

Д. В. Степанов
М. І. Верещак
М. В. Обуховський

РАЦІОНАЛЬНІ РЕЖИМИ РОБОТИ РЕВЕРСИВНИХ ЧІЛЛЕРІВ З ГРУНТОВИМИ ТЕПЛООБМІННИКАМИ ТА РАДІАТОРНИМИ СИСТЕМАМИ ОПАЛЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Виявлено раціональні температурні режими роботи реверсивного чіллера «вода-вода» з ґрунтовим низькотемпературним теплообмінником та радіаторною системою опалення. Оцінено ефективність роботи реверсивного чіллера з ґрунтовим теплообмінником для різних температур теплоносія на виході з випарника на основі техніко-економічного аналізу та з використанням методики оцінювання життєвого циклу виробу, реалізованої в програмному продукті Sima Pro. Показано, що використання методу оцінювання життєвого циклу виробу з використанням екологічних показників для аналізу ефективності роботи теплонасосного обладнання є більш перспективним. Проаналізовано ефективність роботи реверсивного чіллера, що працює в режимі теплового насоса, з радіаторною системою опалення для різних температур теплоносія на виході з конденсатора.

Ключові слова: реверсивний чіллер, конденсатор, випарник, економічна ефективність, оцінка життєвого циклу виробу, ґрунтовий теплообмінник, розчин етиленгліколю, радіаторна система опалення.

Вступ. Постановка задачі

Використання поновлюваних джерел енергії для теплопостачання в промисловості та житлово-комунальному секторі на даний час стає першочерговою задачею [1].

Ревверсивні чіллери (теплохолодильні машини) є обладнанням, яке може працювати як режимі охолодження, так і в режимі нагріву. Ці апарати, які дозволяють перетворювати наявне природне тепло навколишнього середовища, перетворюючи накопичену енергію сонця, а також тепло землі, води в корисну енергію [2]. Для цього чіллер в режимі теплового насоса забирає у землі або ґрунтової води, накопичену теплоту і підвищує цю енергію до придатного для використання рівня температури.

Ґрунт являє собою тепловий акумулятор необмеженої ємності, тепловий режим якого формується під впливом сонячної радіації і потоку радіогенного тепла до глибини 10-20 метрів [3].

Ревверсивний чіллер має холодильний контур, що складається з чотирьох основних компонентів: випарника, компресора, конденсатора і дросельного клапана [4]. У контурі циркулює холодоагент з надзвичайно низькою точкою кипіння. У випарнику до холодоагенту підводиться теплота навколишнього середовища. Відбувається перехід з рідкого в газоподібний агрегатний стан речовини. У компресорі газоподібне робоче середовище сильно стискається і виводиться тим самим на високий рівень температури. На цей процес потрібно 25 % електричної енергії. У конденсаторі тепла енергія безпосередньо передається опалювальному контуру. Тим самим відбувається охолодження і зріджування робочого середовища. У дросельному клапані у робочого середовища знижується тиск, і тим самим охолоджується настільки, що може знову вбирати теплоту з навколишнього середовища, наприклад, з ґрунту [5].

Важливою характеристикою теплового насоса з ґрунтовим теплообмінником є температура теплоносія на виході з випарника. Ця температура впливає не тільки на теплообмінні характеристики ґрунтового теплообмінника, але й на перепад тиску на компресорі теплового насоса та на його коефіцієнт перетворення.

Крім того, енергоефективність теплонасосних технологій в значній мірі визначається температурою робочого тіла в конденсаторі, яка в свою чергу залежить від обраної системи використання теплоти [1]. В даній роботі розглянуто роботу реверсивного чіллера з радіаторною системою опалення.

Мета роботи – виявлення ефективних режимів роботи реверсивного чіллера з ґрунтовим теплообмінником та радіаторною системою опалення для різних значень температури теплоносія на виході з випарника та конденсатора з використанням техніко-економічного аналізу та оцінки життєвого циклу виробу в екологічних показниках.

Аналіз вихідних даних для дослідження

В даній роботі розглядається реверсивний чіллер «вода-вода» DYNACIAT [6], який працює в режимі теплового насоса. В якості низькотемпературного джерела обрано вертикальний ґрунтовий теплообмінник, методика розрахунку якого наведена в [2]. Системою використання теплоти є радіаторна система опалення.

Різниця температур теплоносія в ґрунтовому теплообміннику прийнята 2°C , а в конденсаторі 10°C , розрахункова теплова потужність системи опалення – 105 кВт, інтервал температур теплоносія на виході з конденсатора реверсивного чіллера – $55^{\circ}\text{C}\dots 40^{\circ}\text{C}$, а температур теплоносія на виході з випарника $-8\dots 5^{\circ}\text{C}$, термін роботи системи – 15 років, енергетичні та цінові характеристики радіаторів вибрано аз каталогами Korado [7], теплоносій в ґрунтовому теплообміннику – розчин етиленгліколю.

Нами проведене порівняння результатів за техніко-економічним методом в грошових одиницях та за методом оцінки впливу життєвого циклу системи в методі Impact-2002+, в якому використовується екологічний показник – безрозмірна величина Eco-indicator point (Pt). Остання оцінка враховує вплив на навколишнє середовище всіх складових виробу протягом всього його життєвого циклу, вона реалізована в програмному комплексі Sima Pro [8].

Результати досліджень

На рис. 1 показано співставлення витрат в економічних та екологічних показниках для різних температурних режимів роботи випарника реверсивного чіллера. При цьому враховані витрати на створення низькотемпературного ґрунтового теплообмінника та на електроенергію для роботи компресора чіллера [9].

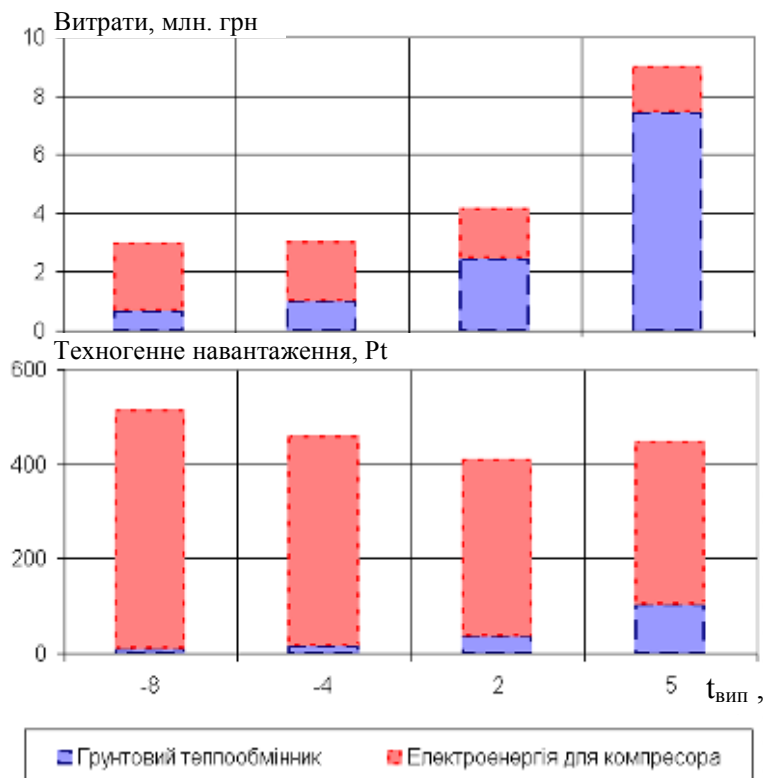


Рисунок 1 – Залежність витрат при роботі теплового насоса «вода-вода» з ґрунтовим теплообмінником від температури теплоносія на виході з випарника в грошових та екологічних показниках

Як видно з рис. 1, економічно доцільним діапазоном температури теплоносія на виході з випарника є -8°C – 0°C , а оцінка за екологічними критеріями дозволяє визначити 2°C як ефективну температуру розчину етиленгліколю на виході з випарника.

Слід зауважити, що для температури теплоносія 5°C є можливість використання очищеної води, а для менших температур – розчину етиленгліколю. Заповнення ґрунтових теплообмінників водою, за орієнтовними розрахунками, дозволить зменшити витрати на створення всієї системи на

1,0...1,5 млн. грн.

Аналіз отриманих результатів показав, що значна частка економічних витрат всієї системи припадає на розробку вертикальних ґрунтових теплообмінників. Натомість екологічні оцінки вказують на суттєвий вплив від виробництва електроенергії для компресора.

Таким чином, не дивлячись на близькі результати по ефективній температурі теплоносія на виході з випарника, слід звернути увагу на значну розбіжність у співвідношенні витрат на систему з тепловим насосом та ґрунтовими теплообмінниками, розрахованих за техніко-економічним методом та методом оцінки впливу життєвого циклу системи в екологічних показниках.

Такі розбіжності, на нашу думку, викликані, з одного боку, недостатнім розвитком технологій створення ґрунтових теплообмінників для теплонасосного обладнання, а з іншого, недостатніми витратами на подолання екологічних наслідків виробництва електроенергії на теплових електростанціях. Отже, оцінка ефективності систем за екологічними показниками є, на нашу думку, більш перспективною.

Переважає частина існуючого теплонасосного обладнання працює з низькотемпературними системами опалення. Тому для дослідження впливу температури теплоносія на виході з конденсатора використані таблиці поправочних коефіцієнтів на потужності радіаторів для режимів низькотемпературного опалення.

В таблиці 1 та на рис. 2 показані результати числових досліджень впливу температурного режиму теплоносія в конденсаторі чіллера на ефективність його роботи. Температура теплоносія на виході з випарника прийнята 2°C. Враховані витрати тільки на радіатори та на електроенергію для компресора.

Таблиця 1

Результати дослідження впливу температурного режиму теплоносія в конденсаторі на ефективність роботи реверсивного чіллера [10]

Показник	Температурний режим, °C			
	55/45	50/40	45/35	40/30
Коефіцієнт перерахунку потужності радіатора	1,96	2,5	3,37	3,93
Розрахункова опалювальна потужність, кВт	105	105	105	105
Питома вартість радіаторів, грн/кВт	5098	7630	1030	1199
Загальна вартість радіаторів, тис. грн	639,9	816,3	1100,4	1283,2
Потужність компресора, кВт	59	52,9	47,4	42,5
Загрузка компресора теплового насоса	0,315	0,307	0,300	0,294
Споживана потужність компресора в середньому опалювальному режимі	18,577	16,240	14,228	12,514
Витрата на електроенергію за весь термін роботи, тис грн	1 430	1 250	1 095	963,7

Як видно з рис. 2, економічно доцільним діапазоном температури теплоносія на виході з конденсатора теплового насосу є 50°C.

Слід зауважити, що на раціональну температуру теплоносія на виході з конденсатора в великій мірі впливає вартість радіаторів та тарифи на електроенергію. Для більш вартісних марок радіаторів економічно доцільна температура теплоносія на виході з конденсатора теплового насоса буде рухатись в сторону збільшення, в тому числі, до максимальної температурної межі використання теплового насоса. При цьому зростатимуть витрати електроенергії на компресор і зменшуватиметься енергоефективність системи в цілому.

Таким чином, для теплонасосного обладнання використання високовартісних марок радіаторів, на нашу думку, не є економічно та енергетично доцільним.

Не дивлячись на значні капіталовкладення реверсивні чіллери мають ряд переваг перед традиційними джерелами енергії: перспективність даних технологій в майбутньому, зменшення шкідливих викидів в місці розташування опалюваного об'єкту, доступність електроенергії, простота та зручність регулювання, високий рівень автоматизації, висока енергоефективність.

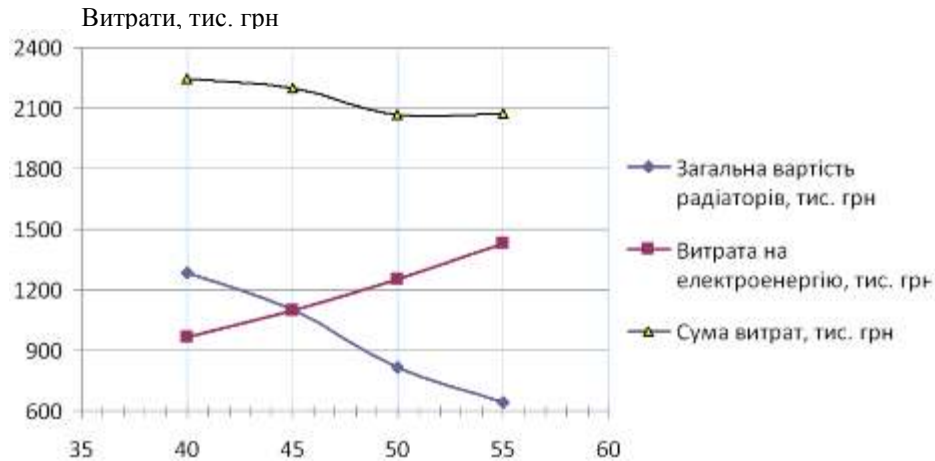


Рисунок 2 – Залежність витрат при роботі реверсивного чіллера з радіаторною системою опалення від температури теплоносія на виході з конденсатора

Висновки

В роботі проаналізовано ефективні режими роботи реверсивного чіллера з ґрунтовим теплообмінником та радіаторною системою опалення.

Виявлено, що за економічними показниками раціональні температури теплоносія на виході з випарника чіллера знаходяться в межах $-8...0^{\circ}\text{C}$. А за екологічними – близько 2°C . Перевагою варіанту з температурою 5°C є можливість заповнення ґрунтових теплообмінників очищеною водою замість водного розчину етиленгліколю.

Слід відзначити, що наведені методи оцінки суттєво відрізняються за основним елементом витрат: для економічного аналізу – це витрати на створення ґрунтового теплообмінника; а для екологічної оцінки – техногенне навантаження від виробництва електроенергії. Більш перспективним, на нашу думку, методом оцінювання систем є метод оцінки впливу життєвого циклу виробу у екологічних показниках.

Виявлено, що для радіаторів системи опалення Korado, на даний момент, раціональна температура теплоносія на виході з конденсатора теплового насоса складає біля 50°C .

Аналіз результатів дозволив зробити висновок, що для теплонасосних систем використання високовартісних марок радіаторів, на нашу думку, не є економічно та енергетично доцільним.

Не дивлячись на значні капіталовкладення в теплонасосні технології, впроваджуючи такі системи можна досягати економії викопного палива; шкідливих викидів в місці виробництва теплоти, зменшення витрат на обслуговування, вирівнювання графіку споживання електроенергії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанов Д.В. Оцінка ефективності джерел енергії для системи теплохолодопостачання. // Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова // Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві. – 2017. – №1. – С. 118-122.
2. Сидорчук Б. П. Про задачу визначення передаточної функції ґрунтового теплообмінника / Б. П. Сидорчук // Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2014. – Вип. 3(67). – С. 332-338.
3. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии. – М.: Москомархитектура. ГУП "НИИАС", 2001. – 139 с.
4. Овчаренко В. А. Використання теплових насосів/ Овчаренко В. А, Овчаренко А.В Холод – Київ: М+Т. 2006. №2 с. 34–36.
5. Рей Д. Тепловые насосы / Рей Д., Макмайкл Д. Пер. с англ. – М.: Энергоиздат. 1982. – 224 с.
6. Технічні характеристики реверсивного чіллера AQUACIAT 2. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ciat.com>.
7. KORADO — Стальне панельне радіатори [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://korado.com.ua>. Дата звернення: 07.11.18.
8. Sima Pro – професійний інструмент для прийняття усталених рішень шляхом оцінки життєвого циклу системи. Режим доступу: <https://simapro.com>.
9. Степанов Д.В. Ефективні режими роботи теплових насосів з ґрунтовими теплообмінниками / Д. В. Степанов, М.В. Обухівський. Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві 2018», м.

Вінниця, 2018. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/viewFile/6035/5026>

10. Степанов Д.В. Ефективність роботи теплових насосів в системах низькотемпературного опалення / Д. В. Степанов, М.І. Верещак. Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві 2018», м. Вінниця, 2018. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/viewFile/6055/5040>.

REFERENCES

1. Stepanov D.V. Otsinka efektyvnosti dzhherel enerhiyi dlya systemy teplokhodopostachannya. /D. V. Stepanov, N. D. Stepanova // Suchasni tekhnolohiyi, materialy ta konstruktivni v budivnytstvi. – 2017. – №1. – S. 118-122 .
2. Sydorchuk B. P. Pro zadachu vyznachennya peredatochnoyi funktsiyi hruntovoho teploobminnyka / B. P. Sydorchuk // Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky : zb. nauk. prats'. – Rivne : NUVHP, 2014. – Vyp. 3(67). – S. 332-338.
3. Rukovodstvo po pryumeneniyu teplovykh nasosov s yspol'zovanyem vtorychnykh énerhetycheskykh resursov y netradytsyonnykh vozobnovlyaemykh ystochnykov énerhiy. – M.: Moskomarkhitektura. HUP "NYATS", 2001. – 139 s.
4. Ovcharenko V. A. Vykorystannya teplovykh nasosiv/ Ovcharenko V. A, Ovcharenko A.V Kholod – Kyiv: M+T. 2006. №2 s. 34–36.
5. Rey D. Teplovye nasosy / Rey D., Makmaykl D. Per. s anhl. – M.: Énerhoizdat. 1982. – 224 s.
6. Tekhnichni kharakterystyky reversyvnogo chillera AQUASIAT 2. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://www.ciat.com>.
7. KORADO — Stal'ne panel'ne radyatory [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: <http://korado.com.ua> Data zvernennya: 07.11.18.
8. Sima Pro – profesiynny instrument dlya pryynyattya ustalenykh rishen' shlyakhom otsinky zhyttyevoho tsykladu systemy. Rezhym dostupu: <https://simapro.com> .
9. Stepanov D.V. Efektyvni rezhymy roboty teplovykh nasosiv z gruntovymy teploobminnykamy / D.V. Stepanov, M.V. Obukhiv's'ky. Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya «Innovatsiyni tekhnolohiyi v budivnytstvi 2018», m. Vinnytsya, 2018. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/viewFile/6035/5026> .
10. Stepanov D.V. Efektyvnist' roboty teplovykh nasosiv v systemakh nyz'kotemperaturnoho opalennya / D.V. Stepanov, M.I. Vereshchak. Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya «Innovatsiyni tekhnolohiyi v budivnytstvi 2018», m. Vinnytsya, 2018. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/viewFile/6055/5040>.

Степанов Дмитро Вікторович – к.т.н., доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Stepanovdv@ukr.net. ORCID 0000-0002-2806-3180.

Верещак Михайло Ігорович – студент, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mishavereshchak7@gmail.com

Обуховський Максим Васильович – студент, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 380680426625maks@gmail.com

D. Stepanov
M. Vereshchak
M. Obuchovsky

RATIONAL REGIMES OF WORK OF REVERSE CHILLERS WITH GROUND HEAT EXCHANGERS AND RADIATOR HEATING SYSTEMS

Vinnytsia National Technical University

The rational temperature regimes of the reversible chiller "water-water" with a ground low-temperature heat exchanger and radiator heating system are revealed. The efficiency of reversing chiller with a soil heat exchanger for different temperatures of the coolant at the outlet of the evaporator is estimated on the basis of technical and economic analysis and using the evaluation method of the life cycle of the product sold in the software product Sima Pro. It is shown that the use of the product life cycle assessment method using ecological indicators for the analysis of the efficiency of heat pump equipment is more promising. The efficiency of the reversible chiller operating in the mode of the heat pump, with the radiator system of heating for different temperatures of the coolant at the outlet of the condenser is analyzed.

Keywords: reversible chiller, condenser, evaporator, cost-effectiveness, life cycle assessment of product, soil heat exchanger, ethylene glycol solution, radiator heating system.

Stepanov Dmitry – candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Stepanovdv@ukr.net.

Vereshchak Myhailo – student of TE-18mi group, Faculty Building, Thermal Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: : mishavereshchak7@gmail.com.

Obuhovsky Maksym – student of TE-17mi group, Faculty Building, Thermal Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maks@gmail.com.

Д. В. Степанов
М. И. Верещак
М. В. Обуховский

РАЦИОНАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ РЕВЕРСИВНОГО ЧИЛЛЕРЫ С ГРУНТОВЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ И РАДИАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Винницкий национальный технический университет

Выявлено рациональные температурные режимы работы реверсивного чиллера «вода-вода» с грунтовым низкотемпературным теплообменником и радиаторной системой опалення. Оцінено ефективність роботи реверсивного чиллера с грунтовым теплообменником для различных температур теплоносителя на выходе из испарителя на основе технико-экономического анализа и с использованием методики оценки жизненного цикла изделия, реализованной в программном продукте Sima Pro. Показано, что использование метода оценки жизненного цикла изделия с использованием экологических показателей для анализа эффективности работы теплонасосного оборудования более перспективним. Проанализовано ефективність роботи реверсивного чиллера, работающего в режиме теплового насоса, с радиаторной системой отопления для различных температур теплоносителя на выходе из конденсатора.

Ключевые слова: реверсивный чиллер, конденсатор, испаритель, экономическая эффективность, оценка жизненного цикла изделия, почвенный теплообменник, раствор этиленгликоля, радиаторная система отопления.

Степанов Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики, Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Stepanovdv@ukr.net.

Верещак Михаил Игоревич – студент, факультет строительства теплоэнергетики и газоснабжения, Винницкий национальный технический университет, Винница, e-mail: mishavereshchak7@gmail.com.

Обуховский Максим Васильевич - студент, факультет строительства теплоэнергетики и газопостачання, Винницкий национальный технический университет, Винница, e-mail: maks@gmail.com.