

Обґрунтування параметрів теплових насосів

Ю. Л. Новосилецький,
викладач спеціальних дисциплін відділення “Електрифікація та
інформаційні систем”

О.О.Лавріщев,
викладач спеціальних дисциплін відділення “Електрифікація та
інформаційні систем”

Робота присвячена аналізу структур різних типів теплових насосів. Розглянуто типи теплових насосів, принцип роботи, сфера застосування. Проаналізована економічна ефективність застосування теплового насоса та вибір агрегату.

***Ключові слова:** теплопостачання; теплові насоси; холодоагент; енергоефективність; енергозбереження; низкопотенціальна теплота.*

Постановка проблеми.

В умовах підвищення використання ресурсів та їх обмеження завдання оптимізації виробництва і використання усіх видів енергетичних ресурсів стають такими, що переважають і сприяють підвищенню економічної та енергетичної ефективності виробництва. Розвиток та впровадження теплових насосів на сучасному етапі має ряд особливостей, які полягають в інтенсивному підвищенні технологічних вимог до них та вдосконалення їх будови та принципу роботи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Ефективність застосування теплових насосів підтверджена досвідом експлуатації у багатьох країнах Євросоюзу, Японії, Америки.

Сьогодні, для опалення будівель використовується теплогенератори різних типів. Широкого застосування набули газові та електричні котли, обладнання для спалювання вугілля чи біомаси. І звичайно, з кожним роком все більше зростає частка обладнання, що використовує відновлювальні джерела енергії. Одним з найперспективніших напрямків розвитку теплопогенеруючого обладнання є застосування теплових насосів.

Технологія, яку більше 100 років тому описав видатний британський фізик Вільям Томсон (лорд Кельвін), останні десятиліття постійно вдосконалюється.[4]

Все почалося з морозильної камери Роберта С. Веббера. Домашнє охолодження не було чимось новим і, по суті, існувало роками. Таким чином в 1948 році Роберт С. Веббер створив перший у всьому світі електричний тепловий насос, повторно використавши киплячу воду з холодильної камери глибокої заморозки. У наступному році він замінив вугільну піч у своєму будинку на винайдений агрегат, а через десятиліття теплові насоси почали з'являтися в різних куточках світу.[8]

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми.

Тепловий насос це пристрій для перенесення теплової енергії від низькопотенціального джерела тепла (наприклад, зовнішнє повітря або ґрунт) до споживача тепла з високою температурою. Для роботи теплового насосу необхідно використання зовнішньої енергії: механічної, електричної, хімічної і т.п.[4]

Теплові насоси за принципом роботи поділяються на велику кількість різновидів. Це і сорбційні (абсорбційні / адсорбційні) та струйні (пароінжекторні) теплові машини, які застосовуються для утилізації надлишкового тепла; це і термоелектричні теплові насоси, які ми використовуємо у невеликих переносних автомобільних холодильниках. Але беззаперечно, домінуючим типом на ринку теплових насосів є паро-компресійні установки - практично всі побутові теплонасосні машини працюють за цим принципом. Робота паро-компресійного теплового насосу заснована на одному з фундаментальних положень термодинаміки - циклі Карно.[4]

Формулювання цілей.

Метою даної статті є дослідження різних типів теплових насосів з подальшим визначення потужності установок, виявлення особливостей установок, особливостей їх застосування для вироблення необхідної кількості теплової енергії.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Принцип перетворення тепла, який використовується в тепловому насосі, добре відомий і широко використовується в холодильниках і кондиціонерах. З тією лише різницею, що технологічний процес відбувається «з точністю до навпаки».

Джерелом низькопотенційної теплової енергії для більшості моделей теплонасосів є природні об'єкти (ґрунт, вода, атмосферне повітря). Безпосередньо технічний пристрій не виробляє теплову енергію. Його завдання - перетворити і примножити її з мінімальним використанням енергоресурсів.

Більшість моделей теплових насосів з 1 кВт електричної енергії видають близько 5 кВт теплової. В удосконалених новітніх моделях цей показник досягає 6-7 кВт.

Залежно від використовуваного альтернативного джерела тепла насоси бувають:

- Повітряні. Перетворюють теплову енергію атмосферного повітря. Різновиди цих та інших теплонасосів класифікують в залежності від особливостей вхідного і вихідного контурів. Для даного типу - це повітря-повітря, повітря-вода.
- Геотермальні. Використовують теплову енергію ґрунту, підземних вод або природних водойм. В цю товарну лінійку входить обладнання типу: вода-вода, вода-повітря, ґрунт-вода.

Аналіз переваг моделей кожного типу не полегшить вам вибір. Всі вони мають масу переваг і гідні уваги. Підбір обладнання повинен робити фахівець, він же повинен виробляти необхідні розрахунки. Якщо ви впевнені у власних силах, можна скористатися онлайн-калькулятором або зробити обчислення вручну з використанням спеціальної формули.[5]

Серцем теплового насосу звичайно є компресор, від якого в основному і залежать технічні характеристики установки. Основні типи компресорів, що використовуються в паро-компресорних теплонасосних установках: рис.1

- Роторні, в основному застосовуються для установок невеликої потужності. В сучасних повітряних теплових насосах найчастіше використовуються двоохоторні компресори, які характеризуються збільшеним ресурсом та надійністю. Завдяки такій конструкції компресор може працювати при низькій швидкості обертання, тим самим зменшуючи кількість циклів пуску та зупинок, що суттєво підвищує ефективність роботи теплових насосів. Застосування двох роторів також дозволяє знизити вібрацію та шум.
- Спиральні, найпоширеніші для комплектації теплових насосів малої та середньої потужності. Переваги таких компресорів: висока ефективність, безшумність під час роботи, довговічність, висока надійність (незначна кількість рухомих деталей).[4]

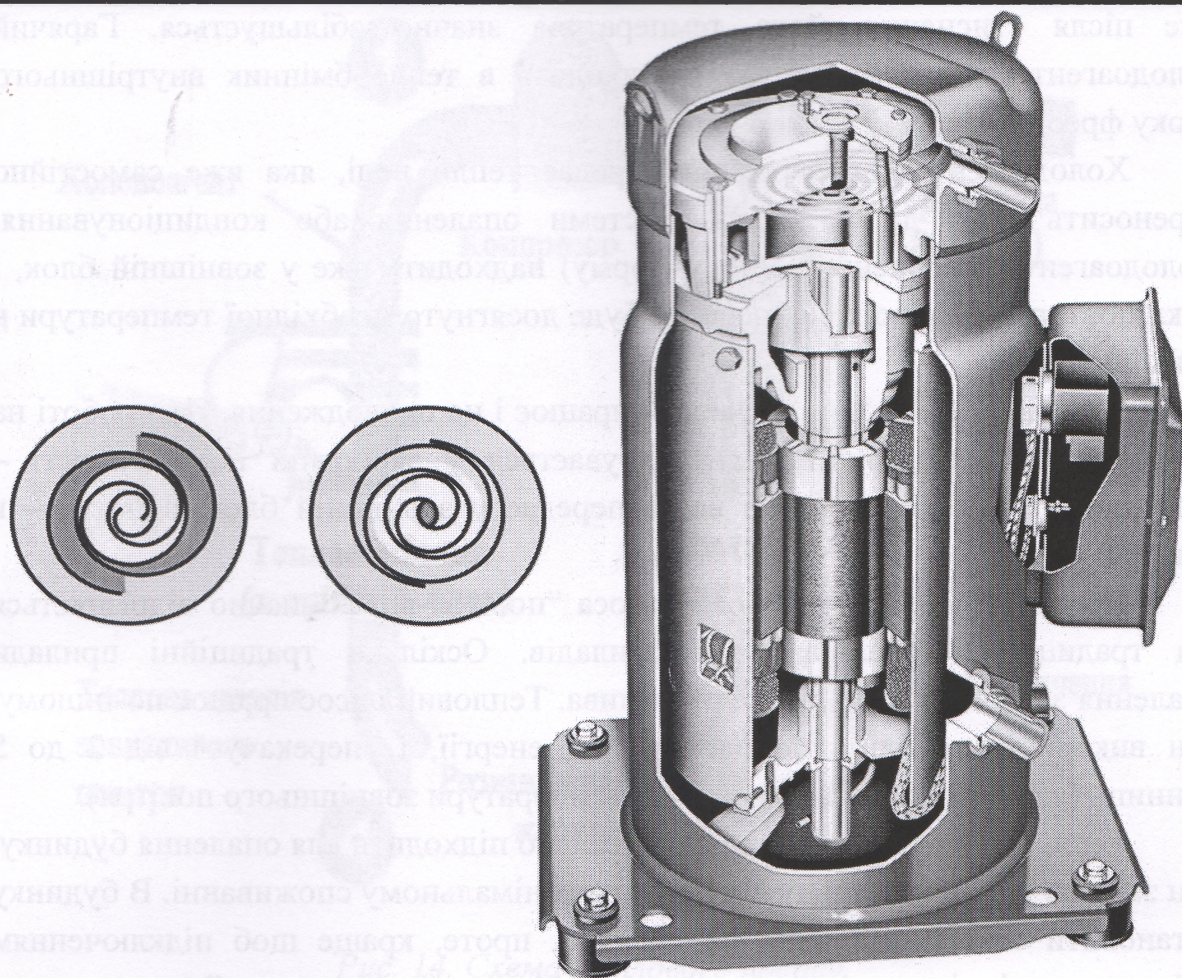


Рис.13. Компресор теплового насосу.

З представлених вище теплових насосів докладніше розглянемо тепловий насос «повітря-вода»

Тепловий насос «повітря-вода» – ще один тип теплових насосів, які забезпечують не лише опалення приміщення, але й кондиціонування. Тепловий насос «повітря-вода» – це інноваційна система рециркуляції енергії, яка зменшує навантаження на навколишнє середовище, при цьому, повторно використовує тепло, яке і так виробляється в повсякденному житті.

Тепловий насос «повітря-вода» використовується для опалення з максимальною ефективністю. Головна його перевага – це економічність. Теплові насоси «повітря-вода» на кожен спожитий 1 кВт електричної енергії здатні виробляти до 4,44 кВт теплової. Таким чином, система опалення стає набагато ефективнішою.[1]

Принцип дії теплового насоса «повітря-вода» є наступним - зовнішній блок за допомогою холодоагента забирає теплову енергію із зовнішнього повітря (власне джерела тепла). Далі холодоагент надходить у компресор, де

вже після стиснення, його температура значно збільшується. Гарячий холодоагент (вже у формі газу) надходить в теплообмінник внутрішнього блоку фреон-вода.

Холодоагент безпосередньо передає тепло воді, яка вже самостійно переносить його до елементів системи опалення або кондиціонування. Холодоагент (повернений в рідку форму) надходить вже у зовнішній блок, і цикл повторюється по колу, доки не буде досягнуто необхідної температури в приміщенні.

Тепловий насос "повітря-вода" працює і на охолодження. При роботі на охолодження весь принцип дії відбувається у зворотній послідовності – холодоагент відбирає тепло з води, передає у зовнішній блок, а потім – в повітря.

Принцип роботи теплового насоса "повітря-вода" значно відрізняється від традиційних опалювальних приладів. Оскільки традиційні прилади опалення засновані на спалюванні палива. Тепловий насос працює по-іншому. Він використовує одиницю електричної енергії, і "перекачує" від 2 до 5 одиниць (кВт) тепла (в залежності від температури зовнішнього повітря).

Тепловий насос "повітря-вода" ідеально підходить для опалення будинку. Він забезпечує максимальну віддачу при мінімальному споживанні. В будинку встановити таке обладнання не складно, проте, краще щоб підключенням займався професіонал. Адже, сам тепловий насос "повітря-вода" для опалення досить не дешевий, тому необхідно правильно його встановити.

Тепловий насос типу "вода-вода" менш популярна модель в Європі, ніж тепловий насос "повітря-вода". Пояснюється це тим, що водний ресурс значно дорожчий і не такий доступний, як повітря.[1] Схема теплового насосу "повітря-вода" представлена на рисунку 2.[3]

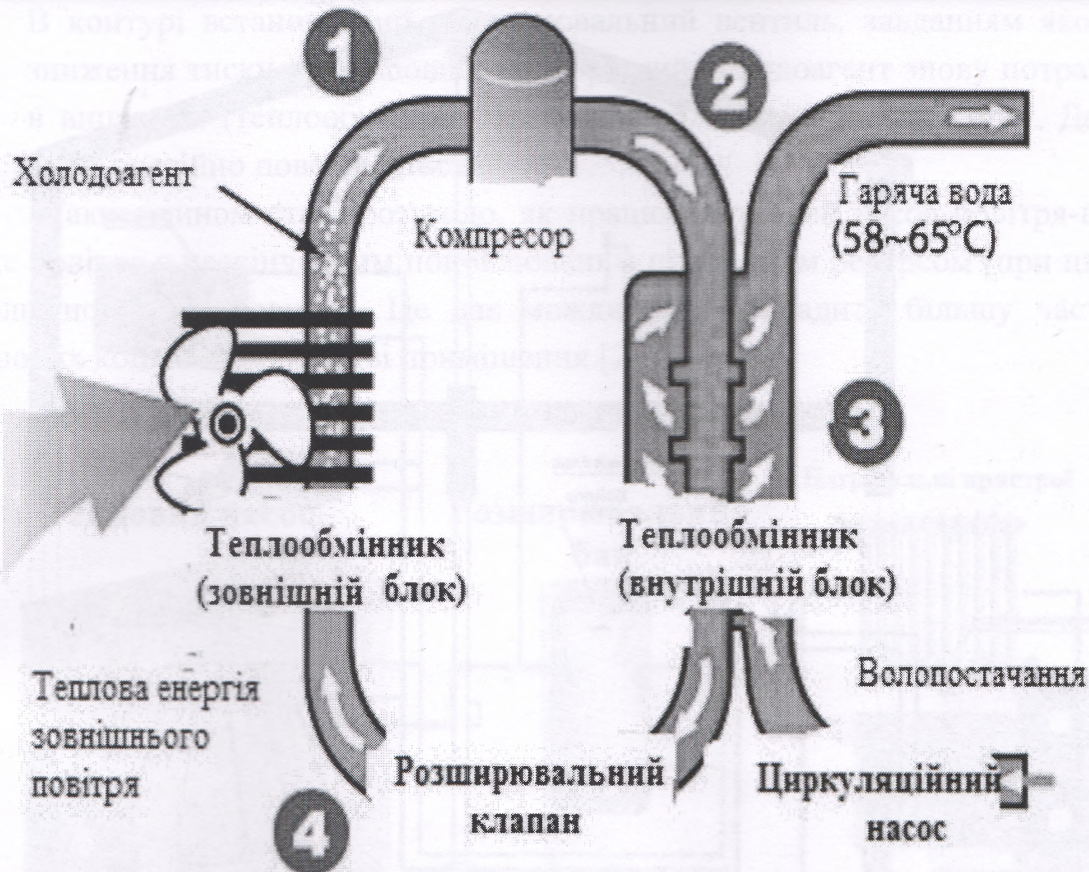


Рис. 14. Схема теплового насосу

Комплект обладнання повітряного теплового насоса складається з:

- зовнішнього моноблока або двох блоків (внутрішнього і зовнішнього – спліт система);
- бака для гарячої води або бойлера з вбудованим теном (при роботі в парі з додатковим електронагрівачем – в бівалентному режимі);
- системи розподілу тепла (тепла підлога, фанкойли, конвектори або радіатори);
- автоматики управління (датчики, термостати управління, контролери).

Обладнання повітряного теплового насоса зображено на Рис.3 [6]

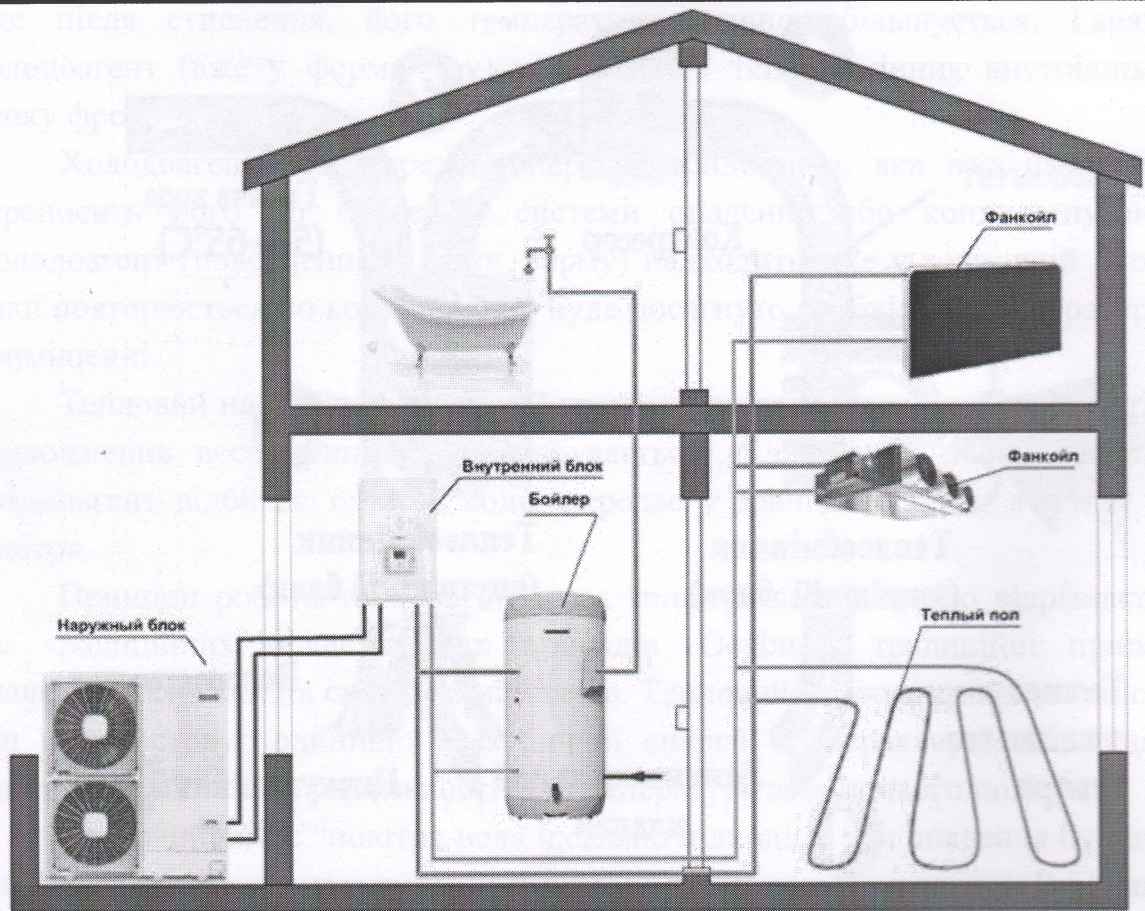


Рис. 15. Обладнання повітряного теплового насоса

Принцип роботи досить простий і складається з наступних етапів:

- У зовнішньому модулі пристрою розташований потужний вентилятор, який забирає повітря з вулиці.
- Далі відбувається прямий контакт зовнішнього повітря з випарником (теплообмінником).
- У випарнику циркулює по замкнутому контуру холодоагент, який нагрівається і випаровується (тобто переходить в газоподібний стан). Особлива властивість холодоагенту - це кипіння при низьких температурах.
- Газоподібний холодоагент надходить в компресор (який працює від електрики), де відбувається його стиснення. При стисненні підвищується тиск і температура холодоагента.
- Нагріта речовина під високим тиском переміщається в конденсатор, де віддає тепло носію (в даному випадку воді). Після віддачі холодоагент охолоджується, відбувається конденсація і, як наслідок, газоподібний стан переходить в рідкий.

- В контурі встановлений розширювальний вентиль, завданням якого є зниження тиску. Пройшовши його, рідкий холодоагент знову потрапляє в випарник (теплообмінник) і переходить в газоподібний стан. Даний цикл постійно повторюється.

Таким чином стає зрозуміло, як працює тепловий насос повітря-вода. Адже повітря є нескінченним поновлюваним природним ресурсом (при цьому абсолютно безкоштовним). Це дає можливість заощадити більшу частину грошових коштів при обігріві приміщення.[2]

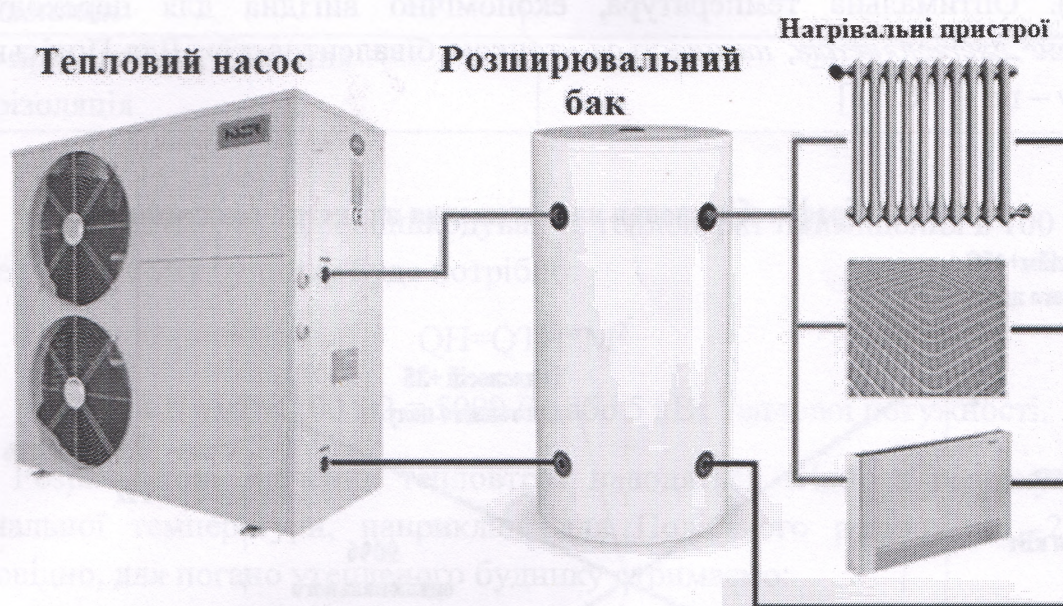


Рис. 16. Тепловий насос “повітря-вода”

Розрахуємо економічну ефективність використання теплового насоса “повітря- вода”. Система опалення з тепловим насосом “повітря-вода зазвичай реалізується на базі радіаторного розведення і/або системи з теплою підлогою, стінами або з системою фанкойлів. При цьому температура нагрівання теплоносія відрізняється від 35-45 °C – для теплої підлоги, до 65-75 °C і вище – для системи радіаторів, що позначається на величині потужності теплового нагрівання. Чим нижче температура теплоносія в системі опалення, тим менша витрата електроенергії, менша теплова потужність, дешевше обладнання. Для модернізації систем опалення з радіаторами за заміни витратних газових котлів можуть встановлюватися високотемпературні повітряні теплові насоси з нагріванням теплоносія до 80 °C. Наприклад – теплові насоси Bosch Tronic Heat 3500 12 UA ErP. Навіть за умови нагрівання теплоносія до 65 і вище градусів, така система в кілька разів економніша ніж газовий котел.[3]

Якщо працює лише тепловий насос, він повинен повністю вирішувати завдання з теплопостачання та нагрівання води, у пікові моменти підключаючи вбудований електричний нагрівач.

Якщо раніше встановлений газовий або пелетний котел, він може взяти на себе частину пікових навантажень і зменшити загальні енерговитрати теплового насоса.

Існують різні схеми роботи теплового насосу, що підбираються для кожного об'єкта індивідуально: моноенергетична (тільки на електриці), моновалентна (тепловий насос + ТЕН) або бівалентна (тепловий насос + котел). Оптимальна температура, економічно вигідна для переходу на резервне джерело тепла, називається «точкою бівалентності». Для Поліського регіону – це -7°C . [3]

Графік збільшення навантаження на систему опалення

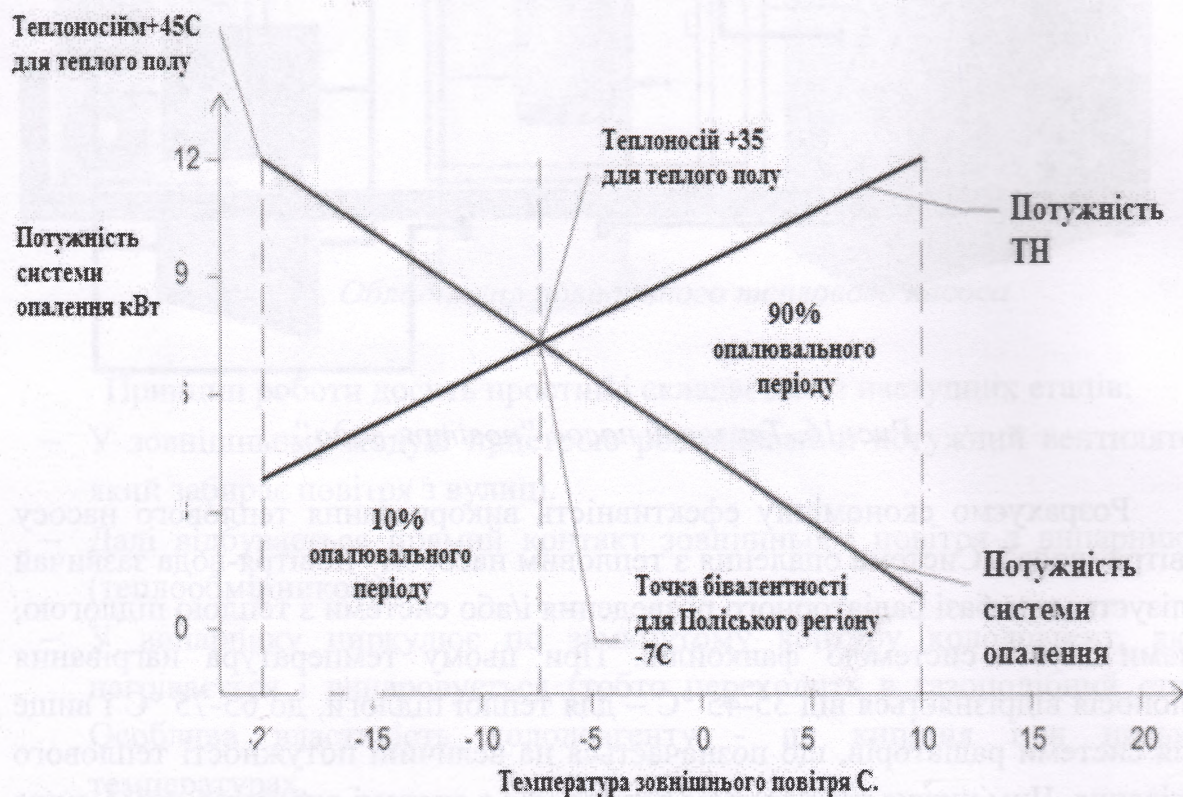


Рис. 17. Графік збільшення навантаження на систему опалення.

Добираючи тепловий насос для опалення будинку, варто знати, що для більш утепленого будинку потрібно в рази менше тепла, ніж для будівлі без проведення робіт із термомодернізації. Значення тепловтрат (питомих теплових навантажень) для різних типів будівель наведені в таблиці 1. [3]

Таблиця 9

Вид теплоізоляції приміщення	Питома теплове навантаження q , $Вт/м^2$
Старе приміщення, погана теплоізоляція	130-200
Старе приміщення, достатня теплоізоляція	80-130
Нове приміщення, достатня теплоізоляція	50-80
Нове приміщення, достатня теплоізоляція	30-50

Звідси видно, що для відшкодування тепловтрат приміщення в $100 м^2$ в добре утепленому будинку буде потрібно:

$$Q_H = Q_{TH} \cdot M^2 \quad (1)$$

$Q_H = 50 \text{ Вт/м}^2 \times 100 \text{ м}^2 = 5000 \text{ Вт}$ або 5 кВт теплової потужності.

Розрахункові значення тепловтрат наводяться згідно з розрахункової мінімальної температури, наприклад, для Поліського регіону це $-22 \text{ }^\circ\text{C}$. Відповідно, для погано утепленого будинку отримаємо:

$$Q_H = 200 \text{ Вт/м}^2 \times 100 \text{ м}^2 = 20\,000 \text{ Вт}$$
 або 20 кВт теплової потужності.

Така різниця: 5 кВт та 20 кВт , змушує зробити кроки для проведення термомодернізації (утеплення) будівлі, а після цього вибрати більш доступний за ціною і економний за витратами тепловий насос.

Під час вибору теплового насоса для приватного будинку зазвичай враховують і роботу ТН на нагрівання води для кухні, ванної або душових. При цьому враховують добовий розподіл навантажень. Найчастіше користуються гарячою водою ввечері або вранці, а в зимовий час до цих навантажень приєднується і робота ТН на опалення. Зазвичай у теплонасосних систем більш пріоритетними є завдання гарячого водопостачання, а потім опалення, розрахунок ведуть виходячи з сумарних теплових навантажень: на опалення і гаряче водопостачання.

Для визначення теплової потужності теплового насоса для нагрівання води ГВП для побутових потреб користуються нормативними даними по споживанню води певної температури і сумарному теплоспоживанню, виходячи з кількості людей, які мешкають у будинку.[3]

Таблиця 10

Категорія	Споживання води, л/люд		Питоме теплоспоживання, Вт*год/люд	Теплоспоживання для ГВС, кВт*люд
	тем.води 60 °С	тем.води 45 °С		
Низьке споживання	10-20	15-30	600-1200	0,8-0,15
Стандартне споживання	20-40	30-60	1200-2400	0,15-0,3
Приміщення які займають етаж	32	45	1800	0,225
Одноквартирний будинок	35	50	2000	0,25

Для однієї людини приймемо норму в 50 літрів води з температурою 45 °С, що відповідає нормі споживання 0,25 кВт теплової потужності.

Отримуємо, що для сім'ї з чотирьох осіб, які проживають у приватному будинку 100 м², необхідна теплова потужність:

$$QW = S * n \quad (2)$$

$$QW = 0,25 \text{ кВт/люд} * 4 \text{ люд.} = 1,0 \text{ кВт}$$

Тепер можна провести розрахунок теплової потужності з урахуванням сумарних навантажень на нагрівання теплоносія для системи опалення та нагрівання води для побутових потреб.

Сумарна теплова потужність на обігрів і ГВП для якісно утепленого будинку:

$$Q_{\text{СУМ}} = Q_H + Q_W \quad (3)$$

$$Q_{\text{СУМ}} = 5 \text{ кВт} + 1 \text{ кВт} = 6 \text{ кВт.}$$

Сумарна теплова потужність для системи опалення та ГВП для погано утепленого будинку:

$$Q_{\text{СУМ}} = Q_H + Q_W(4)$$

$$Q_{\text{СУМ}} = 20 \text{ кВт} + 1 \text{ кВт} = 21 \text{ кВт.}$$

А для умов «точки бівалентності», коли на вулиці -7 °С, і необхідно підтримати +20 °С усередині будинку 100 м², потрібно з урахуванням різниці температур:

$$Q_{\text{розрах.}} = 6 * (20 - (-7)) / (20 - (-22)) = 6 * 27 / 42 = 3,86 \text{ кВт тепла від теплового насоса.}$$

І у другому прикладі, – для будівлі без теплоізоляції, необхідно:

$$Q_{\text{розрах.}} = 21 * (20 - (-7)) / (20 - (-22)) = 21 * 27 / 42 = 13,5 \text{ кВт тепла від теплового насоса.}$$

Згідно з цих даних, із урахуванням температури «точки бівалентності» і з запасом по потужності, із модельного ряду вибирають близьке до більшого значення теплової потужності теплового насоса.

Порівняння використання теплового насоса та електрокотла на рис. 6, рис.7 зображено графіки строку окупності систем теплопостачання для офісних приміщень нежитлового призначення на базі ТН у порівнянні з індивідуальним опаленням на базі електрокотла

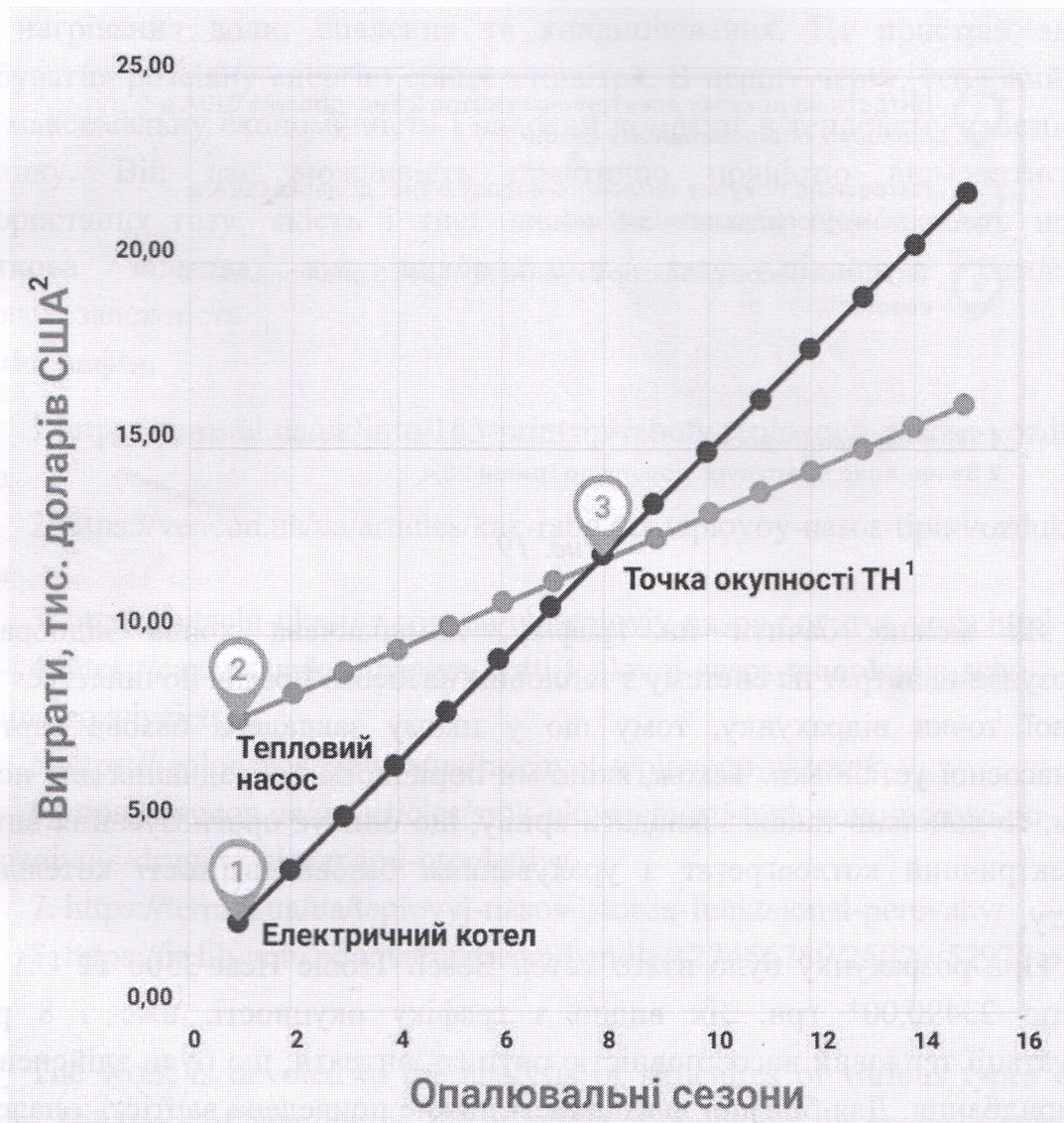


Рис. 18

Тепловий насос

Поточні витрати на ТН,¹ з урахуванням роботи за двозонним тарифом 2,28 грн за 1 кВт енергії

Електричний котел

Поточні витрати на електричний котел, з урахуванням роботи за двозонним тарифом 2,28 грн за 1 кВт енергії

- 1 Витрати на покупку електричного котла 2 тис. доларів США в першому опалювальному сезоні
- 2 Витрати на покупку теплового насосу 8 тис. доларів США в першому опалювальному сезоні
- 3 Тепловий насос повністю окупиться через 8 опалювальних сезонів

1 ТН — тепловий насос

2 За приклад взято курс долару до гривні 28,4

Рис. 19

Як можна бачити на графіку, помаранчева крива відображає прогнозування витрат на систему з тепловим насосом. Графік починається не з нульової точки відрахунку, тому що у ньому закладена базова вартість теплонасосної установки. Також, якщо ми порівнюємо обладнання для нових систем, то доцільно також закладати криву, що описує прогнозування витрат на електричний котлоагрегат з урахуванням базової вартості котельного агрегату.

При розрахунку було взято котел Bosch Tronic Heat 3500 12 UA ErP вартістю 23490,00* грн. Як видно з графіку окупності, вже з 8 року експлуатації тепловий насос повністю окупить витрати, що були здійснені на його придбання. Для більшої наглядності нижче приведена вартість опалення тепловим насосом за опалювальний сезон, а також вартість опалення електричним котлом за опалювальний сезон.[6]

Тепловий насос: вартість опалення за опалювальний сезон — 15817,50* грн.

Електричний котел: вартість опалення за опалювальний сезон — 38964,40* грн.

Отже, дякуючи використанню теплового насоса, ми будемо економити за кожний опалювальний сезон не менше — 23146,90* грн. Якщо це порівняти

з газовим котлом до цього ризику входить ще й корумпованість встановлення газового котла, а також політизація складової частини палива на яке ціна дуже сильно коливається. А якщо до будинку не підведено газ то це навіть не будемо розглядати.

Висновки з дослідження та перспективи.

На основі даного матеріалу визначено що на відміну від інших генераторів тепла, в тепловому насосі відновлювальна низькотемпературна енергія навколишнього середовища зокрема повітря може використовуватися для нагрівання води, опалення та кондиціювання. Це пристрій здатний «добувати» розсіяну енергію сонця з повітря. В першу чергу, тепловий насос має максимальну економічність і високий комфорт в тепловому забезпеченні будинку. Він дає можливість практично повністю відмовитись від використання газу, якість і тиск якого не завжди відповідають нормам. Часткова відмова від використання газу підвищує безпеку і енергонезалежність.

Бібліографія.

1. <https://romstal.ua/uk/info/163-printsip-raboty-teplovogo-nasosa-vozdukh-voda>
2. <https://vencon.ua/ua/articles/kak-rabotaet-teplovoy-nasos-tipa-vozdukh-voda>
3. <https://hitachi-ukraine.com.ua/uk/teploviy-nasos-povitrya-voda.html>
4. <https://сахара.ua/kompaniya-statti-teplovoj-nasos-tehnologija-scho-postijno-rozvivajetsja>
5. <https://teplonasos.kiev.ua/ua/raschyot-teplovogo-nasosa/>
6. <https://vencon.ua/ua/articles/srok-okupaemosti-teplovogo-nasosa-po-sravneniyu-s-drugimi-sistemami-otopleniya>
7. <https://termal.ua/ua/teplovyyj-nasos-istoriia-funktsional-perevahy/>
8. <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/25029/52975.pdf>

The work is devoted to the analysis of structures of various types of heat pumps. The types of heat pumps, the principle of operation, the scope of application are considered. The economic efficiency of the use of the heat pump and the choice of the unit are analyzed.

Keywords: heat supply; heat pumps; refrigerant; energy efficiency; energy saving; low potential heat.