

Подільський державний університет
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

**Підвищення ефективності систем тепlopостачання на базі
теплого насосу і сонячного колектору**

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми
навчання освітнього ступеня «Магістр», освітньо-
професійної програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ **Михайло ПИРІГ**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Віктор ДУБІК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«____» _____ 2023 р.

Керівник проектно́ї групи
(гарант _____ освітньої

програми)

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2023р.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДЖАРЕЛ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ	11
1.1 Використання сонячної енергії.....	11
1.2 Використання енергія навколишнього середовища за допомогою теплових насосів.....	17
РОЗДІЛ 2. КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ	24
2.1 Системи для опалення та ГВП.....	25
2.1.1 Тепловий насос на базі повітря як джерела теплоти.....	25
2.1.2 Тепловий насос на базі геотермальних джерел теплоти.....	27
2.1.3 Теплові насоси на підземній воді	28
2.1.4 Гібридні системи на базі теплових насосів.	30
2.1.5 Робочі рідини в теплових насосах.....	32
2.1.6 Системи гарячого водопостачання.....	35
2.2 Теплові акумулятори	38
Висновки до розділу	43
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ В КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМАХ.....	45
3.1 Моделювання теплообмінних процесів в СК	45
3.1.1 Програма для моделювання GetSolar.....	46
3.1.2 Параметри моделювання та результати.....	51
3.2 Моделювання теплообмінних процесів в ТН.....	57
3.2.1 Програма для моделювання ASPEN HYSYS	58

3.2.2 Параметри моделювання та результати.....	64
Висновки до розділу	72
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	74
4.1 Вихідні дані для розрахунку техніко-економічної ефективності комбінованої системи	74
4.2 Техніко-економічне обґрунтування комбінованих систем на прикладі будинку.....	75
4.3 Технологічний аудит проекту.....	83
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску проекту	84
5.5 Перспективи ринкової стратегії проекту.....	90
Висновки до розділу	91
ВИСНОВКИ.....	92
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94

ВСТУП

На сьогоднішній день природа є важливим союзником людства у виживанні. Підтримка та дбайливе ставлення до природи є невід'ємною частиною нашого існування, оскільки ресурси, які вона надає, є обмеженими, а зміни в кліматі викликають серйозні наслідки у вигляді катаклізмів та природних негод.

Використання земельних ресурсів є необхідним для задоволення основних потреб людства, зокрема в теплопостачанні. З урахуванням вичерпування ресурсів та погіршення клімату, важливо швидко вживати заходів для забезпечення сталого використання цих ресурсів.

Вирішення цих проблем може бути пов'язане з використанням новітніх технологій. Однак вибір найефективніших технологій виявляється складним завданням, оскільки наявні різноманітні можливості. Важливим напрямком дослідження та розвитку є процес визначення оптимальних технологій для забезпечення ефективного використання енергії та тепла, з урахуванням їхнього впливу на навколишнє середовище.

Таким чином, тема вибору ефективних технологій у контексті забезпечення теплових потреб людства стає актуальною і вимагає уваги для збереження ресурсів та підтримки екологічно стабільного розвитку.

Актуальність роботи.

Використання викопних джерел енергії, таких як газ та нафта, справді призводить до серйозного забруднення довкілля та погіршення кліматичних умов. У зв'язку з цим важливо розглядати високотехнологічні інновації як ключовий елемент розв'язання даної екологічної проблеми.

Одним із ефективних варіантів вирішення є перехід до використання відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна та геотермальна енергія. Ці

рішення використовують безмежні запаси енергії, які доступні безпосередньо у нашому навколишньому середовищі. Сприяючи цим джерелам енергії, можна зменшити залежність від викопних ресурсів та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

У сучасних умовах ціни на викопні енергоресурси зростають, що підкреслює необхідність переходу до сталої та екологічно чистої енергетики. Однак, враховуючи інтереси власників компаній, які зацікавлені в видобутку викопних ресурсів, важливо підкреслити важливість ризику, який призводить до монополії на ринку та недостатнього розвитку альтернативних енергетичних джерел.

Застосування відновлювальних енергетичних технологій може стати важливим етапом у забезпеченні енергонезалежності та створенні сталого, екологічно чистого майбутнього, від маленьких сільських будинків до великих промислових підприємств.

Мета та завдання дослідження.

Мета даної роботи полягає в проведенні аналізу та визначенні ефективності використання комбінованих систем теплопостачання, що базуються на сонячному колекторі та тепловому насосі. Дослідження спрямоване на визначення того, наскільки ефективно ці системи можуть забезпечувати теплопостачання в різних умовах та обставинах.

Отримані результати дослідження, а також розроблені методики та підходи, стануть важливою основою для подальшого аналізу ефективності систем опалення та гарячого водопостачання. Особливу увагу приділено системам, які використовують теплові насоси та сонячні колектори, оскільки ці технології представляють інноваційні та екологічно чисті рішення у сфері енергетики.

Запропоновані методики та підходи можуть бути використані як основа для розробки та вдосконалення ефективних систем опалення та гарячого водопостачання, що базуються на використанні теплових насосів і сонячних колекторів. Результати

дослідження мають потенціал вплинути на розвиток сучасних технологій теплопостачання та сприяти переходу до більш сталого та енергоефективного використання ресурсів.

Об'єкт дослідження

Об'єкт дослідження – комбіновані системи теплопостачання у складі сонячного колектора та теплового насосу.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є визначення енергетичних характеристик систем опалення та ГВП на базі сонячного колектора та теплового насосу.

Методи дослідження

Методами дослідження є методи, які можуть відобразити результати задіяння тих чи інших параметрів, що є великим джерелом для обговорення.

Моделювання роботи геліотермічної установки в типових кліматичних умовах для центральної частини України:

Використання програмного забезпечення для моделювання сонячних колекторів і систем зберігання енергії.

Врахування варіацій сонячної радіації, температур і інших кліматичних параметрів протягом року.

Аналіз ефективності з урахуванням втрат енергії під час зберігання та конвертації.

Практичне значення одержаних результатів.

Перевірка впливу різних параметрів на ефективність роботи геліосистеми протягом року:

Змінна нахилу та орієнтація сонячних панелей.

Варіації робочого теплоносія та його параметрів.

Врахування різних кутів сонця протягом дня та сезонів.

Аналіз впливу тіней та інших загороджень на ефективність.

Моделювання процесів теплообміну в тепловому насосі за різних умов зовнішнього середовища та при використанні різних теплоносіїв:

Використання математичних моделей для опису циклу теплового насосу.

Аналіз впливу температурного режиму навколишнього середовища на коефіцієнт продуктивності теплового насосу.

Розгляд варіантів теплоносіїв та їх вплив на ефективність.

Розроблення номограми підбору рекуперативного теплообмінника для утилізації теплоти стічних вод:

Ці завдання можуть бути вирішені за допомогою математичного моделювання, використання спеціалізованих програм, інженерних розрахунків та експериментальних досліджень.

Моделювання геліосистеми:

Отримані в ході моделювання результати відкривають широкі можливості для вдосконалення сонячних енергетичних технологій. Вони можуть бути використані у розробці інноваційних сонячних колекторів та систем теплопостачання, що базуються на сонячній енергії як джерелі відновлювальної енергії.

Моделювання процесів теплообміну в тепловому насосі:

Результати моделювання теплового насосу мають практичне значення для вибору оптимальних компонентів. Ці дані можуть бути використані при виборі компресора та робочої рідини, що відкриває нові можливості для підвищення ефективності та надійності теплових насосів.

ВИСНОВКИ

Геліосистема на основі сонячних колекторів - це складна інженерна система, яка вимагає індивідуального проектування та вибору обладнання. Основними факторами, які впливають на її ефективність, є тип колектора, розташування, кут і орієнтація встановлення колектора, а також система акумулювання.

Результати моделювання показали, що для побутової системи гарячого водопостачання будинку підходить плоский колектор із кутом встановлення 45° , орієнтований на південь, із каскадним розташуванням баків-акумуляторів. Інші орієнтації на південний захід та південний схід зменшують продуктивність лише на 10%, що робить їх альтернативою південній орієнтації.

Запропонована геліоустановка площею $4,18 \text{ м}^2$ очікується генерувати $2179,3 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ теплоти протягом року, з піковою продуктивністю влітку і частковим задоволенням потреб взимку. Середньорічна ступінь покриття складає близько 50%. Така система може слугувати додатковим джерелом теплоти разом із тепловим насосом або газовим котлом.

Ефективність теплового насосу залежить від кількох факторів, включаючи температуру зовнішнього повітря, температуру в конденсаторі, перепад тиску в компресорі та вибір робочої рідини. Аміак (NH_3), R22, R314a та R500 виявилися ефективними рідинами для теплового насосу, зниження перепаду тиску в компресорі з 5 бар до 10 бар поліпшує їхню ефективність.

Термін окупності систем, що використовують відновлювальні джерела енергії, може бути високим, але слід враховувати часткову енергетичну незалежність від зовнішніх енергоресурсів. Це зменшує ризик залишитися без теплоти взимку. Вартість теплового насосу становить приблизно 60000 грн., а термін окупності - близько 10 років при злагодженій роботі.

Ідея проекту спрямована на спрощення визначення площі теплообмінника для утилізації теплоти стічних вод за допомогою розробленої номограми.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Enhanced efficiency in Concentrated Parabolic Solar Collector (CPSC) with a porous absorber tube filled with metal nanoparticle suspension Mohammad Hatamiab Jiafeng Geng /Green Energy & Environment Volume 3, Issue 2, April 2018, Pages 129-137.
2. 2.ACCA, PHCC Educational Foundationand RSES / Heat Pumps /CENGAGE Learning/ 2011-05-23/ 379 pages.
3. Long Ni, Jianakai dong, Yang Yao, Chao Shen, Dehu Qv, Xuedan Zhang A review of heat pump systems for heating and cooling of buildings in china in the last decade Renewable energy 84 (2015) 30-45.
4. Niu Fuxina, Ni Longa, Qu Minglub, Yao Yanga, Deng Shimingb. A novel triple-sleeve energy storage exchanger and its application in an environmental control system, Applied Thermal Engineering, Volume 54, Issue 1, 14 May 2013, Pages 1-6.
5. Niu Fuxina, Ni Longa, Cool storage characteristics of triple-sleeve energy storage exchangers with direct evaporative, Harbin Gongye Daxue Xuebao/Journal of Harbin Institute of TechnologyVolume 43, Issue 6, June 2011, Pages 56-60.
6. Mehran Dehghan, Carlos Pfeiffer, Modelling and control of collecting solar energy for heating houses in Norway, Journal of sustainable development of energy, water and environmental systems, 2017, Volume 5.
7. Bakr, Mahmoud; Van Oostrom, Niels; Sommer, Wijnb, Efficiency of and interference among multiple Aquifer Thermal Energy Storage systems; A Dutch case study Renewable energy, 2013, Vol.60, pp.53-62.
8. Øi, Lars Erik; Tirados, Irene Yuste, Heat Pump Efficiencies simulated in Aspen HYSYS and Aspen Plus/ 2015 Linköping Electronic Conference Proceedings (119) 141-147 p.

9. D.Y. Peng and D.B. Robinson: A new Two-constant equation of state. Industrial and engineering chemistry fundamentals, 15 (1) : 59-64, 1976.
10. AspenTech: Aspen Physical property system 11.1 2001 P.A. Domanski and D.A. Didion: Simulation of heat pump operating with nonazeotropic mixture. ASHRAE technical data bulletin, 91 (3): 54, 1985.
11. А. Стогній, чл.-кор. НАН України (керівник розробки); Н. Шокол; О. Крючко; М. Єрмошенко, д-р екон. наук; Г. Крайчинська; Ю. Поліщук, канд. техн. наук; А. Сумарєв, ДОКУМЕНТАЦІЯ. ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ Структура і правила оформлення 39 с./ 23 лютого 1995 р.
12. Опалення – внутрішнє облаштування : ДБН Д.2.2-18-99 .—[Чинний від 2000-01-01].—К.: Держбуд України, 2000.-28 с.-(Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи)
13. Техническая теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений. Уч. пособие /Под ред. проф. В.А.Маляренко. - Х.: Рубикон, 2001.- 280 с.
14. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарськопобутові потреби в Україні. КТМ 204 України 244-94. Керівний технічний матеріал – норми та вказівки. – К., 1995.-636 с.
15. Мацевитый Ю. М. О рациональном использовании теплонасосных технологий в экономике Украины / Ю. М. Мацевитый, Н. Б. Чиркин, Л. С. Богданович, А. С. Клепанда // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2007. – № 3. – С. 20–31.
16. Савенко В. В., Счастний Є. Є., Програма дисципліни —Експлуатація інженерних мереж і комунікацій// методичні вказівки до виконання контрольної (розрахунково-графічної) роботи до студентів спеціальностей ПЦБ та Тес.Х.: УкрДУЗТ, 2002-55с/

17. Карпов В. В. Прочность и устойчивость подкрепленных оболочек вращения. / В. В. Карпов. – М. :Физматлит, 2010.4.1 – 288 с.
18. Рикадс Р. Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин / Р. Б. Рикадс. – Рига: Зннатне. – 1988. – 284 с.
19. Н.И. Пешехонов Проектирование теплоснабженияН. Киев «Вища школа»1982
20. Свердловини : ДБН Д.2.2-4-99 .—[Чинний від 2000-01-01].—К.: Держбуд України,2000.- 37 с.—(Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи). 8. Опалення, вентиляція та кондиціонування ДБН В.2.5-67:2013 К.: Мінрегіонбуд України,2011. – 60 с. – (Державні будівельні норми).
21. Изменение №1 СнИП 2.04.05 – 91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» Госстрой Украины. – К., 1998.
22. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. –[Чинний від 2006–0909]. – К.: Міністерство будівництва України, 2006. – 71 с. – (Державні будівельні норми України
23. Технічні характеристики змішувальних насосів [Електронний ресурс]: змішувальний насос . Режим доступу до ресурсу: <http://teplomirspb.ru/wilo1>