насосів, але вони можуть бути більш ефективними і мають довший термін служби. Абсорбційні теплові насоси також більш екологічні, оскільки не використовують електроенергію.

Житлові абсорбційні теплові насоси використовують цикл поглинання аміаку водою для забезпечення опалення та охолодження. Як і в стандартному тепловому насосі, холодоагент (в даному випадку аміак) конденсується в одному змійовику, щоб вивільнити своє тепло; потім його тиск знижується, і холодоагент випаровується для поглинання тепла. Якщо система поглинає тепло з інтер'єру вашого будинку, вона забезпечує охолодження; якщо вона віддає тепло в інтер'єр вашого будинку, вона забезпечує опалення.

Відмінність абсорбційних теплових насосів полягає в тому, що тиск випареного аміаку не підвищується компресором. Замість цього аміак поглинається водою, де відносно малопотужний насос може перекачувати розчин до більш високого тиску. Проблема полягає у видаленні аміаку з води, і саме тут вступає в дію джерело тепла. Тепло, по суті, виварює аміак з води, запускаючи цикл знову.

Ключовим компонентом установок, представлених на ринку, є технологія генераторно-абсорбційного теплообмінника (GAX), яка підвищує ефективність установки за рахунок рекуперації тепла, що виділяється під час поглинання аміаку у воді. Інші інновації включають високоефективне розділення парів, змінну швидкість потоку аміаку та спалювання природного газу з низьким рівнем викидів і змінною потужністю.

Хоча абсорбційні охолоджувачі в основному використовуються в промислових або комерційних умовах, зараз вони доступні і для великих житлових будинків. Доступні на сьогоднішній день 5-тонні системи охолоджувачів для житлових будинків підходять лише для будинків площею 4 000 квадратних футів і більше.

Абсорбційні охолоджувачі та теплові насоси зазвичай мають сенс лише в будинках без джерела електроенергії, але вони мають додаткову перевагу в тому, що можуть використовувати будь-яке джерело тепла, включаючи сонячну енергію, геотермальну гарячу воду або інші джерела тепла. Вони також піддаються зонованим системам, в яких різні частини будинку підтримують різну температуру.

Колектори і абсорбери прямо перетворюють сонячну енергію в термічну, підігріваючи теплоносій, який віддає теплоту випаровувачу (рисунок 1.16). Віддаючи тепло у випаровувач при температурі більш високій, ніж навколишнє повітря, ґрунт або вода, сонячні колектори підвищують ККД теплового насоса.

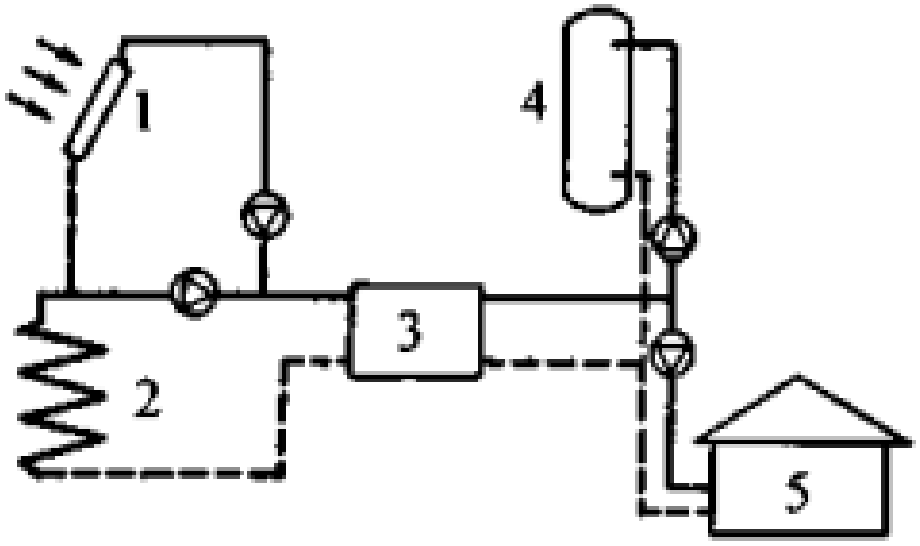


Рисунок 1.16 Схема теплового насоса з одночасним використанням теплоти ґрунту і Сонця, де: 1 – сонячний колектор; 2 – труби у ґрунті; 3 – теплова помпа; 4 – бак; 5 – приміщення, що опалюється

У більшості випадків для стабілізації теплової потужності теплового насоса доцільно тепло від сонячного колектора подавати в рідинний тепловий

акумулятор, куди занурені трубки випаровувача. Тепловий акумулятор дає енергію на випаровування, коли навколишня температура низька для випаровувача і може виконувати і функцію гарячого водопостачання.

Обмеження в застосуванні сонячних колекторів накладаються їх вартістю.

У літературних джерелах і проектах фірм енергетичну ефективність колекторів оцінюють за величиною відношення корисної потужності до інтенсивності сонячного випромінювання. При виборі продуктивності колектора коефіцієнт енергетичної ефективності слід оцінювати, виходячи з режиму експлуатації та кліматичних умов — інтенсивності сонячної радіації і різниці температур теплообмінника (абсорбера) і навколишнього середовища.

При виборі сонячних колекторів поряд з їх термодинамічними властивостями вирішальне значення має розмір капіталовкладень. [15]

Нижче наведено аналіз вартості теплових насосів в Україні станом на 2023 рік (див. табл. 1.2). Варто зазначити, що наразі вартість підвищена через Російське вторгнення в Україну 24 лютого 2022 року і є усередненою. Валюта – євро, що в еквіваленті становить 40,56 грн.

Таблиця 1.2 – Вартість ТН та монтажу в Україні станом на 2023 рік

	ТН (повітря-повітря)	ТН (повітря-вода)	Геотермальні ТН	Абсорбційний ТН
Вартість ТН	1150-4000	3000-5250	11500-15000	11400-26000
Послуги з монтажу та додаткові матеріали	1760	1760	3500	5000
Всього з роботами	2910-5760	4760-7040	15000-18500	16400-31000

Також варто звернути увагу на те, що вартість теплових насосів може бути значно вплинута на різні фактори, такі як курс валют, податки та збори, логістика

та транспортування, гарантійні та сервісні пакети, а також наявність акцій та знижок.

Зараз на ринку України присутні такі виробники теплових насосів, як Daikin, Mitsubishi Electric, Gree, Haier, Bosch, Viessmann, Nibe, Vaillant та інші.

Наприклад, Mitsubishi Electric пропонує на ринку України моделі ТН повітря-вода та грунт-вода, які можуть коштувати від 60 000 до 200 000 грн. Також Daikin пропонує на ринку України ТН повітря-вода та грунт-вода, які коштують від 70 000 до 180 000 грн. Усе залежно від їхньої потужності та функціональних можливостей. Також, окрім вартості теплових насосів, важливо враховувати витрати на їхню установку та налагодження, а також витрати на експлуатацію, які можуть включати в себе витрати на електроенергію для живлення насоса, регулярні обслуговування та ремонт.

Щодо виробників Haier, Gree та Bosch, вони також пропонують на ринку України моделі теплових насосів з різними характеристиками та функціональними можливостями, що можуть впливати на їхню вартість. Ціни на теплові насоси цих виробників можуть варіюватися від 50 000 до 150 000 грн, в залежності від моделі та її потужності.

Виробник Viessmann пропонує на ринку України теплові насоси з грунтом-водою та повітрям-водою, які можуть коштувати від 70 000 до 200 000 грн.

На остаточну вартість установки теплового насоса може вплинути цілий ряд факторів, таких як коефіцієнт корисної дії та розмір, а залежного від нього і потужність. Давайте розглянемо ці та інші фактори, що впливають на вартість встановлення теплового насоса.

– розмір і потужність;

Для невеликих будинків потрібні менші та доступні за ціною теплові насоси. Якщо ви живете у великому будинку, вам знадобиться набагато більша система теплових насосів, щоб адекватно обігрівати та охолоджувати весь будинок.

– тип ТН;

Тип теплового насоса, який ви обираєте, може суттєво вплинути на ваші загальні витрати. Встановлення теплових насосів типу «повітря-повітря» може

бути набагато доступнішим, особливо якщо у вашому будинку вже прокладено систему повітропроводів.

З іншого боку, геотермальні та абсорбційні теплові насоси - хоча вони доступні за ціною та ефективні в довгостроковій перспективі - мають високі початкові витрати на встановлення.

– рейтинг ефективності;

Фахівець з опалення, вентиляції та кондиціонування повітря для встановлення теплового насоса зможе порадити вам належні показники ефективності для вашого будинку та клімату. Є два показники, які слід враховувати: Сезонний коефіцієнт ефективності опалення (HSPF) та Сезонний коефіцієнт енергоефективності (SEER).

Високоефективні теплові насоси (19+ SEER і 10+ HSPF) коштують дорожче, зазвичай від 5000 до 9000 євро за повну установку, але є більш ефективними в довгостроковій перспективі. Це може призвести до зниження витрат на енергію. Стандартні (або низькоефективні) теплові насоси з нижчими показниками SEER та HSPF можуть зменшити початкові інвестиційні витрати - зазвичай від 2000 до 4000 євро за повну установку.

– праця;

Робоча сила для встановлення теплового насосу може суттєво відрізнятися залежно від обсягу робіт. Може знадобитися найняти місцевих монтажників сонячних панелей, ландшафтних дизайнерів та електриків, щоб виконати роботу.

– канальний монтаж;

Витрати на встановлення теплового насосу зростуть ще більше, якщо у вашому будинку ще не встановлена система повітропроводів.

Монтаж повітропроводу коштує від 1,000 до 5,000 євро, залежно від розміру вашого будинку. Ви можете уникнути цих витрат, обравши безканальний міні-спліт-тепловий насос.

Отже, щоб обрати ТН для теплопостачання житлових будинків необхідно виконати наступні дії:

Розрахунок теплового навантаження: Першим кроком у виборі теплового насоса для житлового будинку є розрахунок теплового навантаження будівлі. Це передбачає оцінку кількості теплової енергії, необхідної для підтримки комфортної температури всередині будівлі в найхолодніші дні року. Розрахунок теплового навантаження враховує такі фактори, як розмір будівлі, ізоляція, вікна та вентиляція.

Обрати тип теплового насоса: Після завершення розрахунку теплового навантаження наступним кроком є визначення типу теплового насоса, який найкраще підходить для будівлі. Існує кілька типів теплових насосів, включаючи повітряні, ґрунтові та водяні теплові насоси. Кожен тип має свої переваги та недоліки, і вибір залежить від таких факторів, як місцевий клімат, наявність місця та бюджет.

Врахувати показники ефективності: При виборі теплового насоса важливо враховувати його показники ефективності. Найчастіше використовуються коефіцієнт продуктивності (COP) і сезонний коефіцієнт енергоефективності (SEER) для охолодження і сезонний коефіцієнт продуктивності (HSPF) для опалення. Вищий COP, SEER або HSPF вказує на більшу ефективність, що означає нижчі експлуатаційні витрати.

Визначити розмір: Після визначення типу теплового насоса та показників ефективності, наступним кроком є вибір відповідного розміру теплового насоса. Завеликий тепловий насос призведе до вищих початкових витрат і вищих експлуатаційних витрат, тоді як замалий тепловий насос не забезпечить достатнього опалення чи охолодження. Розрахунок розміру враховує розрахунок теплового навантаження, а також інші фактори, такі як орієнтація будівлі, розмір вікон та ізоляція.

Встановлення та обслуговування: Нарешті, важливо враховувати вимоги до встановлення та обслуговування теплового насоса. Монтаж повинен виконувати кваліфікований фахівець, а тепловий насос слід регулярно обслуговувати, щоб забезпечити оптимальну продуктивність і довговічність.

Таким чином, вибір теплового насоса для теплопостачання житлових будинків включає в себе розрахунок теплового навантаження будівлі, визначення типу теплового насоса, врахування показників ефективності, правильний вибір розміру теплового насоса, а також врахування вимог до встановлення та обслуговування. Рекомендується співпрацювати з кваліфікованим підрядником з опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, щоб переконатися, що система теплових насосів спроектована і встановлена належним чином для забезпечення надійного та ефективного опалення та охолодження будівлі.

1.5 Потенціал теплових насосів для теплозабезпечення житлових будівель

Високоефективні електричні теплові насоси є основною технологією, що сприяє зниженню викидів від опалення в будівельному секторі за сценарієм Чистих Нульових Викидів NZE до 2050 року (сценарій NZE). Кількість теплових насосів, встановлених у всьому світі, має зрости з 180 млн. у 2020 році до приблизно 600 млн. у 2030 році. Прогнозується, що встановлення теплових насосів в окремих будівлях зросте з 1,5 млн. на місяць до близько 5 млн. до 2030 року.

Швидке розгортання теплових насосів сприяє повному виведенню з експлуатації нових бойлерів на викопному паливі до 2025 року – досягненню ключової цілі в сценарії NZE. Теплові насоси в поєднанні з накопичувачем енергії можуть поглинати певні коливання в генерації відновлюваної енергії, що дозволить до 2030 року виробляти близько 40% електроенергії за допомогою сонячної фотоелектричної та вітрової енергії. Реконструкція існуючих будівель до рівня готовності до нульового викиду вуглецю також дозволяє тепловим насосам працювати ще ефективніше в цьому сегменті.

Теплові насоси є набагато енергоефективнішими, ніж інші відновлювані та звичайні технології будівель, включаючи водневі бойлери та бойлери на біомасі з низьким рівнем викидів. Після встановлення та належної експлуатації 1 одиниця електроенергії, що використовується тепловим насосом, забезпечує в середньому від 3 до 5 одиниць тепла протягом опалювального сезону. З іншого боку, 1 одиниця електроенергії, що використовується електролізером для виробництва водню, який потім спалюється, призводить до 0,6-0,8 одиниць тепла. ККД високоефективного

бойлера на біомасі становить близько 0,9 одиниць. Ефективність теплових насосів неухильно зростала протягом останніх десятиліть завдяки дослідженням, конкуренції, Стандартам Мінімальної Ефективності (Minimum Efficiency Performance Standards-MEPS) і схемам енергетичного маркування. Крім того, теплові насоси є 'постачальниками' багатьох послуг, оскільки можуть задовольняти потреби в опаленні, охолодженні та осушенні. Різні типи теплових насосів підходять для різних застосувань і регіонів. Розрізняють теплові насоси «повітря-повітря», «повітря-вода», для підготовки гарячої води та ґрунтові (геотермальні). Покращена конструкція може ще більше підвищити їх ефективність. Наприклад, сезонна енергоефективність може сягати від 500% до 1000% у комерційних будівлях як для опалення, так і для охолодження.

Теплові насоси також можуть сприяти досягненню національних цілей щодо частки відновлюваної енергії в енергетичному міксі. У поєднанні з інтегрованою фотоелектричною енергією в будівлі або живленням від відновлюваної електроенергії за межами будинку, теплові насоси є повністю відновлюваним рішенням, що робить електрифікацію важливим важелем для поступової відмови від викопного палива. Теплові насоси вже можна інтегрувати на районному та міському рівнях. Інтелектуальні термостати та активне керування можуть розкрити свій потенціал щодо реагування на попит і допомогти досягти більшої частки різних відновлюваних джерел енергії в мережі.

У деяких регіонах теплові насоси вже мають значну частку ринку завдяки сприятливій загальній вартості експлуатаційного циклу, особливо в країнах Північної Європи (наприклад, Норвегії, Швеції, Данії та Фінляндії), а також у Франції. У Швеції 29% потреб в опаленні в будівлях покривається тепловими насосами, а відповідний показник у Фінляндії становить 15%. В інших регіонах (наприклад, у деяких частинах Сполучених Штатів і Японії) теплові насоси вже становлять значну частку ринку опалення, оскільки вони також можуть задовольнити попит в охолодженні. В Японії реверсивний кондиціонер повітря зазвичай є єдиним приладом для опалення приміщень через помірну потребу в опаленні порівняно з потребами в охолодженні. У Сполучених Штатах близько

40% нових односімейних будинків опалюються тепловими насосами. У цих країнах ринок і ланцюжки доданої вартості добре розвинуті, а рівень поінформованості та сприйняття кінцевими користувачами вельми високий. У деяких інших країнах частка ринку для новозведених будинків є значною, оскільки теплові насоси часто є найкращим варіантом для відповідності стандартам енергоефективності, впровадженими новими будівельними нормами.

Незважаючи на те, що рівень загального ринкового проникнення неухильно зростає, теплові насоси все ще є досить рідкісним рішенням для заміни існуючих систем опалення через високі початкові витрати або брак обізнаності та ноу-хау серед монтажників і проектувальників. У таких країнах реалізація теплових насосів інколи стимулюється та супроводжується додатковими заходами, наприклад, у Німеччині, Італії, Сполученому Королівстві, Сполучених Штатах та Китайській Народній Республіці. Для підвищення обізнаності кінцевих користувачів і їх загального ринкового сприйняття, деякі програми включають фінансові стимули, а також освітні заходи щодо переваг теплових насосів для споживачів.

Теплові насоси — це добре працююча та зріла технологія. Однак для її інтеграції та повного використання потенціалу в енергетичних системах з нульовими чистими викидами потрібні технологічні та системні вдосконалення. Ефективність теплового насоса та його внесок можна покращити за допомогою інтелектуальної системної інтеграції разом з фотовольтаїкою, накопиченням енергії, керуванням та е-мобільністю. У деяких ситуаціях здатність теплових насосів працювати гнучко може бути важливішою, ніж досягнення найвищого рівня ефективності.

У глобальній енергетичній кризі, що наразі триває, теплові насоси були визначені як рішення для зміцнення енергетичної безпеки. У Європі план REPowerEU, представлений Європейською Комісією, передбачає подвоїти темпи впровадження теплових насосів протягом наступних років з метою зменшення залежності від російського природного газу. У Сполучених Штатах теплові насоси були визначені як пріоритетна технологія в Законі про Оборонне Виробництво

DPA (Defence Production Act), щоб країна взяла на себе відповідальність за незалежність чистої енергії.[19]

Європейський ринок теплових насосів у 2022 році досяг нових рекордних показників. Згідно проведеному асоціацією EHPA(European Heat Pump Association) аналізу 16 провідних країн Європи - ринок продажу теплових насосів зріс на в середньому на 38% у порівнянні з 2021 роком.

За підсумками 2022 року в Європі було реалізовано близько трьох мільйонів теплових насосів, що в свою чергу, свідчить про значну роль сегменту цієї продукції на європейському ринку HVAC.

Поруч з тим, зростання продажу теплових насосів у Європі пов'язане із впровадженням програм по декарбонізації (зменшення або зведення до нуля викидів CO2) джерел енергії.

Таблиця 1.3 - Повний аналіз ринку теплових насосів

Країна	**Обсяг продажу за 2022 рік**	**Зростання у порівнянні з 2021 роком(%)**	**Зростання у порівнянні з 2021 роком(шт.)**
Австрія	49204	+59%	+18227
Бельгія	32956	+66%	+13121
Чехія	60065	+99%	+29886
Данія	88833	+20%	+14892
Фінляндія	196359	+52%	+66984

Продовження таблиці 1.3

Франція	463672	+20%	+76176

Німеччина	236000	+53%	+82000
Італія	502349	+37%	+134429
Нідерланди	123208	+80%	+54796
Норвегія	156295	+25%	+31267
Польща	195480	+102%	+98540
Португалія	29969	+17%	+4357
Швеція	215373	+60%	+81875
Швейцарія	41209	+22%	+7505
Іспанія	59070	+21%	+28129
Велика Британія	68412	+40%	+17103

Загальна кількість теплових насосів опалення та ГВП сягає близько 20 мільйонів, вони забезпечують 16 % потреб усіх користувачів з опалення та нагріву води у Європі.

Найбільше зростання виявилось у Польщі, нашому найближчому сусіду України серед країн Євросоюзу. Це напряму свідчить про великий потенціал теплових насосів в Україні. З прагненням приблизити українське законодавство ближче до європейських норм - стане більш нагальною потребою для української

енергетики та ринку HVAC притримуватися і відповідати європейським тенденціям і нормам.

Серед трійки лідерів з продажу теплових насосів є Чехія(99% зростання) та Нідерланди(80%).

Енергетичний потенціал теплових насосів для теплозабезпечення житлових будівель може бути досить значним, оскільки тепловий насос може використовувати до 75% енергії з навколишнього середовища (наприклад, з повітря, грунту або води) для опалення будинку та підігріву води. Це дозволяє ефективно використовувати джерела енергії, які раніше не вважалися придатними для опалення будинків, і знижує залежність від традиційних джерел енергії, таких як природний газ, нафта або вугілля.

За розрахунками експертів, тепловий насос може забезпечити більш 4 кВт теплової енергії з 1 кВт електроенергії, яка використовується для його роботи. Це означає, що тепловий насос може бути ефективним джерелом енергії для теплозабезпечення житлових будівель, особливо в тих регіонах, де дешева електроенергія.

Крім того, теплові насоси можуть бути використані в поєднанні з іншими джерелами енергії, такими як сонячні батареї або вітрогенератори, що дозволяє зменшити залежність від дешевої електроенергії та забезпечити більш стабільний та екологічно чистий джерело енергії.

Застосування теплових насосів для теплозабезпечення житлових будівель може допомогти зменшити витрати на опалення та зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу, що є важливим кроком у боротьбі зі зміною клімату.

Теплові насоси можуть зробити наші будинки, робочі місця та громадські будівлі більш сталими, одночасно підвищуючи енергетичну безпеку. Завдяки стрімкому зростанню цін на енергоносії, вони також можуть стати найдешевшим варіантом опалення.

Згідно з новим аналізом MEA, теплові насоси можуть скоротити викиди CO2 на 500 мільйонів тонн до 2030 року, оскільки вони замінять газ, нафту та вугілля. Лише в Європі вони можуть скоротити потребу в імпорті газу на 21 мільярд

кубометрів - приблизно 15% від обсягу споживання російського газу в цьому регіоні.

За даними МЕА, теплові насоси вже дешевші в експлуатації, ніж звичайні котли, але їхня висока початкова вартість стримує деяких людей від їхньої купівлі. Країни повинні будуть субсидувати установки, якщо вони хочуть досягти своїх кліматичних цілей, попереджає МЕА.

«Державна підтримка має важливе значення для того, щоб допомогти споживачам подолати початкові витрати і скористатися економією, яку забезпечують теплові насоси», - говорить виконавчий директор МЕА д-р Фатіх Бірол. «Це є нагальним пріоритетом для захисту домогосподарств з низьким рівнем доходу від енергетичної кризи». Про це йдеться у спеціальному випуску Індексу енергетичного переходу за 2022 рік Всесвітнього економічного форуму, присвяченому глобальній енергетичній кризі. Зростаюча кількість домогосподарств, у тому числі в країнах з розвиненою економікою, таких як Європейський Союз, Велика Британія та США, не в змозі задовольнити свої базові потреби в опаленні та освітленні за доступною ціною.[1]

Таким чином, теплові насоси мають великий потенціал як ефективне та стабільне джерело енергії для теплозабезпечення житлових будівель в Україні. Проте, при виборі теплового насоса, важливо ретельно розглянути всі його параметри, зокрема енергоефективність, витрати на установку та обслуговування, а також підходящість до конкретної будівлі.

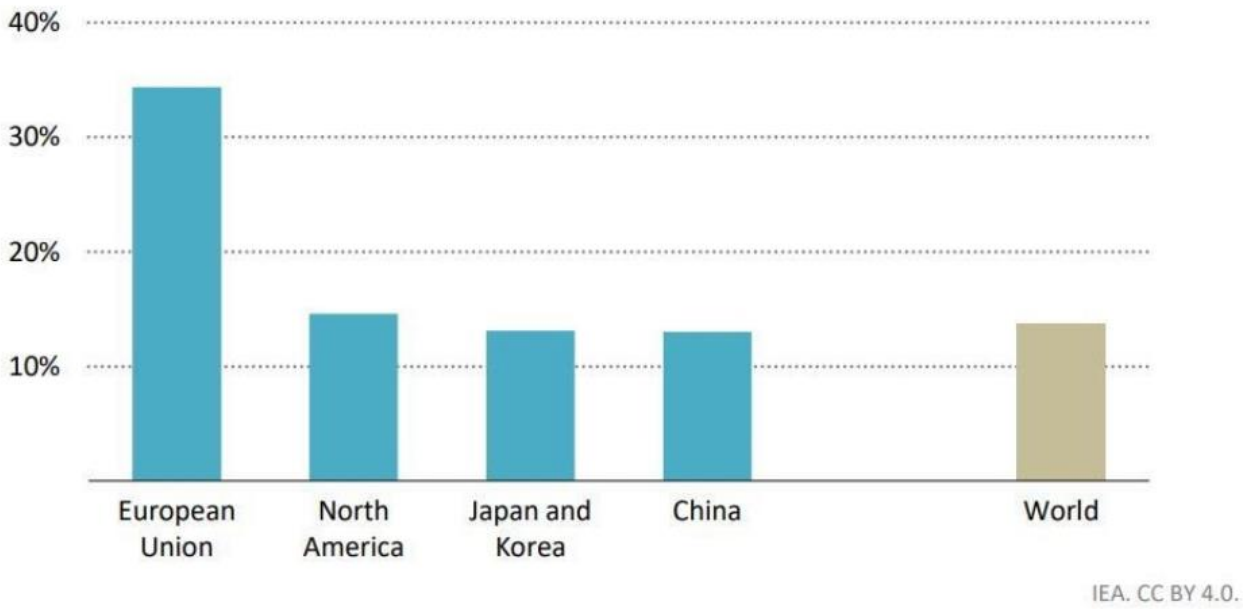
Теплові насоси використовують технологію, подібну до тієї, що використовується в холодильниках або кондиціонерах. Вони витягують тепло з джерела - навколишнього повітря - і підсилюють це тепло.

ТН набагато ефективніші за котли, оскільки вони передають тепло, а не виробляють його. Майже все це тепло потрапляє в приміщення, яке потрібно обігріти.

Насоси можуть працювати за будь-якої температури вище абсолютного нуля (-273°C), а воду, яку вони виробляють, можна використовувати повторно для змиву в туалетах або для вирощування рослин на гідропоніці. Вони також можуть

працювати з гібридними системами, що використовують, наприклад, газ для поповнення теплової потужності.

Незважаючи на зростання продажів, у 2021 році теплові насоси забезпечили лише 10% опалення для всіх типів будівель у всьому світі (рис. 1.17).



North America has the most heat pumps installed and China the largest market, but the European Union is the fastest-growing market today

Рисунок 1.17 - Гістограма, що показує, в якому регіоні теплові насоси встановлюються найшвидше

На рисунку 1.17 показані продажі теплових насосів у 2021 році, які були на 13% вищими у світі, ніж у 2020 році. Незважаючи на зростання продажів, теплові насоси забезпечили лише 10% опалення для всіх типів будівель по всьому світу у 2021 році. Загальна встановлена потужність склала понад 1 000 гігават, майже половина з яких припадає на Північну Америку. Деякі з найхолодніших країн світу мали найвищий рівень використання теплових насосів.

В Європі ТН скандинавські країни, включаючи Швецію, Норвегію та Фінляндію, є лідерами у впровадженні теплових насосів завдяки своїм сприятливим кліматичним умовам та політиці, що стимулює використання відновлюваних джерел енергії для опалення. За даними МЕА, теплові насоси забезпечували 60% опалення в Норвегії та понад 40% у Фінляндії та Швеції.

Німеччина, Франція та Великобританія також є важливими ринками для теплових насосів в Європі. [1]

В Азії в Японії, Південній Кореї та Китаї спостерігається значне зростання використання теплових насосів, особливо для опалення та охолодження приміщень у житлових і комерційних будівлях.

У Північній Америці використання теплових насосів зростає, особливо в Сполучених Штатах і Канаді, оскільки політики і споживачі надають пріоритет скороченню викидів парникових газів і енергоспоживання (рис. 1.18).

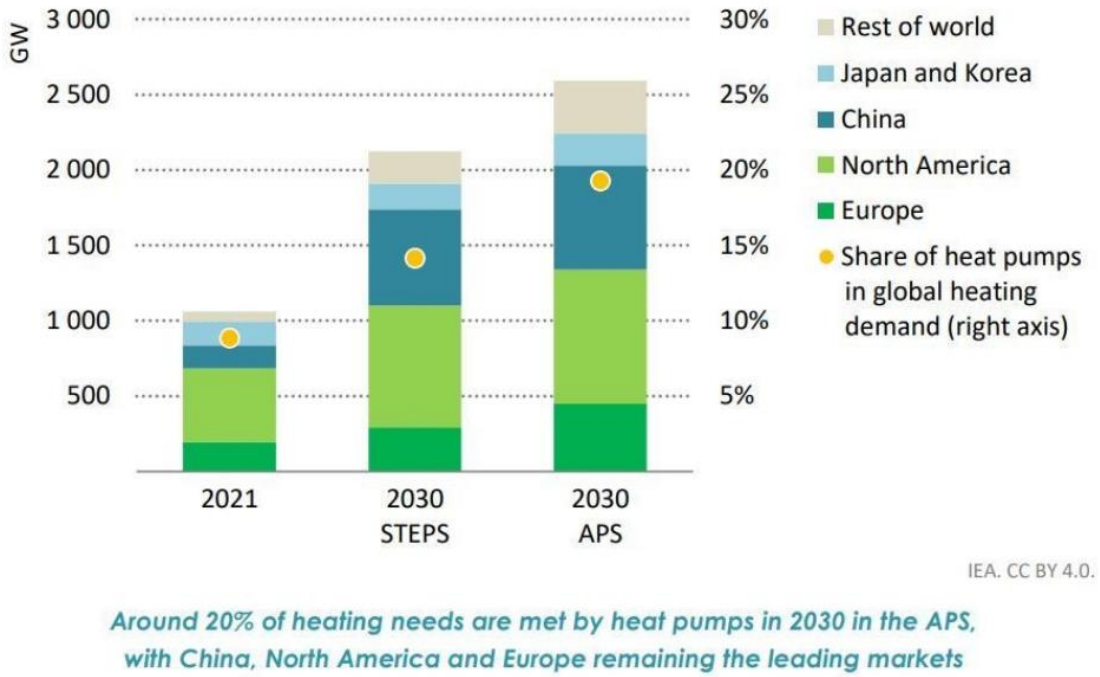


Рисунок 1.18 - Гістограма, що показує попит на опалення та частку теплових насосів у світі

Важливо відзначити, що ринок теплових насосів є динамічним, і такі фактори, як політика, технологічний прогрес і споживчі переваги можуть впливати на темпи впровадження в різних регіонах з плином часу.

Згідно з додатком МЕА «Технології теплових насосів», теплові насоси можуть забезпечити до 50% світового попиту на опалення до 2050 року, порівняно з приблизно 5% у 2020 році. [1]

Такий потенціал обумовлений високою ефективністю теплових насосів, які можуть забезпечувати опалення, гаряче водопостачання та охолодження приміщень, використовуючи лише невелику кількість електроенергії, що робить їх

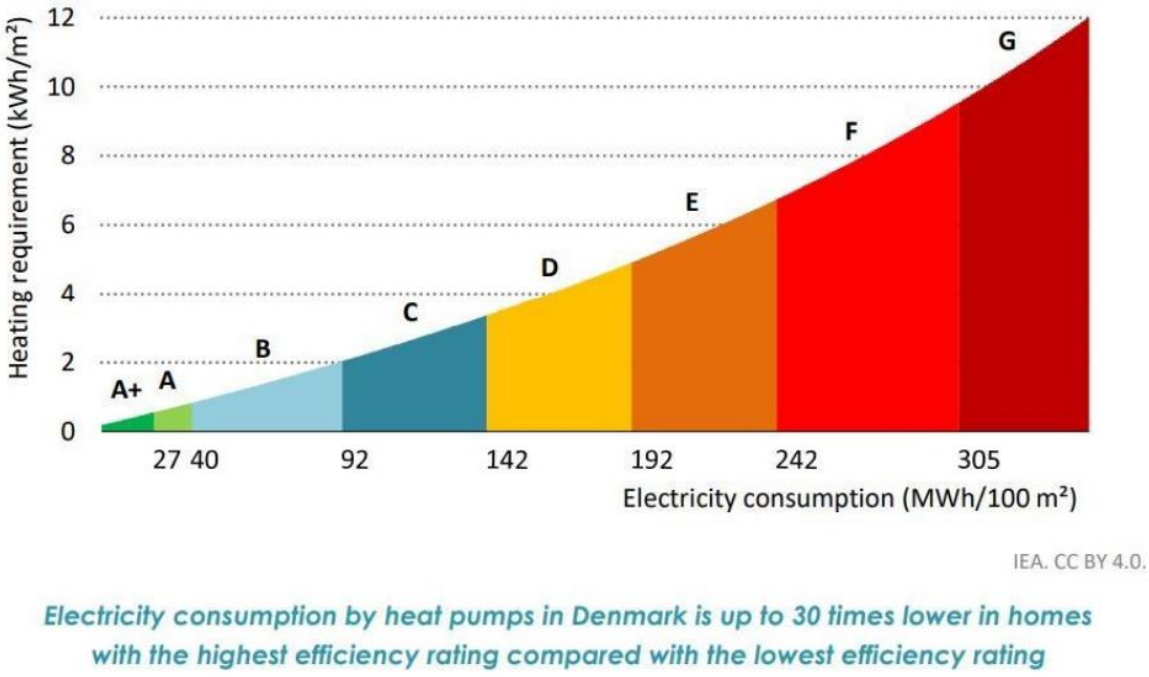
економічно вигідною та низьковуглецевою альтернативою традиційним системам опалення. Крім того, використання відновлюваної електроенергії для живлення теплових насосів, наприклад, сонячної або вітрової, може ще більше зменшити їхній вуглецевий слід.

Згідно зі стратегією STEPS, глобальна потужність теплових насосів у будівлях до 2030 року зросте до понад 2 100 ГВт, що задовольнить 14% світових потреб в опаленні будівель (Рис 1.18). Політична підтримка теплових насосів доступна в багатьох основних регіонах, що виробляють теплову енергію. Субсидії надаються в регіонах, які зараз покривають понад 70% світового попиту на опалення житлових будинків. Крім того, в декількох країнах були введені мінімальні стандарти енергоефективності для існуючих будівель і будівельні енергетичні норми для нових будівель, а заборона на використання котлів на викопному паливі діє на національному рівні в різних країнах, включаючи Данію, Францію, Нідерланди і Норвегію, а також на субнаціональному рівні в США і Канаді, серед інших.

Для досягнення національних цілей у сфері клімату та енергетичної безпеки необхідна посилена політична підтримка теплових насосів. В APS, який передбачає досягнення цих цілей, потужність теплових насосів зростає до майже 2 600 ГВт до 2030 року, задовольняючи майже 20% потреб сектору в опаленні. Наприклад, для досягнення мети REPowerEU щодо припинення імпорту природного газу з Російської Федерації задовго до 2030 року кількість теплових насосів в Європейському Союзі повинна майже потроїтися і досягти близько 45 мільйонів в APS.

Однак реалізація цього потенціалу потребуватиме значних інвестицій у виробництво електроенергії з відновлюваних джерел, підвищення енергоефективності та впровадження теплових насосів. Урядам, бізнесу та приватним особам необхідно буде співпрацювати для подолання бар'єрів на шляху впровадження теплових насосів, таких як початкові витрати та регуляторні проблеми, а також для прискорення переходу до низьковуглецевої системи опалення.

Підвищення енергоефективності може знизити експлуатаційні витрати. Добре ізольовані будівлі та ефективні теплові насоси, які можна заохочувати за допомогою мінімальних стандартів енергоефективності та маркування, мають важливе значення для зменшення потужності теплових насосів, необхідної для обігріву певної площі та об'єму води, тим самим зменшуючи витрати на їхню експлуатацію та встановлення. Це також дозволяє знизити температуру потоку, що дає змогу тепловим насосам працювати ефективніше і дешевше. У Данії було виявлено, що споживання електроенергії тепловими насосами до 30 разів нижче в будинках з найвищим рейтингом ефективності порівняно з будинками з найнижчим рейтингом ефективності (Рис. 1.19).



Electricity consumption by heat pumps in Denmark is up to 30 times lower in homes with the highest efficiency rating compared with the lowest efficiency rating

Рисунок 1.19 - Графік, що показує, які будинки отримають найбільшу вигоду від споживання електроенергії тепловими насосами

Підвищення рейтингу ефективності будинку на два класи (наприклад, з D до B) може вдвічі зменшити попит на теплову енергію, заощаджуючи гроші споживачів. У Звіті MEA про ринок енергоефективності за 2022 рік більш детально розглядається зв'язок між теплоізоляцією та тепловими насосами. [1]

Тарифи на електроенергію також можуть бути розроблені таким чином, щоб зменшити експлуатаційні витрати теплових насосів. Теплова інерція будівель і резервуарів для гарячої води пропонує значний потенціал для гнучкої експлуатації

теплових насосів, що дозволяє їм споживати електроенергію в непікові години доби. Ця гнучкість повинна бути оцінена за допомогою динамічних тарифів на електроенергію та автоматизованої роботи. Наприклад, компанія Electric Ireland пропонує нічний тариф, який приблизно вдвічі нижчий за денний, що дозволяє власникам теплових насосів запрограмувати свої пристрої на роботу саме вночі (Electric Ireland, 2022). Інтегровані функції обліку, зв'язку та активного управління можуть підвищити потенціал реагування теплових насосів на попит і мінімізувати експлуатаційні витрати. Це також може допомогти збалансувати загальну електроенергетичну систему і зменшити вплив широкомасштабного впровадження теплових насосів на піковий попит. Гнучкий режим роботи може також дозволити поєднати теплові насоси з сонячними фотоелектричними установками на даху, що може додатково знизити експлуатаційні витрати, хоча це і вимагає значних початкових витрат.

На експлуатаційні витрати теплового насоса також впливає те, наскільки добре він експлуатується та обслуговується. Важливо, щоб власник теплового насоса був поінформований про правильне поводження з ним та необхідність ретельного технічного обслуговування кваліфікованими спеціалістами, щоб він працював ефективно та з оптимальними витратами протягом усього терміну служби. Повітряні теплові насоси з часом можуть забиватися брудом, що призводить до підвищеного споживання електроенергії та передчасного зносу пристрою, а також до підвищення рівня шуму при роботі. Холодоагенти також мають тенденцію до витоку з часом, що знижує ефективність, а також сприяє зміні клімату. Системи попередження про витік холодоагенту наразі є комерційно доступними для великих теплових насосів; їх впровадження у житлові системи може допомогти користувачам визначити причину втрати продуктивності та уникнути викидів газу холодоагенту.

Будинки з поганою ізоляцією або неефективними системами опалення, такими як масляні або газові котли, можуть відчути найбільш значну економію енергії та скорочення витрат після встановлення теплових насосів. Теплові насоси є більш ефективними, ніж традиційні системи опалення, і в поєднанні з належною

ізоляцією вони можуть зменшити споживання енергії та заощадити гроші власників будинків на рахунках за електроенергію (рис. 1.20).

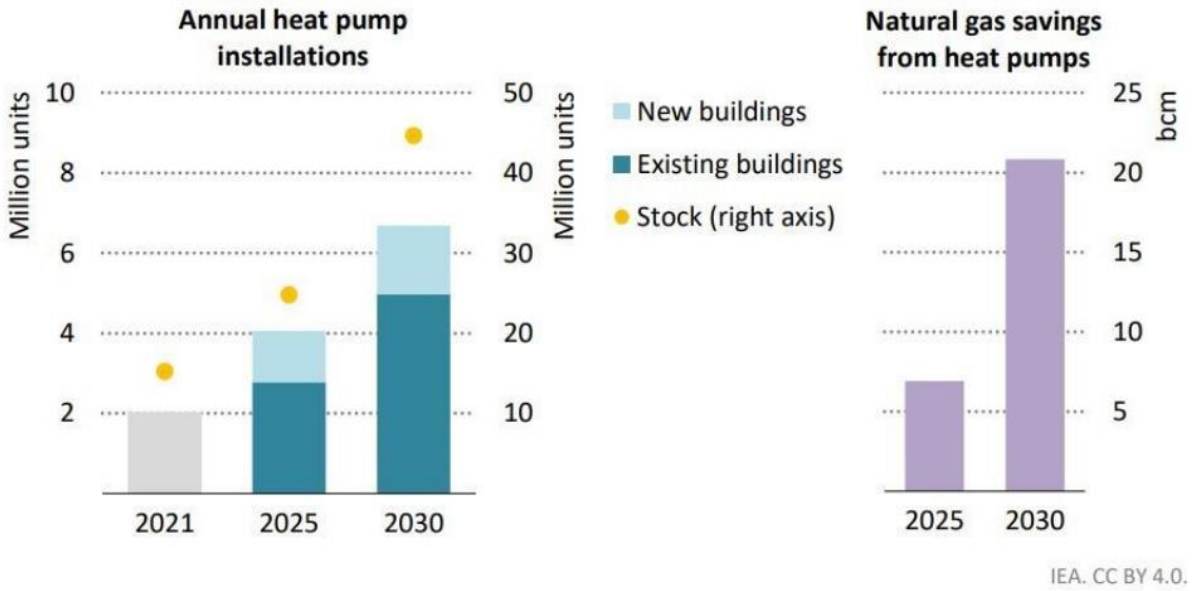


Рисунок 1.20 - Діаграми, які показують, скільки природного газу можуть замінити теплові насоси

Підвищення енергетичного рейтингу будинку лише на два класи (з D до B) може вдвічі зменшити попит на енергію, стверджують в MEA. Підвищення енергоефективності будівель також означає, що домогосподарства можуть використовувати теплові насоси меншої потужності, які дешевше встановлювати.[1]

Будинки в регіонах з високими цінами на електроенергію або з доступом до низьковуглецевих джерел електроенергії, таких як вітер або сонце, можуть отримати більшу вигоду від встановлення теплових насосів. Теплові насоси працюють на електроенергії, і економічна ефективність їхньої роботи залежить від вартості електроенергії в конкретному регіоні.

Також, будівлі, які не підключені до газової мережі або покладаються на дорогі та забруднюючі види палива, такі як мазут або пропан, можуть отримати більшу вигоду від встановлення теплових насосів. Теплові насоси забезпечують

чисте, відновлюване джерело тепла, яке може допомогти зменшити викиди парникових газів і поліпшити якість повітря в приміщенні.

Нарешті, більші будинки, які потребують більше опалення або охолодження, можуть отримати більше користі від встановлення теплових насосів. Більші будинки зазвичай потребують більших систем опалення, які можуть бути дорожчими в експлуатації та обслуговуванні. Теплові насоси можна масштабувати, щоб задовольнити потреби в опаленні та охолодженні більших будинків, забезпечуючи при цьому енергоефективність та економію коштів.

Щорічне встановлення теплових насосів має перевищити 6 мільйонів одиниць до 2030 року.

Вторгнення Росії в Україну спричинило енергетичну кризу в Європі, оскільки країни прагнуть покласти край своїй залежності від імпортованого російського газу. Встановлення теплових насосів є важливою частиною зусиль, спрямованих на скорочення імпорту газу, зазначає МЕА.[1]

Для Європи теплові насоси можуть скоротити використання природного газу на 7 мільярдів кубометрів до 2025 року і на 21 мільярд кубометрів до 2030 року. Заходи з енергоефективності, включаючи модернізацію існуючих будівель та обов'язкове використання теплових насосів у новобудовах, також допоможуть скоротити використання газу. [20]

Теплові насоси можуть замінити більшу частину або весь природний газ, що використовується для опалення приміщень у добре ізольованому будинку або будівлі. У холодному кліматі, де природний газ використовується як для опалення приміщень, так і для підігріву води, теплові насоси можуть замінити значну частину природного газу, що використовується для опалення приміщень, але можуть потребувати резервної системи опалення для підігріву води в періоди пікового попиту.

Однією з головних проблем для технології є вищі початкові витрати порівняно з варіантами опалення на основі викопного палива. У деяких регіонах це можна компенсувати меншими експлуатаційними витратами та вигідними загальними витратами протягом повного робочого циклу обладнання.

Рентабельність теплових насосів у порівнянні з їх альтернативами на викопному паливі фактично також пов'язана з цінами на нафту, газ, вугілля та електроенергію, які були на рекордних рівнях після вторгнення Росії в Україну, що робить використання цієї технології особливо привабливим зараз. Конкурентоспроможність теплових насосів також залежить від структури виробництва електроенергії, а також від того, як різні види палива оподатковуються та субсидуються. Податки та субсидії повинні відображати пріоритетність теплових насосів (наприклад, плата, пов'язана з більшою насиченістю відновлюваних джерел енергії, має бути перенесена з цін на електроенергію на ціни на викопне паливо). У порівнянні з іншими технологіями з нульовими викидами, теплові насоси в більшості випадків, хоча й не завжди, є найбільш економічно ефективною альтернативою на основі експлуатаційного циклу обладнання.

Крім економічних причин, проблеми пов'язані з обмеженням простору або розмірами системи розподілу опалення, а в деяких випадках – із заміною радіаторів більшими блоками, оскільки ефективність теплового насоса залежить від температури радіаторів і, отже, від їх розміру. Таким чином, розгортання теплових насосів добре поєднується з планами реконструкції найменш ефективних будівель, оскільки це може призвести до зниження температур теплоносія для задоволення потреб у теплі, дозволяючи працювати тепловим насосам з вищими рівнями ефективності. Однак ефективність теплових насосів слід і можна підвищити, особливо для найнижчих зовнішніх температур.

Інша проблема може бути пов'язана з дозволами на встановлення зовнішніх блоків, як в сенсі робочого шуму, так і з точки зору зовнішнього вигляду.

Крім того, навіть незважаючи на те, що теплові насоси добре відомі та схвалені кінцевими користувачами на деяких розвинутих ринках, рівень обізнаності та сприйняття в багатьох інших країнах низький. Для суттєвого збільшення глобального парку теплових насосів, що встановлюються щомісяця, виробники повинні збільшити обсяги поставок, а інсталятори мають бути навчені в достатній кількості та на відповідному рівні. Відповідальність за це має бути

розподілена між державним і приватним секторами. Органи державної влади повинні підтримувати та заохочувати перекваліфікацію та підвищення кваліфікації робочої сили (включаючи монтажників, планувальників, архітекторів, інженерів та підприємців), а також заохочувати програми навчання, організовані приватним сектором. [21]

Висновок

Зростання уваги до відновлюваної теплоенергетики в усьому світі пояснюється не лише екологічними міркуваннями, але й гострими проблемами енергетичної безпеки в контексті нинішньої глобальної енергетичної кризи.

Проведений аналіз показав, що очікується, що сучасне споживання тепла з відновлюваних джерел зросте майже на третину протягом 2022-2027 років, що збільшить сучасне використання відновлюваних джерел енергії в теплопостачанні з 11,4% до 14% до 2027 року.

Гібридні системи опалення згідно проведеного аналізу показали себе, як перспективне рішення, що допоможе зменшити витрати на енергію та підвищити енергоефективність. Ці системи зазвичай поєднують традиційні джерела опалення, такі як газові або масляні котли, з відновлюваними джерелами опалення, такими як сонячні панелі або теплові насоси. Використовуючи відновлювані джерела енергії, гібридні системи опалення можуть допомогти зменшити вуглецевий слід опалення, а також забезпечити економію коштів.

Теплові насоси згідно проаналізованих даних є перспективною технологією для побудови комбінованих систем опалення будівель в Україні, особливо в м'яких зимових умовах. Важливо враховувати специфіку клімату та потреби будівлі в опаленні, перш ніж вирішити, чи є тепловий насос правильним вибором. Крім того, важливо співпрацювати з кваліфікованим фахівцем, щоб забезпечити належне встановлення та обслуговування системи.

Важко надати конкретний аналіз тенденцій та використання відновлюваних джерел енергії у світі після російського вторгнення, оскільки вплив цієї події на світові енергетичні ринки та політику все ще розвивається. Але, очевидно, що

енергетична безпека європейських країн опинилась під загрозою, оскільки вони залежать від імпорту російського природного газу.

На основі проведеного аналізу можна сформулювати наступні задачі дослідження:

1. Аналіз критеріїв вибору теплового насосу для теплопостачання житлових будівель.
2. Розрахунок гібридної системи для потреб теплопостачання на основі теплового насосу.

Окрему увагу буде приділено визначенню оптимального режиму роботи системи, зокрема, розробці алгоритму вибору теплового насосу для гібридної системи, що дозволить досягти максимальної енергоефективності та знизити експлуатаційні витрати.

2 МЕТОДИКА ВИБОРУ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ДЛЯ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

2.1 Критерії вибору теплового насосу для теплозабезпечення житлових будівель

Вибір правильного теплового насосу може бути складною задачею, оскільки існує багато факторів, які необхідно врахувати. У цьому розділі розглянемо методику вибору теплового насосу для теплозабезпечення житлових будівель, щоб забезпечити комфортне та енергоефективне опалення житлового будинку.

Основною частиною цього етапу є визначення критеріїв вибору гібридної системи теплозабезпечення на основі теплових насосів. Для цього будуть розглянуті технічні параметри теплових насосів, такі як коефіцієнт продуктивності (COP), витрата теплоносія, температурний режим роботи та інші. Також будуть враховуватися вимоги до енергоефективності та економічності, зокрема, вартість системи, її ефективність та термін окупності.

Існує кілька показників, які можна використовувати для оцінки ефективності теплових насосів. Ось деякі з найпоширеніших:

Коефіцієнт продуктивності (COP) - це коефіцієнт, який вимірює ефективність теплового насоса або холодильної системи. Він визначається як відношення теплової потужності до кількості енергії, необхідної для виробництва цієї потужності. COP виражається числом, більшим за одиницю, причому чим більше число, тим вища ефективність.

$$\mathrm{COP} = \frac{Q_{\text{тепло}}}{N_{\text{потр}}} \tag{2.1}$$

Наприклад, якщо тепловий насос виробляє 3 кВт тепла на кожен 1 кВт спожитої електричної енергії, його COP дорівнює 3,0. Це означає, що тепловий насос втричі ефективніше виробляє тепло, ніж резистивний нагрівач, який виробляє 1 кВт тепла на кожен 1 кВт спожитої електроенергії.

COP є корисним показником для оцінки продуктивності теплових насосів, оскільки він безпосередньо вимірює кількість тепла, виробленого для даної кількості спожитої енергії. Це також стандартизований показник, який

широко використовується в промисловості, що дозволяє легко порівнювати продуктивність різних теплових насосів. Однак важливо зазначити, що COP (табл. 2.1) базується на ідеальних умовах експлуатації, а фактична продуктивність може змінюватися залежно від таких факторів, як температура, вологість і навантаження.

Таблиця 2.1 – Значення COP [22]

Значення COP (режим обігріву)	
A_{+++}	COP ≥ 5.10
A_{++}	4.60 ≤ COP < 5.10
A_{+}	4.00 ≤ COP < 4.60
A	3.40 ≤ COP < 4.00
B	3.10 ≤ COP < 3.40
C	2.80 ≤ COP < 3.10
D	2.50 ≤ COP < 2.80

Додавання букви S (season) до абревіатури коефіцієнта, говорить про те, що зараз актуальним і більш точним параметром є оцінка економічності роботи пристрою протягом одного сезону, а не як у випадку COP точково в даний момент.

Сезонний коефіцієнт енергоефективності (SEER) - це показник, який використовується для вимірювання ефективності систем кондиціонування повітря та теплових насосів у режимі охолодження. SEER визначається як загальна холодопродуктивність системи протягом типового сезону охолодження, поділена на загальне споживання електроенергії за той самий період.

SEER враховує той факт, що продуктивність системи кондиціонування або теплового насоса може змінюватися в залежності від таких факторів, як температура, вологість і навантаження. Замість того, щоб вимірювати ефективність в один момент часу, SEER є сезонно-зваженим середнім

показником, який відображає загальну продуктивність системи протягом усього сезону охолодження.

SEER виражається у вигляді коефіцієнта, де вищий показник означає вищу ефективність. У США мінімальне значення SEER для нових систем кондиціонування повітря регулюється Міністерством енергетики і варіюється залежно від розміру та типу системи. Станом на 2021 рік мінімальний SEER для центральних систем кондиціонування коливається від 13 до 14, тоді як мінімальний SEER для безканальних міні-спліт-систем становить 16.

При виборі системи кондиціонування або теплового насоса вищий показник SEER може свідчити про більшу енергоефективність і менші експлуатаційні витрати протягом усього терміну служби системи. Однак системи з вищим показником SEER можуть також мати вищу початкову вартість, тому важливо враховувати як короткострокові, так і довгострокові витрати при прийнятті рішення про покупку.

Коефіцієнт енергоефективності (EER). Цей показник схожий на COP, але використовується для оцінки ефективності кондиціонерів і ґрунтових теплових насосів. EER розраховується шляхом ділення потужності охолодження на електричне споживання.[23]

$$ERR = \frac{Q_{\text{х}}}{N_{\text{потр}}} \tag{2.2}$$

EER виражається у вигляді коефіцієнта, де вищий показник означає вищу ефективність. У Сполучених Штатах мінімальне значення EER для нових систем кондиціонування повітря регулюється Міністерством енергетики і варіюється залежно від типу та розміру системи. Станом на 2021 рік мінімальний EER для центральних систем кондиціонування коливався від 11,0 до 12,2, залежно від типу та потужності системи.

На відміну від SEER, який є сезонно-зваженим середнім показником, EER вимірюється за певних умов експлуатації. Ці умови включають зовнішню температуру 95°F і внутрішню температуру 80°F при відносній вологості 50%. EER дає уявлення про те, наскільки ефективно працює система кондиціонування за цих умов.

Коефіцієнт сезонної ефективності опалення (HSPF): Це показник, який використовується для оцінки ефективності повітряних теплових насосів в режимі опалення. HSPF розраховується шляхом ділення загальної теплової потужності протягом опалювального сезону на загальне споживання електричної енергії за той самий період.

Подібно до SEER, HSPF враховує той факт, що продуктивність системи теплових насосів може змінюватися залежно від таких факторів, як температура, вологість і навантаження. HSPF - це середньозважена за сезоном величина, яка відображає загальну продуктивність системи опалення за весь опалювальний сезон.

HSPF виражається у вигляді коефіцієнта, де вищий показник означає вищу ефективність. У США мінімальний показник HSPF для нових систем повітряних теплових насосів регулюється Міністерством енергетики і варіюється залежно від типу та розміру системи. Станом на 2021 рік мінімальний HSPF для повітряних теплових насосів становить від 8,2 до 9,5.

При виборі системи повітряних теплових насосів вищий показник HSPF може свідчити про більшу енергоефективність та нижчі експлуатаційні витрати протягом усього терміну служби системи. Однак, як і у випадку з SEER, системи з вищим показником HSPF можуть мати вищу початкову вартість, тому важливо враховувати як короткострокові, так і довгострокові витрати при прийнятті рішення про покупку. Крім того, важливо зазначити, що HSPF базується на ідеальних умовах експлуатації, а фактичні показники можуть відрізнятися залежно від таких факторів, як клімат і навантаження.

При виборі системи кондиціонування вищий показник EER може свідчити про більшу енергоефективність та нижчі експлуатаційні витрати. Однак, як і у випадку з SEER та HSPF, системи з вищими показниками EER можуть мати вищу початкову вартість. Важливо враховувати як короткострокові, так і довгострокові витрати при прийнятті рішення про покупку, а також такі фактори, як розмір і планування приміщення, що охолоджується.

Загалом, найбільш важливим показником для оцінки ефективності теплового насоса є COP, оскільки він безпосередньо вимірює відношення вихідної теплової потужності до вхідної енергії. Однак інші показники, такі як SEER і HSPF, можуть бути більш придатними для конкретних застосувань, наприклад, для теплових насосів з повітряним джерелом, що використовуються для охолодження або опалення.

2.2 Алгоритм побудови гібридної системи для теплозабезпечення житлових будівель

Гібридні системи теплопостачання призначені для об'єднання декількох джерел тепла для забезпечення надійного та ефективного опалення будівель. Розрахунок таких систем включає кілька етапів для забезпечення оптимального проектування та продуктивності. На рисунку 2.1 наведено детальний алгоритм розрахунку гібридних систем теплопостачання:

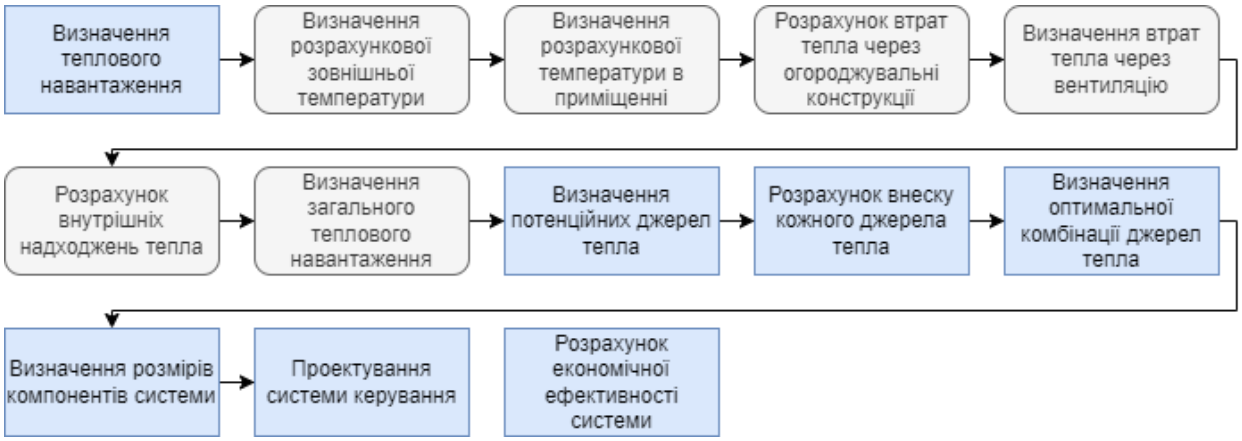


Рисунок 2.1 – Алгоритм розрахунку гібридних систем для потреб теплозабезпечення

Крок 1: Визначення теплового навантаження

Першим кроком у проектуванні гібридної системи теплопостачання є визначення теплового навантаження будівлі. Це передбачає розрахунок кількості тепла, необхідного для підтримання комфортної температури всередині будівлі, з урахуванням таких факторів, як ізоляція, орієнтація будівлі та клімат. Опалювальне навантаження можна визначити за допомогою програмного забезпечення для розрахунку теплового навантаження або за допомогою стандартних галузевих процедур.

Крок 2: Визначення потенційних джерел тепла

Далі визначте потенційні джерела тепла, які можуть бути використані в гібридній системі. До поширених джерел тепла належать котли, теплові насоси, сонячні теплові колектори, котли на біомасі та мережі централізованого теплопостачання. Вибір джерел тепла повинен ґрунтуватися на їх доступності, вартості, ефективності та впливі на навколишнє середовище.

Крок 3: Розрахувати внесок кожного джерела тепла

Для кожного потенційного джерела тепла розрахуйте кількість тепла, яку воно може надати системі. Це передбачає визначення ефективності джерела тепла, доступної потужності та будь-яких обмежень на його роботу. Наприклад, котел на біомасі може мати обмежений час роботи або потребувати частого дозаправлення.

Крок 4: Визначення оптимальної комбінації джерел тепла

Поєднання теплового насоса та фотоелектричних сонячних панелей може бути реалізовано різними способами, залежно від конкретних вимог, проектування системи та наявних ресурсів. Ось кілька найпоширеніших варіантів поєднання теплових насосів з фотоелектричними панелями:

Підключені до мережі фотоелектричні панелі та тепловий насос: У цій конфігурації і фотоелектричні сонячні панелі, і тепловий насос підключені до електромережі. Фотоелектричні панелі виробляють електроенергію, яка спочатку споживається електричними навантаженнями в будинку. Надлишок електроенергії повертається назад в мережу, заробляючи кредити або компенсуючи споживання енергії. Тепловий насос живиться електроенергією з мережі, яка може включати як сонячну електроенергію, що генерується фотоелектричними панелями, так і електроенергію з мережі, коли попит на неї перевищує виробництво фотоелектричних панелей.

Тепловий насос прямого сонячного випромінювання: У цій установці фотоелектричні сонячні панелі безпосередньо підключаються до теплового насоса без підключення до електромережі. Сонячні панелі виробляють електроенергію постійного струму, яка подається безпосередньо в тепловий

насос, забезпечуючи його роботу. Ця конфігурація підходить, коли є хороша відповідність між фотоелектричним виробництвом і електричними потребами теплового насоса, а також коли підключення до електромережі є неможливим або небажаним.

Фотоелектрична система з акумуляторною батареєю та тепловим насосом: Цей варіант поєднує фотоелектричні сонячні панелі, акумуляторну батарею та тепловий насос. Сонячні панелі виробляють електроенергію протягом дня, яка використовується для живлення електричних навантажень у будинку та заряджання акумуляторів. Надлишок електроенергії можна зберігати в акумуляторах для подальшого використання, наприклад, у періоди низького виробництва сонячної енергії або високого попиту на електроенергію. Накопичена енергія потім може бути використана для живлення теплового насоса, коли потрібне опалення, зменшуючи залежність від електромережі.

Крок 5: Визначення розмірів компонентів системи

Крок 6: Проектування системи керування

Система керування повинна бути здатна відстежувати та контролювати роботу джерел тепла, насосів та інших компонентів системи для підтримки стабільного та ефективного теплопостачання. Система управління повинна також включати функції безпеки для запобігання перегріву або інших небезпек. Нижче наведені деякі ключові характеристики добре спроектованої системи управління:

Датчики температури: Температурні датчики повинні бути розміщені в ключових точках системи опалення, таких як труби подачі та повернення теплового насосу та котла на біомасі, для моніторингу температури води для опалення. Це дозволить системі керування регулювати потужність джерел тепла за потреби для підтримання постійної та комфортної температури в приміщенні.

Логіка управління: Система управління повинна включати логіку управління, яка може визначити оптимальну комбінацію джерел тепла для

задоволення попиту на опалення на основі зовнішньої температури та опалювального навантаження. Логіка управління повинна мати можливість перемикатися між тепловим насосом і котлом на біомасі або регулювати рівні їхньої потужності за необхідності для забезпечення найбільш ефективної та результативної роботи системи.

Функції безпеки: Система управління повинна включати функції безпеки для запобігання перегріву або інших небезпек. Наприклад, система повинна мати можливість відключати джерела тепла або насоси, якщо температура води перевищує певну межу або якщо в системі виникла несправність.

Інтерфейс користувача: Система управління повинна мати простий у використанні інтерфейс, який дозволяє користувачеві контролювати і налаштовувати систему за необхідності. Інтерфейс повинен надавати інформацію про роботу системи в режимі реального часу і дозволяти користувачеві регулювати задану температуру, перемикатися між джерелами тепла або регулювати рівень потужності джерел тепла.

Віддалений доступ: Система керування повинна також забезпечувати віддалений доступ, щоб користувач або системний адміністратор міг здійснювати моніторинг та керування системою з віддаленого місця. Це може бути особливо корисно для усунення несправностей або технічного обслуговування.

Крок 7: Визначення економічної доцільності

7.1) Визначити витрати на встановлення гібридної системи, включаючи вартість теплового насосу та будь-яку необхідну модернізацію інфраструктури.

7.2) Визначити витрати на обслуговування системи, включаючи регулярне технічне обслуговування та будь-які необхідні ремонти або заміни.

7.3) Визначити експлуатаційні витрати системи..

7.4) Визначити потенційну економію енергії гібридної системи порівняно з існуючою системою опалення або альтернативними системами опалення.

7.5) Розрахувати термін окупності гібридної системи, тобто час, необхідний для того, щоб економія енергії покрила початкові інвестиції.

7.6) Оцінити вартість життєвого циклу системи, яка включає витрати на встановлення, обслуговування та експлуатацію протягом очікуваного терміну служби системи.

7.7) Порівняти економічну ефективність гібридної системи з альтернативними системами опалення, такими як повністю електричні теплові насоси або традиційні котли на викопному паливі.

Проектування гібридної системи теплопостачання включає визначення теплового навантаження, визначення потенційних джерел тепла, розрахунок внеску кожного джерела, визначення оптимальної комбінації джерел тепла, розрахунок розмірів компонентів системи та проектування системи управління. Дотримання цього алгоритму допоможе забезпечити ефективність, надійність та економічність гібридної системи теплопостачання.

2.3 Економічні показники для визначення потенціалу гібридних систем на основі теплових насосів

В останні роки все більше людей в Україні вибирають гібридні системи на основі теплових насосів для опалення своїх будинків і зменшення витрат на електроенергію. Гібридні системи на основі теплових насосів використовують енергію з різних джерел, включаючи повітря, ґрунт, воду та сонце, що дозволяє значно зменшити витрати на опалення та покращити економічну ефективність.

На даному етапі будуть розглянуті основні економічні показники, які допоможуть визначити потенціал гібридної системи на основі теплових насосів.

Отже, економічні показники можна умовно поділити на 2 групи: статичні та динамічні показники. Розглянемо деякі види методів оцінки ефективності інвестиційних проектів.

Методи, що не передбачають використання процедури дисконтування, – статичні методи або прості методи [24,25]. Зазвичай застосовується для зовнішньої демонстрації успішності того чи іншого проекту. Показники цієї групи у своїй формулі не враховують зміни вартості грошей у часі. Даний показник краще використовувати на початкових етапах оцінки та відбору інвестиційних проєктів.

Існують такі методи: метод розрахунку періоду окупності інвестицій (PP) [24,25].

Термін окупності (PP) – це період часу, за який початкові витрати на реалізацію проекту покриваються сумарними результатами (економією) від його здійснення. Економічний зміст даного показника полягає в тому, щоб показати строк, за який інвестор поверне назад свої вкладені гроші (капітал) [24,25].

$$PP = \sum_{t=1}^{n} CF_t \geq I_0 \quad (2.3)$$

де, CF – грошові потоки, I_0 – інвестиції, n – кількість періодів окупності інвестицій в проєкт.

Перевага статичних показників в простоті розрахунку. До недоліків даної групи можна віднести складність прогнозування майбутніх грошових надходжень / доходів від проекту.

Динамічними називаються показники, які визначаються на основі значень результатів за проектом протягом всього строку реалізації проекту. При їх розрахунку використовується техніка дисконтування. Важливим етапом цього методу є визначення ставки дисконту.

NPV – являє собою суму чистої економії за весь розрахунковий період з урахуванням зміни вартості грошей. Враховує не тільки витрати протягом життєвого циклу, а й ефект від реалізації заходів [24,25].

$$NPV = -Inv + \sum_{i=1}^{n} \frac{(E_i - C_i)}{(1+r)^i} \quad (2.4)$$

де n – кількість років в періоді; і – поточний рік; Inv – інвестиції в проект; Ei – економія за період; Ci – поточні витрати за період; r – норма дисконту.

Якщо NPV>0 – грошовий потік проекту за конкретний термін покрив своїми надходженнями інвестиції та поточні витрати.

Якщо NPV=0 – проект покрив інвестиції і поточні витрати та забезпечив мінімальний дохід.

Якщо NPV<0 – проект в розглянутий період не забезпечив навіть мінімального доходу, закладеного в ставці дисконтування, а можливо, не покрив навіть інвестиції та поточні витрати.

Основна перевага NPV полягає в тому, що всі розрахунки проводяться на основі грошових потоків, а не чистих доходів. Окрім того, ефективність головного проекту можна оцінити шляхом підсумовування NPV його окремих підпроектів. Це дуже важлива властивість, яка дає змогу використовувати NPV як основний критерій при аналізі проекту.

Основним недоліком NPV є те, що її розрахунок вимагає детального прогнозу грошових потоків на термін життя проекту. Часто робиться припущення про постійність ставки дисконту.

Необхідно зауважити, що у разі незалежних проектів, і метод NPV, та IRR приводять до однакового результату про прийняття чи відхилення проектів. Але при оцінці взаємовиключних проектів, особливо проектів з різними масштабами чи розподіленням грошових потоків в часі, повинен бути використаний метод NPV [24,25].

Дисконтований термін окупності (DPP, Discounted Payback Period) – показник відображає період, через який окупляться початкові інвестиційні витрати. Формула розрахунку коефіцієнта подібна формулі оцінки періоду окупності інвестицій (PP), але з використанням дисконтування [7].

$$DPP = \sum_{i=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} \geq I_0 \qquad (2.5)$$

де, CF – фінансові потоки, що отримуються від реалізації інвестиційного проєкту; r – ставка дисконтування; n – кількість періодів інвестування, I_0 – інвестиції.

Перевагою коефіцієнта є можливість використовувати у формулі властивість грошей змінювати свою вартість з часом за рахунок інфляційних процесів. Це підвищує точність оцінки періоду повернення вкладеного капіталу. Недоліком показника є те, що використання даного коефіцієнта полягає в точному визначенні майбутніх грошових надходжень від інвестиції та оцінці ставки дисконтування. Ставка може змінюватися на всьому життєвому циклі інвестиції через дії економічних, політичних, виробничих факторів.

Метод розрахунку терміну окупності найбільш виправданий у випадку, коли інвестиції мають високий ступінь ризику. Тому чим менший термін окупності, тим менш ризикованим є проект. Але ці методи мають суттєвий недолік, який полягає в ігноруванні потоків грошових коштів, які витрачаються чи надходять після завершення періоду окупності.

Висновок

Гібридні системи теплопостачання призначені для об'єднання декількох джерел тепла для забезпечення надійного та ефективного опалення будівель. Розрахунок таких систем включає кілька етапів для забезпечення оптимального проектування та продуктивності.

Основною частиною цього етапу було визначення критеріїв вибору гібридної системи теплозабезпечення на основі теплових насосів. Для цього були технічні параметри теплових насосів, такі як коефіцієнт продуктивності (COP), витрата теплоносія, температурний режим роботи та інші. Також враховуватися вимоги до енергоефективності та економічності, зокрема, вартість системи, її ефективність та термін окупності.

Запропонований алгоритм можна використовувати для розрахунків гібридних систем для потреб теплопостачання житлових будівель. Він є універсальним, а тому підходить для будь-якого джерела тепла як відновлювального, так і не відновлювального.

На основі запропонованого алгоритму з метою його апробації доцільно провести розрахунок гібридної системи тепло забезпечення конкретної будівлі.

3 ПОБУДОВА ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ НА ОСНОВІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

3.1 Визначення теплового навантаження будівлі

Для розрахунку теплового навантаження будівлі необхідно врахувати кілька факторів, зокрема клімат, орієнтацію будівлі, її розмір і форму, ізоляцію та вентиляцію.

Втрати тепла через огороджувальні конструкції:

Визначити тепловтрати через огороджувальні конструкції (стіни, дах, вікна тощо), використовуючи рівняння теплопередачі та коефіцієнти теплопередачі, беручи до уваги коефіцієнт теплопровідності та площу кожного елементу.

Зовнішні стіни будівлі (див. рис. 3.1-3.2) на першому поверсі виконані з глиняної цегли, ззовні утеплені пінополістиролом (0,05 м) та оштукатурено зовні цементно-пісчаним розчином і пофарбовано у бежевий колір (товщина шару складає 0,045 м), оштукатурені та пофарбовані з внутрішньої сторони.

За результатами візуального обстеження зовнішніх стін будівлі, ознак фізичного зносу конструкцій не виявлено (див. таб. 3.1).

Таблиця 3.1 – Стан огороджувальних конструкцій

Загальна оцінка існуючого стану	добрий							
Загальна площа (м²)	507							
Орієнтація	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
Площа стіни (м²)	0	161,4	0	22,66	0	160,3	0	162,7

Коефіцієнт тепловіддачі зовнішніх стін, покриттів, перекриттів над проїздами й над холодними підпіллями з Північної будівельно-кліматичної зони: $\alpha_з = 23\ \frac{Вт}{м^2 * С^\circ}$ та коефіцієнт тепловіддачі стін, підлоги, рівних стель: $\alpha_в = 8{,}7\ \frac{Вт}{м^2 * С^\circ}$.

Опір теплопередачі визначається за формулою (3.1):

$$R = \frac{1}{\alpha_з} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_в} \quad (3.1)$$

$$R = \frac{1}{23} + \frac{0{,}51}{0{,}36} + \frac{0{,}05}{0{,}044} + \frac{0{,}045}{0{,}93} + \frac{1}{8{,}7} = 2{,}76 \frac{м^2 * С^\circ}{Вт}$$

Коефіцієнт теплопередачі розраховують за формулою (3.2):

$$К = \frac{1}{R} \quad (3.2)$$

$$К = \frac{1}{2{,}67} = 0{,}36 \frac{Вт}{м^2 * С^\circ}$$

Виходячи до розрахункових показників опору теплопередачі рекомендується впровадження додаткового утеплення конструкцій з урахуванням вимог та положень [7] та [8]. Перед початком робіт необхідно видалити зовнішній декоративно-оздоблювальний шар.

Обстеження вікон

Під час обстеження було виявлено 27 вікон різної геометричної форми та розміру. Всі вони знаходяться у гарному стані та мають металопластикові рами і подвійне оскління. Загальна площа оскління – 45 м^2 . За результатами візуального обстеження світлопрозорих конструкцій будівлі ознак фізичного зносу не виявлено. Зовнішній вигляд вікон наведено на рисунку 3.1.

а) б) в)

Рисунок 3.1 а) – Вікна зсередини; б), в) - Зовнішній вигляд вікон

δ_1=δ_3= 4 мм – товщина пластика; δ_2= 16 мм – відстань між склом; λ_1=λ_3=0,02 Вт/м ·°С - коефіцієнт теплопровідності для δ_1=δ_3; λ_2=0,2 Вт/м ·°С - коефіцієнт теплопровідності для δ_2.

Отже, отримаємо наступні значення:

$$R_{\text{пласт.вікон}} = 0{,}34\ \frac{\text{м}^2 * \text{С}^\circ}{\text{Вт}}$$

$$\text{К}_{\text{пласт.вікон}} = 2{,}93 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{С}^\circ}$$

Дані занесено до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнт теплопередачі вікон

Тип та матеріал рами	Площа конструкцій за орієнтацією, м^2							
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
Сумарна площа конструкцій	0	22,70	0	0	0	22,61	0	0
Коефіцієнт теплопередачі (Вт/м²К)	-	2,93	-	-	-	2,93	-	-

Обстеження дверей

Двоповерховий корпус має один тип дверей(див. рис. 3.2). Їх загальна кількість – 4 шт. Всі вони металопластикові з подвійним склінням. На дверях наявні дотягувачі. Загальна площа дверей - 6 м^2. За результатами візуального обстеження дверей будівлі ознак фізичного зносу конструкцій не виявлено.

Рисунок 3.2– Зовнішній вигляд дверей

Коефіцієнт теплопередачі дверей:

δ_1= 40 мм – товщина дверей,

λ_1=0,049 Вт/м ·°С - коефіцієнт теплопровідності для δ_1.

Отже, отримаємо наступне значення коефіцієнта:

$$R_{\text{дверей}} = 0{,}55\ \frac{\text{м}^2 * \text{С}^\circ}{\text{Вт}}$$

$$\text{К}_{\text{дверей}} = 1{,}82 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{С}^\circ}$$

Обстеження даху

Дах будівлі скатний (див. рис. 3.6 - 3.8), знаходиться над неопалювальним горищем. Покриття будівлі виконане з дерев'яних балок товщиною 0,15 м, має повітряний прошарок, та утеплене листами пінополістиролу (0,05 м) поверх вкрите мінеральною ватою (0,05 м). Дах горища складений на дерев'яних стропилах та зверху вкритий шаром металочерепиці. Стан кровлі наведений у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Стан даху

Загальна оцінка існуючого стану	задовільний
Загальна площа (м²)	406

Отже, отримаємо наступні значення:

$$R_{\text{даху}} = 3{,}95\ \frac{\text{м}^2 * \text{С}^\circ}{\text{Вт}}$$

$$\text{К}_{\text{даху}} = 0.25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{С}^\circ}$$

Рекомендується виконання утеплення покрівлі відповідно до сучасних нормативних вимог.

Обстеження підлоги

Підлога будівлі наведена на рис. 3.9 та розташована по грунту. Дані зведені у таблиці 3.4. Розрахунки зведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.4 – Оцінка підлоги

Загальна оцінка існуючого стану		задовільний			
Загальна площа (м²)	406	Опір теплопередачі (м²К/Вт)	0,98	Коеф. теплопередачі (Вт/м²К)	1,02

Таблиця 3.5 – Розрахунки коефіцієнту теплопередачі для підлоги

Конструкція підлоги	Залізобетонна пустотіла плита перекриття (0,22 м.); розчин цементно-піщаний (0,035 м.); керамічна плитка (0,005 м.);	Тип	Підлога по грунту

Тип підлоги	Периметр	Площа	Товщина	Теплопередача	Коеф. тепл. U
	м	м²	м		Вт/м²К
П1	177,06	406,11	0,26	Теплопередача до грунту	1,02

Визначаємо, що м. Київ знаходиться в 1 температурній зоні. Після цього з рисунку 3.10 визначаємо мінімально допустиме значення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій та порівнюємо їх з існуючими у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Порівняння існуючих та мінімально допустимих опорів

Огорожа	$\boldsymbol{R}_{\text{іcн.}}$, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$\boldsymbol{R}_{\text{норм.}}$, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	**Різниця, рази**
Стіни	2,76	3,3	1,195
Вікна	0,34	0,75	2,2
Двері	0,55	0,6	1,09
Дах	3,95	4,95	1,25
Підвал	0,98	3,75	3,8

Ч.ч.	Вид огороджувальної конструкції	Значення $R_{q\,min}$, м²·К/Вт, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщені покриття	6,0	5,5
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу	4,95	4,5
4	Горищні перекриття неопалюваних горищ	4,95	4,5
5	Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами	3,75	3,3
6	Світлопрозорі огороджувальні конструкції	0,75	0,6
7	Зовнішні двері	0,6	0,5

Рисунок 3.3 – Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій житлових та громадських будівель в залежності від температурної зони.

Отже, можемо зробити висновки, що необхідно виконати утеплення даху, оскільки розрахункове значення відрізняється від нормативного у 1,25 разів. Також, буде доцільним провести доутеплення зовнішніх стін.

Визначимо кількість теплоти, необхідну для опалення приміщень будівлі $Q_{оп}$ за місяць.

Теплові втрати через огороджуючи конструкції :

$$Q = K \cdot (t\text{в} - t\text{н}) \cdot F \cdot \eta, \quad (3.3)$$

де К – коефіцієнт теплопередачі; tв – внутрішня температура в приміщенні (tв=20°С); tн - розрахункова температура зовнішнього повітря (tн складала -2,5°С – середня температура у січні 2020 року); F- площа поверхні огородження; η- коефіцієнт додаткових втрат .

Сумарні втрати розраховують за формулою (3.3):

$$Q_{\sum} = Q\text{с} + Q\text{в} + Q\text{п} + Q\text{д} + Q\text{кр} \quad (3.4)$$

Розрахунки зведемо до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Теплові втрати у будівлі

Стіни	Площа, м2	Коефіцієнт теплопередачі	Тепловтрати
Стіни	507,03	0,36	4599,8
Вікна	45	2,93	3322,6
Двері	6	1,82	275,18
Дах	406	0,25	8323
Підлога	406	1,02	15577
Сума		Вт	32097,58
Сума		Гкал	0,283

Втрати тепла через вентиляцію:

Визначити тепловтрати через вентиляцію, які залежать від кратності повітрообміну, температури зовнішнього та внутрішнього повітря, а також питомої теплоємності повітря.

Втрати тепла через вентиляцію можна розрахувати за наступною формулою:

$$Q = V \times \Delta T \times Cp / 3600 \quad (3.5)$$

де Q - тепловтрати у ватах, V - швидкість вентиляції в м³/с, ΔT - різниця температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям в °C, Ср - питома теплоємність повітря в Дж/кгК.

Оскільки, при обстеженні будинку було виявлено, що вентиляція відсутня, будемо вважати що втрати рівні нулю.

Внутрішні надходження тепла:

Визначити будь-які додаткові внутрішні надходження тепла від таких джерел, як прилади, освітлення та мешканці.

Внутрішні надходження тепла можна розрахувати шляхом додавання теплової потужності всіх внутрішніх джерел, таких як люди, освітлення та обладнання. Наприклад, тепловіддачу від людей можна оцінити за наступною формулою:

$$Q = N \times P \quad (3.6)$$

де Q - теплова потужність у ватах, N - кількість мешканців, P - швидкість метаболізму у ватах на людину (зазвичай 80-100 Вт).

$Q = 40 \cdot 90 = 3600$ Вт *або 0,0309 Гкал*

Надходження тепла від сонячної радіації через вікна не рахується, бо площа вікон для приміщень з ПК повинна становити не менше 20% від площі підлоги. В нашому ж випадку це значення не перевищує 12%.

Загальне теплове навантаження:

Складіть втрати тепла через огороджувальні конструкції, втрати тепла через вентиляцію та внутрішні надходження тепла, щоб отримати загальне опалювальне навантаження.

Загальне теплове навантаження може бути розраховане шляхом додавання втрат тепла через огороджувальні конструкції, втрат тепла через вентиляцію та внутрішніх надходжень тепла:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{огроджуючі конструкції}} + Q_{\text{вентиляція}} + Q_{\text{внутрішні}} \quad (3.7)$$

де $Q_{\text{огорождуючі конструкції}}$ - це тепловтрати через огороджувальні конструкції, $Q_{\text{вентиляція}}$ - це тепловтрати через вентиляцію, а $Q_{\text{внутрішні}}$ - це внутрішні надходження тепла.

$$Q\text{заг} = 0{,}283 + 0{,}0309 = 0{,}3139 \text{ Гкал}$$

3.2 Визначення потенційних джерел тепла гібридної системи

Необхідно визначити доступні для системи джерела тепла, якими в даному випадку є тепловий насос та сонячні панелі.

Роглянемо момент сумісності технології теплового насосу та ресурсів, що у нас є в цьому об’єкті. Графічно результати показано на рисунку 3.4.

В таблиці 1.2 вказана вартість установки разом з встановленням.

Отже, за основу було взято 4 типи ТН: грунт-вода, вода-вода, повітря-вода та повітря-повітря. Перше питання, що розглядається це наявність території для встановлення ТН. Оскільки для встановлення ТН типу грунт-вода та вода-вода необхідно мати велику площу, це птання є важливим.

Друге питання, це сумісність з наявною системою вентиляцію. В данному випадку загальна система примусової припливно-витяжної вентиляції відсутня. Тож, якщо ми обираємо ТН повітря-повітря, то треба вкласти додаткові кошти на проектування вентиляції.

Третє питання: Сумісність з наявною системою опалення. На обєкті наявні радіатори опалення, але більше використовуються електричні конвектори плінтусного виконання «ECONI» у кількості 39 одиниць загальною потужністю 11 кВт.

За кожне питання дається кількість балів від 0 до 1, де 0 балів – повна несумісність з наявними ресурсами об’єкта; 0,5 – часткова сумісність з ресурсами об’єкта; 1 – повна сумісність. Результати проведені в таблиці 3.8:

Таблиця 3.8 – Оцінка сумісності ТН з наявними ресурсами об’єкту

	Повітря-повітря	Повітря-вода	Грунт-вода	Вода-вода
Вартість ТН	5760	7040	15000	16400
Наявність території для встановлення ТН	1	1	0	0
Сумісність з наявною системою вентиляції	0	1	1	1
Сумісність з наявною системою опалення	1	1	1	0,5
Сума	2	3	2	1,5

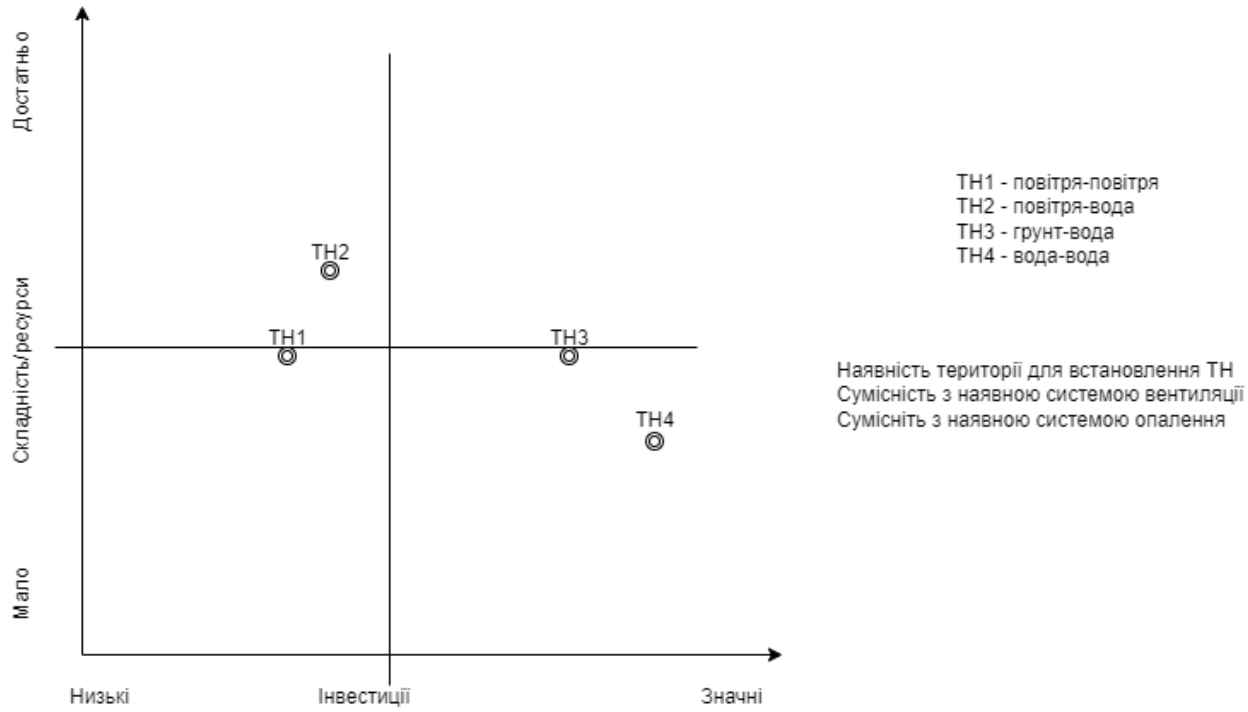


Рисунок 3.4 – Сумісність технології теплового насосу з наявними ресурсами на об’єкті

Отже, з отриманого графіку можемо побачити, що найбільше по параметрам підходить ТН типу повітря-вода. Його вартість є трохи вищою за повітря-повітря. Але для типу ТН повітря-повітря необхідно проектувати нову систему вентиляції з нуля, що також додає своєї вартості.

3.3 Розрахунок внесок кожного джерела тепла

Тепловий насос типу повітря-вода підходить об’єкту по всім параметрам найбільше. Отже, знаючи теплове навантаження, ми можемо визначити якої потужності має бути ТН. Був обраний тепловий насос Cooper&Hunter UIMNM 36 кВт, що зображений на рис. 3.5-3.6.[26]

Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд ТН Cooper&Hunter UIMNM 36 кВт [26]

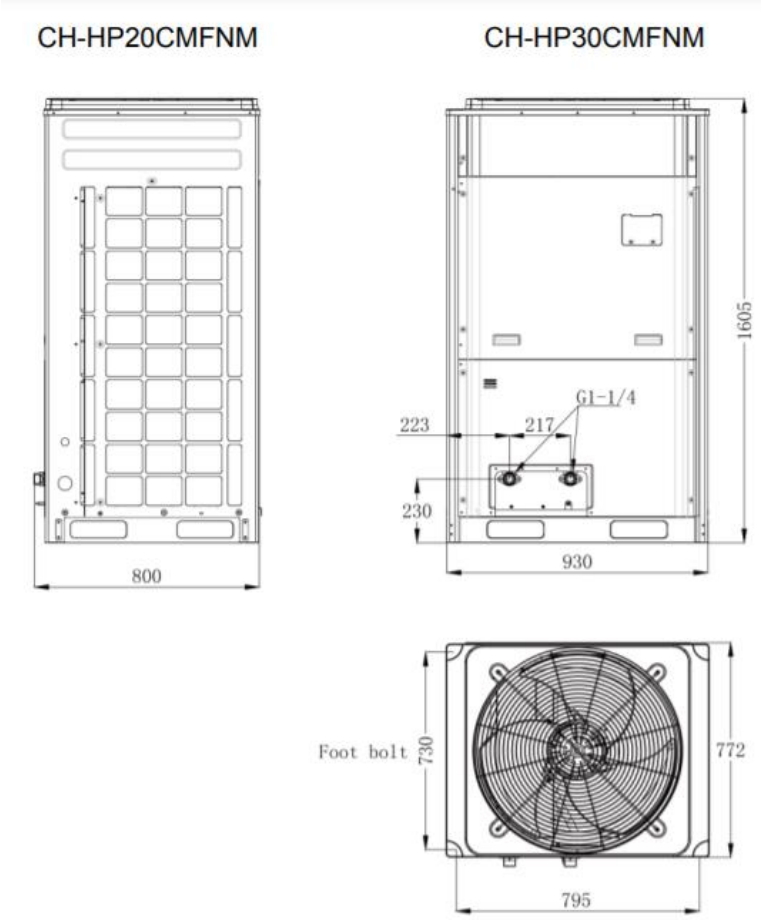


Рисунок 3.6 – Габарити ТН Cooper&Hunter UIMNM 36 кВт [26]

Технічні характеристики ТН вказані в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики Cooper&Hunter UIMNM 36 кВт

Продуктивність (35°C/24°C- 7°C/12°C)	Тепло	кВт	33
Споживана потужність	Тепло	кВт	12,45
COP			3,38
EER			2,65
Встановлений діапазон температур гарячої води		°C	35-50
Циркуляційний об'єм води		м.куб/год	5,7
Гідравлічний опір теплообмінника		кПа	50
Тип холодоагента			R-410a
Температурний діапазон роботи	Тепло	°C	-15/-52
Вага	Нето	кг	379
	Брутто	кг	391

Згідно обраних характеристик ТН проведемо моделювання його роботи за допомогою програми Softvac [27] за один опалювальний період для міста Києва, який складає 187 днів. Результати приведені на рисунках 3.7-3.10 нижче.

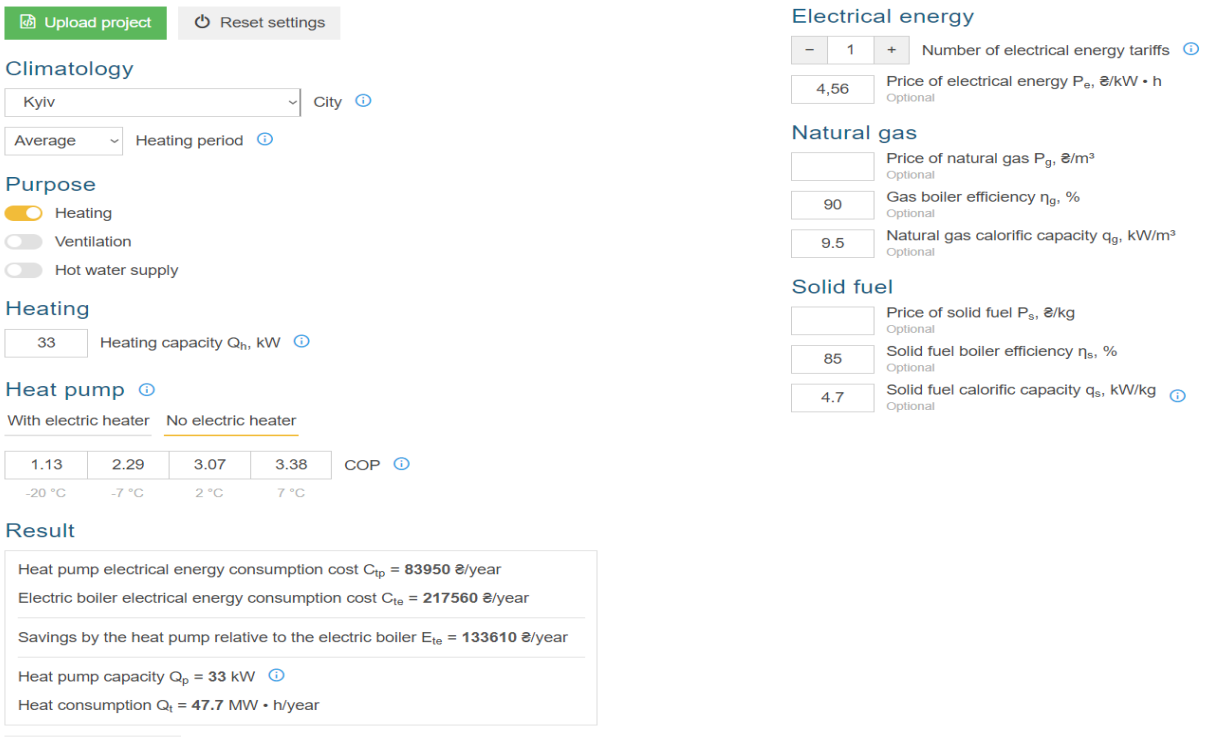


Рисунок 3.7– Дані для розрахунку ТН Cooper&Hunter UIMNM 36 кВт.

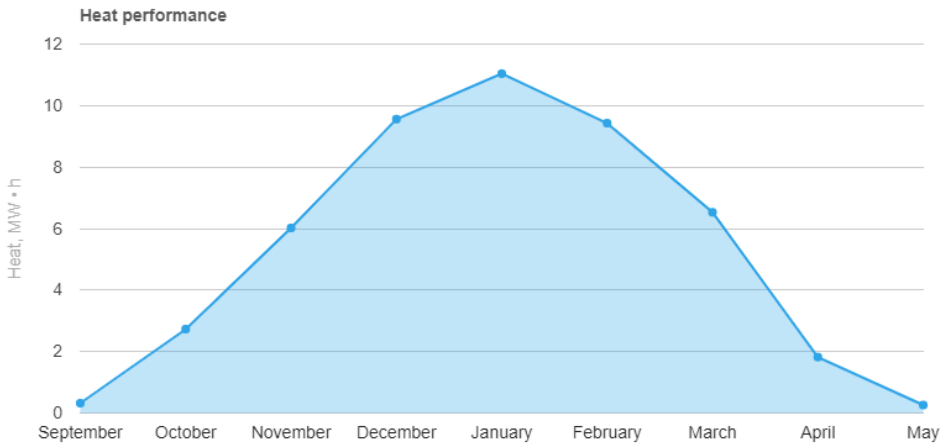


Рисунок 3.8 – Теплові характеристики ТН за опалювальний період

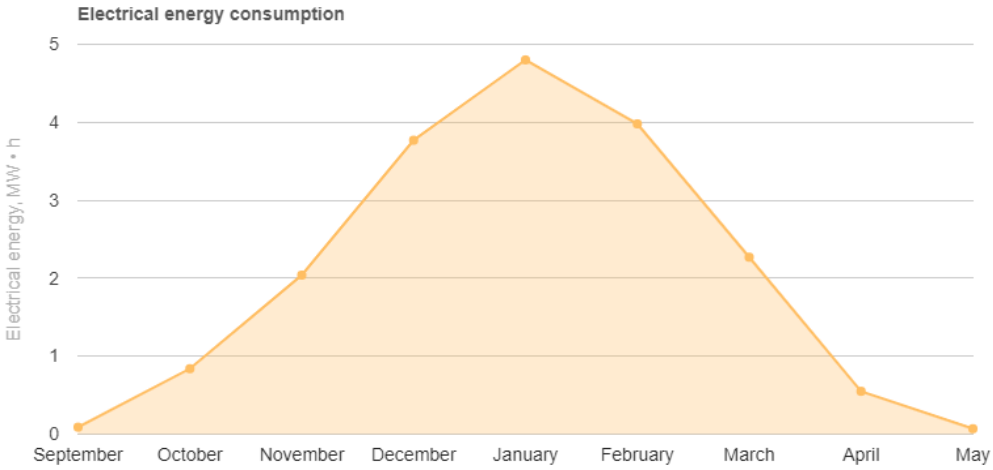


Рисунок 3.9 –Споживання електричної енергії обраним ТН

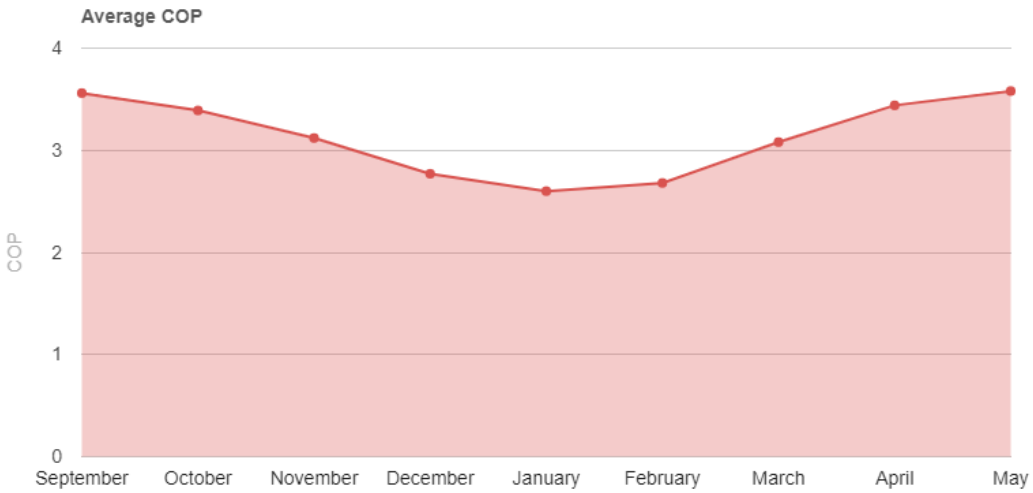


Рисунок 3.10 – Варіювання показника COP ТН в залежності від пори року

За результатами моделювання наведеними на рисунках вище визначено генеровану теплову енергію ТН за один період опалення та визначено обсяг електричної енергії споживанної на власні потреби ТН за опалювальний сезон.

На основі результатів моделювання ТН, для покриття його власних потреб проаналізуємо можливість використання СЕС дахового розміщення як складової гібридної системи. Для моделювання оберемо сонячні панелі CS7L-600MS 1500V, характеристики якого вказані на рисунку 3.11.

PV Array Characteristics

PV module		**Inverter**	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	CS7L-600MS 1500V	Model	MSXI-3336-1
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	600 Wp	Unit Nom. Power	32.0 kWac
Number of PV modules	66 units	Number of inverters	1 unit
Nominal (STC)	39.6 kWp	Total power	32.0 kWac
Modules	3 Strings x 22 In series	Operating voltage	150-800 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>40°C)	34.5 kWac
Pmpp	36.3 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1.24
U mpp	685 V		
I mpp	53 A		
Total PV power		**Total inverter power**	
Nominal (STC)	40 kWp	Total power	32 kWac
Total	66 modules	Max. power	34.5 kWac
Module area	187 m²	Number of inverters	1 unit
		Pnom ratio	1.24

Рисунок 3.11 – Характеристики сонячних панелей CS7L-600MS 1500V

За допомогою програмного забезпечення PVSyst [28] було створено ескіз, на якому зображено об’єкт та розташування сонячних панелей в кількості 66 штук(рис. 3.12).

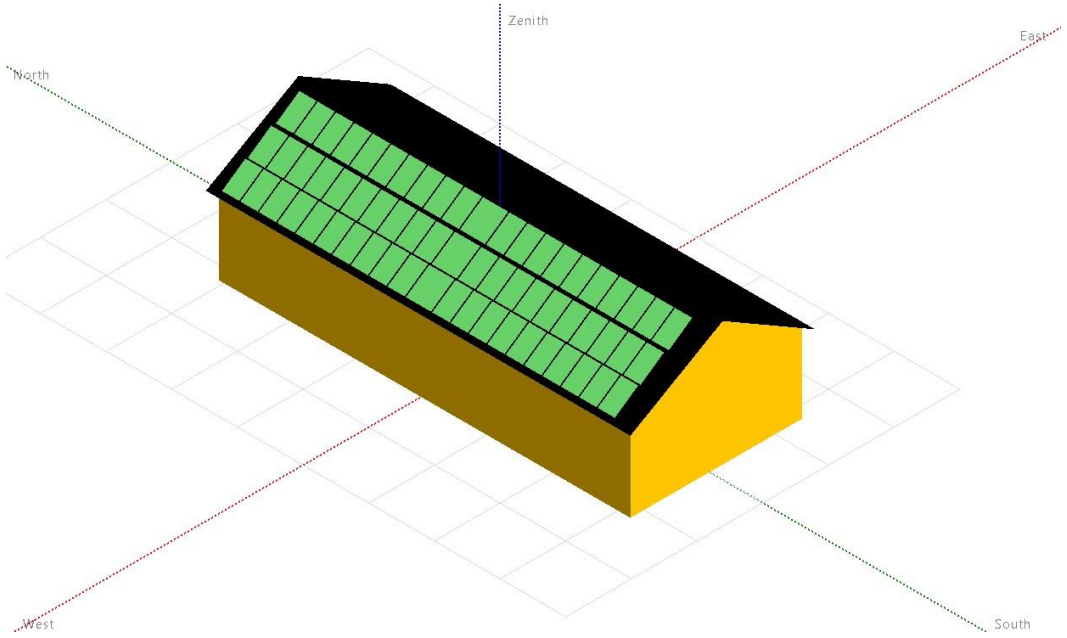


Рисунок 3.12 - Ескізна схема розміщення сонячний панелей на даху

Також, бачимо, що об’єм згенерованої енергії за допомогою сонячних панелей, поданий у вигляді рисунка 3.13, повністю покриває потреби ТН та будинку в цілому.

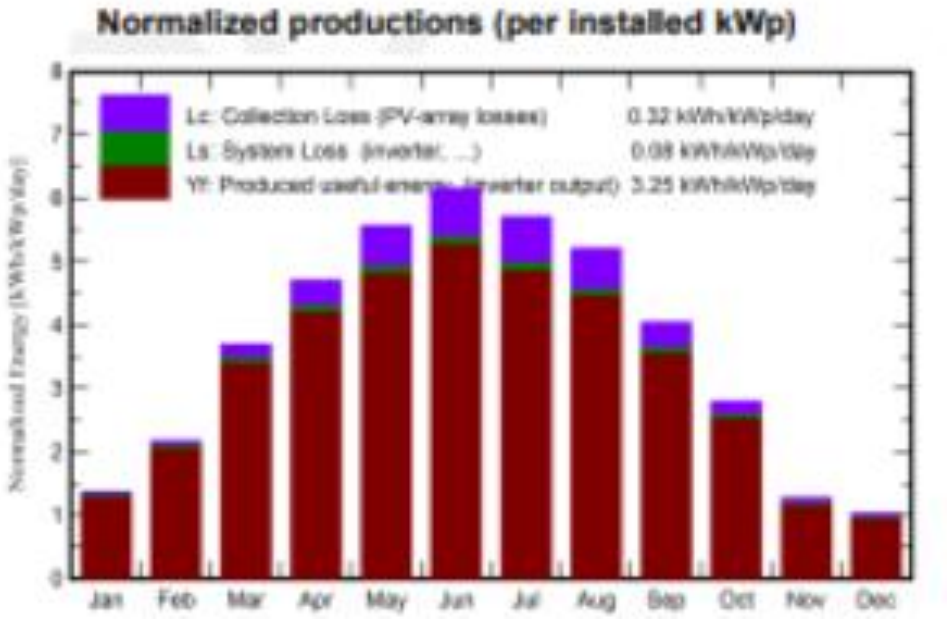


Рисунок 3.13 – Об’єм згенерованої енергії поданий у вигляді графіка

3.4 Визначення оптимальної комбінації джерел тепла

Варіант, що поєднує фотоелектричні сонячні панелі, акумуляторну батарею та тепловий насос є оптимальним для нашої гібридної системи (рис. 3.14).

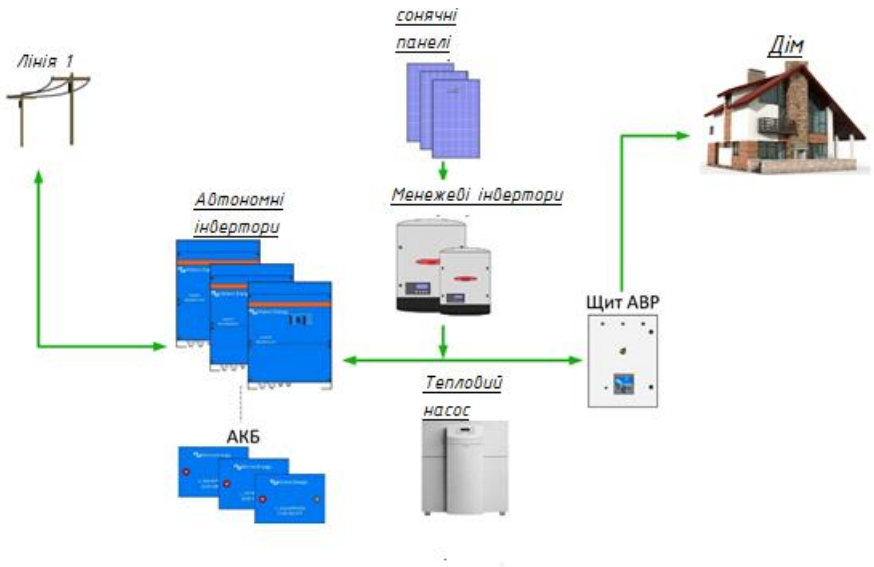


Рисунок 3.14 – Оптимальна комбінація джерел гібридної системи

3.5 Проектування системи керування

Для розробки системи управління для управління фотоелектричною системою з акумулятором і тепловим насосом можна розглянути наступні компоненти і функціональні можливості:

Моніторинг та збір даних включає в себе вимірювання таких параметрів, як потужність сонячних панелей, стан заряду акумулятора, споживання енергії та умови навколишнього середовища.

Алгоритми управління енергоспоживанням можуть визначати, коли заряджати або розряджати батарею, коли використовувати сонячну енергію безпосередньо або зберігати її, а коли активувати тепловий насос на основі попиту на енергію та економічно ефективної роботи.

Управління навантаженням повинно ідентифікувати та керувати пристроями або приладами, що споживають багато енергії, регулюючи їх роботу так, щоб максимізувати власне споживання сонячної енергії та використання акумулятора.

Взаємодія з мережею включає функції для управління взаємодією з електромережею такі як моніторинг електромережі, можливості підключення до електромережі та можливість експортувати надлишкову енергію назад у мережу або імпортувати електроенергію, коли це необхідно.

Інтеграція прогнозу погоди, щоб передбачити сонячну генерацію і відповідно скоригувати стратегію управління енергією.

Впровадження заходів безпеки та механізми обробки несправностей включає захист від перенапруги та перевантаження по струму, процедури аварійного вимкнення та алгоритми виявлення несправностей.

Інтеграція з системами «розумного будинку», щоб забезпечити безперебійний контроль і координацію з іншими підключеними пристроями та приладами.

3.6 Розрахунок економічної ефективності системи

Для оцінки економічної доцільності даної гібридної системи розрахуємо показник NPV за допомогою програми excel. Результати розрахунку внесені в таблицю 3.9.

Таблиця 3.9 – Розрахунок економічної ефективності гібридної системи на основі теплового насосу та сонячних панелей

Капітальні витрати:	1086	тис. грн.
Експлуатаційні витрати:	36	тис. грн.
Річна економія енергоресурсів:	198,259	Гкал
Тариф на енергоносій:	1654,41	грн./Гкал
Облікова ставка:	26%	
Горизонт (період) аналізу:	20	років
Залишкова вартість обладнання:	108,6	тис. грн. (зазвичай 10% від поч. вартості)

Економія (Гкал)		Тариф (грн/Гкал)		Економія (тис. грн)
198,259	x	1654,41	=	328,0021

Рік	Кап витрати	Експл. витрати	Економія	CF	Кумм CF	ki	NPV	Кумм диск CF
0	1086	0	0	-1086	-1086	1,00	-1086,00	-1086,00
1		36	328,00215	292,0021	-793,998	0,79	231,75	-854,25
2		36	328,00215	292,0021	-501,996	0,63	183,93	-670,33
3		36	328,00215	292,0021	-209,994	0,50	145,97	-524,35
4		36	328,00215	292,0021	82,00859	0,40	115,85	-408,50
5		36	328,00215	292,0021	374,0107	0,31	91,95	-316,55
6		36	328,00215	292,0021	666,0129	0,25	72,97	-243,58
7		36	328,00215	292,0021	958,015	0,20	57,92	-185,67
8		36	328,00215	292,0021	1250,017	0,16	45,96	-139,70
9		36	328,00215	292,0021	1542,019	0,12	36,48	-103,22
10		36	328,00215	292,0021	1834,021	0,10	28,95	-74,27
11		36	328,00215	292,0021	2126,024	0,08	22,98	-51,29
12		36	328,00215	292,0021	2418,026	0,06	18,24	-33,05
13		36	328,00215	292,0021	2710,028	0,05	14,47	-18,58
14		36	328,00215	292,0021	3002,03	0,04	11,49	-7,09
15		36	328,00215	292,0021	3294,032	0,03	9,12	2,02
16		36	328,00215	292,0021	3586,034	0,02	7,24	9,26
17		36	328,00215	292,0021	3878,037	0,02	5,74	15,00
18		36	328,00215	292,0021	4170,039	0,02	4,56	19,56

Продовження таблиці 3.9

19		36	328,00215	292,0021	4462,041	0,01	3,62	23,17
20		36	436,60215	400,6021	4862,643	0,01	3,94	27,11
						NPV =	27,11	

Простий термін окупності:	3,7	років		
Дисконтований термін окупності:	15	роки і	9	місяців

Враховуючи чинний тариф на теплопостачання та облікову ставку в 26%, гібридна система на основі теплового насосу та сонячних панелей окупилася за 15 років та 9 місяців.

Висновок

Гібридні системи для потреб теплозабезпечення - це тип системи опалення, яка поєднує два або більше різних джерел тепла для забезпечення будинку або будівлі теплом і гарячою водою.

Гібридна система опалення на основі сонячної енергії може використовувати сонячні панелі для виробництва електроенергії та нагрівання води вдень, а надлишок енергії зберігається в акумуляторах або теплових накопичувачах для використання вночі.

Було проаналізовано критерії вибору теплового насосу для теплопостачання житлових будівель та проведено розрахунок гібридної системи для потреб теплопостачання на основі теплового насосу. Окрему увагу було приділено способу вибору типу та параметрів теплового насосу для гібридної системи теплозабезпечення житлових будівель, який дає змогу в залежності від типу будівлі та можливості використання енергії ВДЕ зконфігурувати оптимальну структуру гібридної системи теплозабезпечення на основі ТН.

Як додаткове джерело енергії, яке в випадку для готеля «Лігена», було обрано сонячні панелі. З розрахунку, що сонячні панелі мають покривати власні потреби теплового насосу та інші потреби, наприклад, побутові, було проведено розрахунок економічної ефективності даної гібридної системи, який показав, що система окупиться за 15 років і 9 місяців, при обліковій ставці НБУ в 26%.

ВИСНОВКИ

Після проведеного аналізу та розрахунку гібридних систем теплозабезпечення на основі теплових насосів можна зробити наступні висновки.

1. Гібридні системи теплозабезпечення на основі теплових насосів є ефективним та стабільним рішенням для забезпечення комфортного та екологічно чистого опалення житлових будівель. Застосування гібридних систем теплозабезпечення дозволяє покращити енергетичну ефективність будівлі, зменшити викиди парникових газів і впливати на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.
2. Використання гібридних систем з тепловими насосами дозволяє значно знизити споживання енергії, порівняно з традиційними системами опалення, що базуються на використанні природного газу або нафтопродуктів.
3. На основі проведенного аналізу було формалізовано критерії вибору типу та параметрів теплового насосу для теплопостачання житлових будівель та проведено розрахунок гібридної системи для потреб теплопостачання на основі теплового насосу. Запропоновано спосіб вибору теплового насосу для гібридної системи теплозабезпечення житлових будівель, який дає змогу в залежності від типу будівлі та можливості використання енергії ВДЕ зконфігурувати оптимальну структуру гібридної системи теплозабезпечення на основі ТН.
4. Проведені економічні розрахунки показали, що використання гібридних систем з тепловими насосами може забезпечити значні економії на опаленні в порівнянні з іншими традиційними системами.
5. На основі отриманих результатів дослідження можна зробити висновок, що гібридні системи теплозабезпечення на основі теплових насосів є перспективним та ефективним рішенням для забезпечення опалення житлових будівель, сприяють зменшенню споживання енергії та негативного впливу на навколишнє середовище, а також забезпечують економічну вигоду для користувачів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1) International Renewable Energy Agency. URL: https://www.irena.org/

2) International Energy Agency. URL: https://www.iea.org

3) S. Ashok. Britannica. URL: https://www.britannica.com/science/solar-energy.

4) Сонячні теплові системи. Vaillant. Комфорт мого дому. URL: https://www.vaillant.ua/dlia-klientiv/korisna-informatsia/how-different-technologies-work/solar-thermal-heating/

5) Біомаса як основне паливо для опалювальних котлів – Укрбіо. dom.ukr.bio. URL: https://bio.ukr.bio/ua/articles/1462/

6) HOME HEATING USING GEOTHERMAL ENERGY URL: https://www.centralheating.co.nz/assets/resources/Introduction-geothermal-heating.pdf

7) Теплонасосні системи опалення та гарячого водопостачання URL: http://odaba.edu.ua/upload/files/MR_OK4_KP_teplonasosn.pdf, Одеська державна академія будівництва та архітектури інститут гідротехнічного будівництва та цивільної інженерії

8) Heat Pumps - Technology Guide URL:https://www.seai.ie/publications/Heat-Pump-Technology-Guide.pdf, Sustainable Energy Authority of Ireland, August 2020

9) ДСТУ Б В.2.5-44:2010 Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами. – Київ.; Мінрегіонбуд України, 2010, с57.

10) Енергоощадність. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Теплові насоси «повітря – вода» для комунально-побутового теплопостачання: Загальні технічні вимоги та методи випробувань [Текст]. – Чинний від 01.01.2001. – К.: Держстандарт України, 2000. – III, 7с.

11) Гершкович В. Ф. Особенности проектирования систем теплоснабжения зданий с тепловыми насосами / В. Ф. Гершкович. – К.: Украинская Академия Архитектуры ЧП ―Энергоминимум‖, 2009. – 60 с

12) Johansson, T.B.; Goldemberg, J. Energy for Sustainable Development: A

Policy Agenda; U.S. Department of Energy: Washington, DC, USA, 2022]

13) Günther, M.; Hellmann, T. International environmental agreements for local and global pollution. J. Environ. Econ. Manag. 2017, 81, 38–58.

14) van Vliet, M.T.H.; Yearsley, J.R.; Ludwig, F.; Vögele, S.; Lettenmaier, D.P.; Kabat, P. Vulnerability of US and European electricity supply to climate change. Nat. Clim. Chang. 2012, 2, 676–681.

15) ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ URL: http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/vykorystannja-nyzkopotencijnoyi-teploty-za-dopomohoju-teplovyh-nasosiv.pdf

16) Miglioli, A.; Aste, N.; Del Pero, C.; Leonforte, F. Photovoltaic-thermal solar-assisted heat pump systems for building applications: Integration and design methods. Energy Built Environ. 2021, 4, 39–56.

17) Blázquez, C.S.; Borge-Diez, D.; Nieto, I.M.; Martín, A.F.; González-Aguilera, D. Renewable energy integration as an alternative to the traditional ground-source heat pump system. In Energy Services Fundamentals and Financing; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2020; pp. 109–130.

18) 1Ramos-Escudero, A.; García-Cascales, M.S.; Cuevas, J.M.; Sanner, B.; Urchueguía, J.F. Spatial analysis of indicators affecting the exploitation of shallow geothermal energy at European scale. Renew. Energy 2021, 167, 266–281.

19) До 2030 року буде встановлено близько 600 млн. теплових насосів, що забезпечить 20% потреб у опаленні будівель. Теплові насоси Daikin Altherma ➤ офіційний дистриб'ютор Daikin в Україні. URL: https://www.heatpump.com.ua/novini-i-publikatsii/novini-industrii/do-2030-roku-bude-vstanovleno-blizko-600-mln-teplovikh-nasosiv-shcho-zabezpechit-20-potreb-u-opalenn.html

20) 5 charts that show the potential of heat pumps. World Economic Forum. URL: https://www.weforum.org/agenda/2023/02/charts-show-potential-heat-pumps/

21) Коефіцієнти енергоефективності COP, EER, SCOP і SEER і їх значення у виборі системи опалення | Каталог цін E-Katalog. ek.ua - порівняння, відгуки,

ціни в інтернет-магазинах. URL: https://ek.ua/ua/post/3416/287-koefficienty-energoeffektivnosti-cop-eer-scop-i-seer-i-ih-znachenie-v-vybore-sistemy-otopleniya/

22) Значення коефіцієнта: EER, SEER, HSPF, MERV | AW-Therm.com.ua. *AW-Therm журнал*. URL: https://aw-therm.com.ua/znachennya-koeficiyenta-eer-seer-hspf-merv/#:~:text=Коефіцієнт%20енергоефективності%20(EER),на%20кількість%20ват%20спожитої%20електроенергії.

23) Офіційний сайт програмного продукту SGV, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sgv.in.ua/off-lifaq/28-otsinka-efektivnosti-investitsij-v-excel-rozrakhunok-npv-pp-dpp-irr-arr-pi.

24) Дерев`янко Д.Г. Особливості визначення економічних показників доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності / Дерев`янко Д.Г., Колодяжна А.О., Ницун Ю.Г. .// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2021. – № 2. – С. 87–94. – ISSN 1813-5420. https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2021.247412

25) Тепловой насос Cooper&Hunter UIMNM 36, 65, 70, 77 кВт. *Тепловые насосы по низкой цене, купить тепловой насос для отопления дома в Киеве и Украине | ЦТН*. URL: https://teplonasos.kiev.ua/teplovoj-nasos-cooperhunter-uimnm-36-65-70-77-kvt/

26) Home. *Головна – програми для проєктування ОВК*. URL: https://www.softhvac.com/en/

27) PVsyst – Logiciel Photovoltaïque. PVsyst – Logiciel Photovoltaïque. URL: https://www.pvsyst.com

28) Дерев`янко Д.Г. Перспективи застосування відновлювальних джерел енергії для теплопостачання громадських і житлових будівель в Україні / Дерев`янко Д.Г., Беспала Н.Г., Богойко І.І., Колодяжна А.О.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2022. – № 2. – С. 41–47. – ISSN 1813-5420. https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2022.261369

29) Welcome to Держенергоефективності України | Держенергоефективності

України. *Welcome to Держенергоефективності України | Держенергоефективності України*. URL: https://saee.gov.ua (дата

30) Велика Британія оприлюднила стратегію прискорення “зеленого” переходу. *ЕкоПолітика*. URL: https://ecopolitic.com.ua/ua/news/velika-britaniya-opriljudnila-strategiju-priskorennya-zelenogo-perehodu/