

## ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ЇХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Шубенко В.О.

кандидат технічних наук, доцент

Кухарець С.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомирський національний агроекологічний  
університет

Концепцію використання низькотемпературних джерел енергії та їх перетворювачів – теплових насосів було розроблено ще в 1852 р. видатним британським фізиком та інженером Вільямом Томсоном (Лордом Кельвіном) і в подальшому вдосконалено та деталізовано австрійським інженером Петером Ріттер фон Ріттингером (Peter Ritter von Rittinger). Його вважають винахідником теплового насосу, оскільки саме він спроектував і встановив перший відомий тепловий насос у 1855 році.

Практичного застосування тепловий насос набув значно пізніше, а точніше у 40-х роках ХХ століття, коли винахідник-ентузіаст Роберт Вебер (Robert Webber) експериментував з морозильною камерою. Одного разу Вебер випадково доторкнувся до гарячої труби на виході камери і зрозумів, що тепло просто викидається назовні. Винахідник замислився над тим, як використати це тепло, – і вирішив помістити трубу в бойлер для підігріву води. У результаті Вебер забезпечив свою родину такою кількістю гарячої води, що її вони просто не могли використати, – і при цьому частина тепла потрапляла у повітря. Це наштовхнуло його на думку, що від одного джерела тепла можна підігрівати і воду, і повітря одночасно: Вебер удосконалив свій винахід і почав проганяти гарячу воду через змішувач і за допомогою невеликого вентилятора розповсюджувати тепло по будинку з метою його опалення.

Згодом саме у Вебера з'явилась ідея «викачувати» тепло із землі, де температура не надто змінювалась протягом року. Він помістив у ґрунт мідні труби, якими циркулював фреон, що «збирав» тепло землі. Газ конденсувався, віддаючи своє тепло у домі, та знов проходив через змішувач, щоб підібрати наступну порцію тепла. Повітря приводилося в рух за допомогою вентилятора і розповсюджувалося по будинку.

В природі, промисловому виробництві, сільському виробництві, побуті є значні запаси розсіяної низькотемпературної теплової енергії, яку можна ефективно використати. Для її концентрації застосовують теплові насоси (ТН) - це пристрої, які за допомогою механічної або електричної енергії трансформують теплову енергію низького потенціалу в теплову енергію більш високих параметрів. Теплові насоси, є найбільш перспективними серед джерел «нетрадиційної енергетики» для вирішення проблем енергозбереження завдяки можливості «черпати» поновлювану енергію з навколишнього природнього та техногенного середовища.

Для роботи теплових насосів необхідно два джерела: нижнє – з якого відбирається тепла енергія; верхнє – з якого ця енергія передається. Досить суттєвим, з точки зору правильного вибору необхідного насоса, є: тип, якісні характеристики та кількісні параметри нижнього джерела тепла. До найважливіших характеристик та параметрів можна віднести: доступність джерела, корозійні характеристики джерела, температура джерела та його зміни з часом, енергетичні ресурси джерела та його зміни з часом, інвестиційні та експлуатаційні витрати.

Джерела низькотемпературної теплоти (нижнє джерело), які використовуються тепловими насосами, можна поділити на два види: природні джерела теплоти; техногенні джерела теплоти. До першого виду відносяться: вода (поверхнева, ґрунтова, геотермальна); повітря; ґрунтове середовище; сонячна радіація. До другого виду відносяться: повітря систем вентиляції та систем охолоджень; стічні води та води станцій аерацій; води систем технічного водопостачання підприємств; теплота повітря та води, що відводиться в

технологічних процесах. Температурний та енергетичний рівень низькотемпературних джерел наведено в табл.1.

Атмосферне повітря, як джерело, найчастіше використовується для живлення малих теплових насосів. Це пояснюється його доступністю. До недоліків цього джерела, як нижнього джерела, можна віднести погану когерентність та той факт, що тоді, коли необхідність у теплі велика, температура повітря дуже низька.

Енергія, що міститься у поверхневих водах (річках, озерах, водосховищах, морі), виділяється при тепловому обміні між водою та атмосферним повітрям, а також ґрунтом. Недоліками поверхневих вод, як нижнього джерела, є проблеми із одержанням енергії у холодний сезон при малій течії, а також обмерзання обмінників при температурі близько 0°C. Тому найсприятливішими періодами для використання цього джерела є рання осінь та весна.

Підземні води, що знаходяться у глибинних колодязях, характеризуються незначними коливаннями температури протягом року, яка становить 3-12°C. Ці води можуть направлятися безпосередньо у випарник або, у випадку, якщо вони сильно засолені, через проміжний теплообмінник. Особливим питанням є використання геотермальних вод, які іноді можуть використовуватися в якості нижнього джерела теплових насосів.

Таблиця 1

**Температурний та енергетичний рівень джерел низькопотенціальних джерел енергії**

Вид джерела низькотемпературної теплоти					
Природні джерела теплоти	Температурний рівень джерела, °C	Енергетичний рівень джерела, МВт	Техногенні джерела теплоти	Температурний рівень джерела, °C	Енергетичний рівень джерела, МВт
Вода: поверхнева ґрунтова геотермальна	4...18 6...15 35...70	0,9...51,6 1...2 0,29...3	Вода: стічна технічна технологічна	10..17 15...30 40...70	0,3...90 2,4...10,6 39,5...54,9
Повітря	-5...20	0,3...18,4	Повітря	0...50	0,3...22,1
Ґрунтове середовище	4...12	0,1...5,9	-	-	-
Сонячна радіація	0...75	0,1...150	-	-	-

Ґрунт може бути нижнім джерелом лише у невеликих теплових насосах, оскільки дає невеликий потік тепла. Установка обмінників вимагає серйозних розкопок і у зв'язку з цим може проводитись під площами, не засадженими деревами і не освоєними територіями.

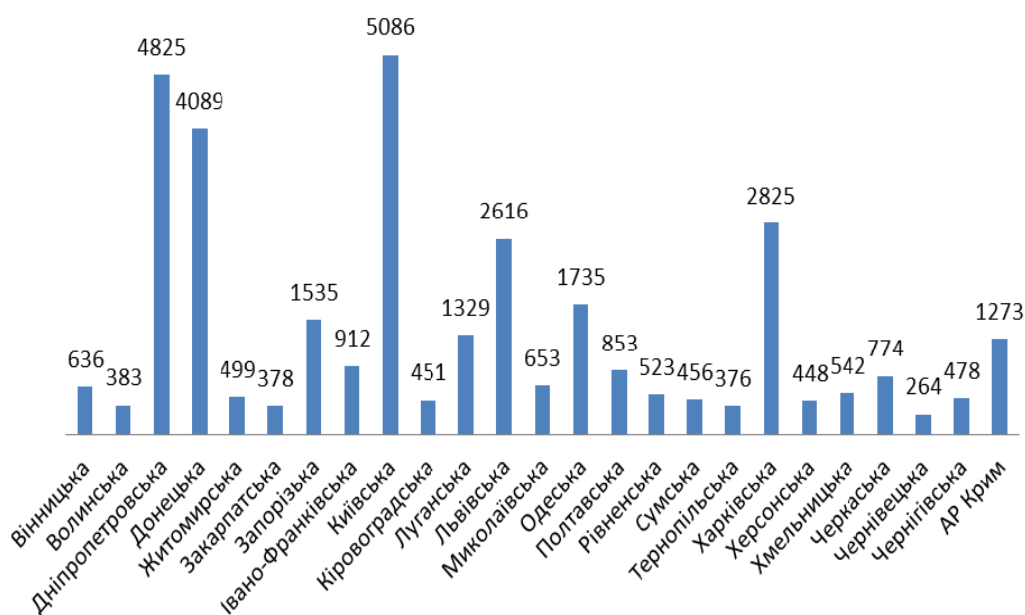
До техногенних нижніх джерел тепла відносимо: залишкову теплоту технічних процесів, що виникає при виконанні різноманітних технологічних процесів в промисловості, енергетиці, комунальному господарстві тощо. Ці джерела, із врахуванням їх складу, вимагають індивідуального рішення всіх аспектів, які можуть виникати при їх використанні (вид речовини, агресивність, придатність до теплообміну тощо). До аналізу джерела слід додати також його параметри: потужність, температурний діапазон та їх зміни (у добовому, тижневому та річному масштабі). Температури техногенних джерел зазвичай вищі температур природних джерел (за виключенням геотермальних вод).

Найбільший температурний та енергетичний рівень джерел теплоти має сонячна радіація, а найменший – ґрунтова вода (табл.1). Температурний та енергетичний рівень води і повітря техногенних джерел теплоти є вищим, ніж природних джерел, що пов'язано з

недосконалістю технологічних процесів та технічних систем, і, як наслідок, втратами теплової енергії в навколишнє середовище, але масштаби використання природних низькопотенціальних джерел енергії є більшими.

За результатами аналізу видів низькопотенціальних джерел енергії, та їх характеристик, встановлено доцільність використання теплових насосів, як перетворювачів теплової енергії низького потенціалу в теплову енергію більш високих потенціалів та можливість їх використання майже в усіх галузях економіки: у промисловості, побуті, сільському господарстві тощо.

В промисловості основними є техногенні джерела низькотемпературної теплоти. Це промислові стічні води та комунально-побутові (рис.1), вода технологічного та енергетичного обладнання підприємств, охолоджуюча вода, вентиляційні викиди. Теплові насоси в промисловому виробництві використовують для опалювання виробничих побутових приміщень, підігрівання води для виробничих потреб та для кондиціонування.



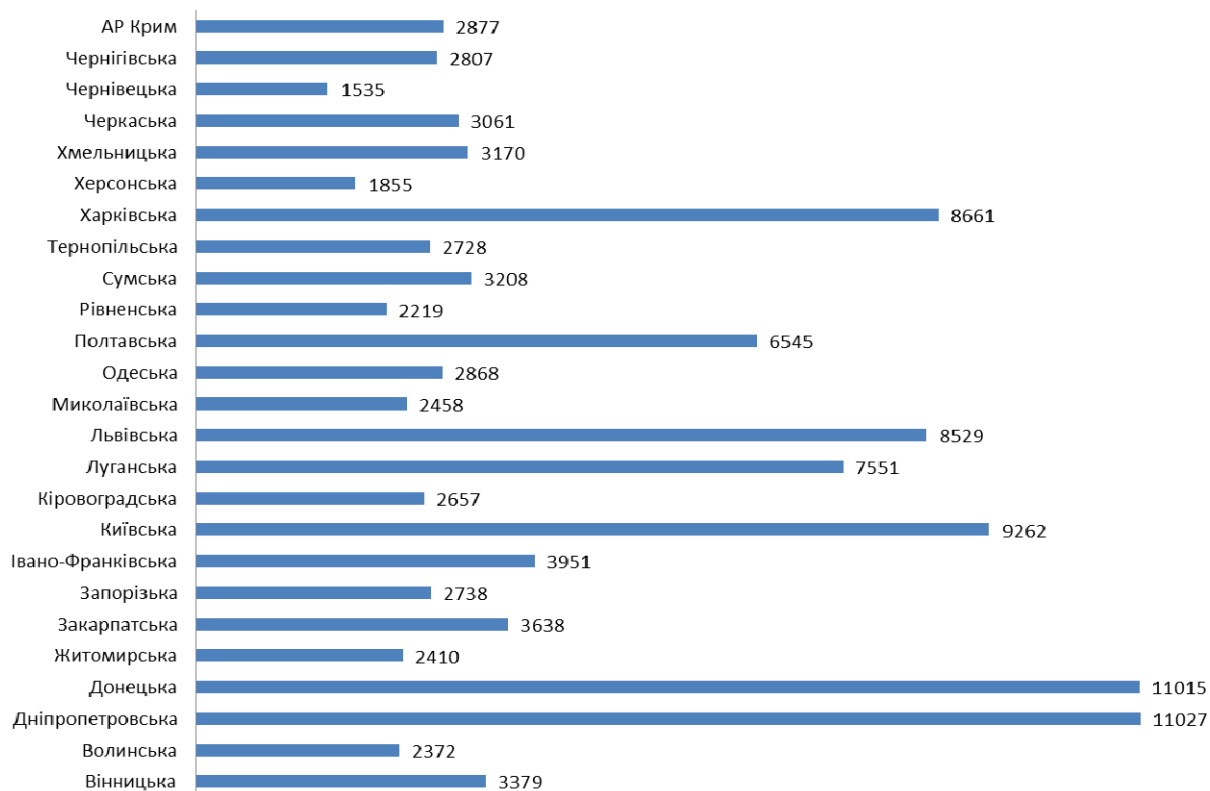
**Рис.1. Енергетичний потенціал низькотемпературної теплової енергії стічних вод в областях України (тис. МВт·год/рік)**

В Україні загальний річний об'єм комунально-побутових стоків становить близько 3740 млн. м<sup>3</sup>. Температура стоків становить 12–20°C залежно від сезону. В Україні каналізаційні системи централізованого відведення комунально-побутових стоків функціонують в 427 містах, 515 селищах міського типу, 856 селах. Питомий обсяг комунально-побутових стоків становить 0,15–0,4м<sup>3</sup> на одного жителя за добу [1]. Цей показник значною мірою залежить від доступності води та соціально-економічних умов в окремих регіонах. Теоретичні ресурси низькотемпературної теплової енергії стічних вод можуть бути розрахованими, виходячи з загального обсягу каналізаційних стоків відповідної області, а ресурси для технічного використання можуть розраховуватись, виходячи з загального обсягу очищених каналізаційних стоків (рис.1). Технічний енергетичний потенціал низькотемпературної теплової енергії стічних вод в Україні становить 33939 тис.МВт·год/рік. Найбільші його значення припадають на Київську, Дніпропетровську та Донецьку області і знаходяться в межах 4089-5086 тис. МВт·год/рік, а найменші – на Чернівецьку, Тернопільську, Закарпатську та Волинську області – 264 - 383тис. МВт·год/рік.

В побуті основними є природні джерела низькотемпературної теплоти. Це вода (поверхнева та ґрунтова), повітря, ґрунтове середовище, сонячна радіація. Теплові насоси в побуті використовують для опалювання будинків, підігрівання води для побутових потреб та для кондиціонування. На сьогодні в Україні експлуатується 9,3 млн. садибних будинків з загальною площею 515,8 млн.м<sup>2</sup>. Для їх теплопостачання можна влаштувати ґрунтові

теплообмінники з теоретичним запасом теплової енергії 525855 тис. МВт·год на рік. Ці теоретичні ресурси теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод визначаються на основі статистичних даних, вони значно перевищують потреби енергії для опалення садибних житлових будинків.

Теплова енергія ґрунту (рис. 2) та ґрунтових вод може використовуватися для обігріву та вентилявання приміщень.



**Рис.2. Енергетичний потенціал низькотемпературної теплоти ґрунту та ґрунтових вод в областях України (тис. МВт·год/рік).**

Відбір теплової енергії від ґрунту може здійснюватися за допомогою ґрунтових теплообмінників різних типів. Температура теплоносія в ґрунтовому теплообміннику становить від мінус 5–7 до плюс 10–12 °С і є придатною для виробництва теплоносія з температурою 40–70 °С за допомогою теплових насосів. Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту найчастіше використовують в теплонасосних установках потужністю до 70–100 кВт, які обслуговують окремі невеликі будинки, головним чином садибні житлові будинки. В умовах України це можуть бути садибні будинки міст та сіл.

Технічний енергетичний потенціал низькотемпературної теплової енергії теплоти ґрунту та ґрунтових вод в Україні становить 112521 тис. МВт·год/рік. Найбільші його значення припадають на Дніпропетровську, Донецьку, Київську, Львівську та Харківську області і знаходяться в межах 8529-11027 тис. МВт·год/рік, а найменші – на Чернівецьку та Херсонську області (1535-1855 тис. МВт·год/рік).

Сільське господарство є однією з галузей, в якій тепловий насос може знайти широке застосування, причому у багатьох випадках існують особливо сприятливі умови для застосування цих пристроїв. В сільськогосподарському виробництві в рівному співвідношенні можна використовувати природні та техногенні джерела низькотемпературної теплоти, оскільки в Україні сільське господарство в своєму розпорядженні має великі земельні та водні ресурси, а також власні вторинні теплові ресурси. Джерелом вторинних теплових ресурсів, а саме техногенних низькотемпературних

джерел енергії, придатних для використання в теплових насосах, є:

- підігріте вологе повітря, яке залишає сушарку;
- сільськогосподарські продукти, що охолоджуються (молоко, фрукти)
- кондиційоване повітря, яке відводиться з виробничих та побутових приміщень;
- теплота зі стійлових приміщень, що видаляється разом з вентиляльованим повітрям.
- тваринні відходи (гній);
- вентиляльоване повітря, яке відводиться з теплиць.

В результаті застосування теплового насоса одержане тепло можна використовувати в таких цілях:

- підігрів води для господарських потреб;
- підігрів та висушування повітря у сушарках;
- нагрівання вентиляційного повітря, що підводиться ззовні до приміщення;
- обігрівання теплиць, тепличних тунелів, житлових та виробничих приміщень.

В агропромисловому комплексі України теплові насоси застосовують в галузі тваринництва, а саме в таких його технологічних напрямках: у лініях первинної обробки молока одразу після доїння, для його охолодження та пастеризації; для теплопостачання стійлових приміщень; при утилізації продуктів життєдіяльності тварин. В галузі рослинництва теплові насоси застосовують в технологічних процесах переробки та зберігання продукції рослинного походження.

На молочних фермах частка витрат енергоресурсів становить до 50%, які розподіляються на прямі витрати електроенергії, це привід компресорів холодильних машин і на нагрів води для санітарно-технологічних потреб. При цьому низькопотенціальним джерелом теплової енергії є свіже молоко ферм. Так, при охолодженні 1л молока з 30°C до 4-6°C відводиться 85-100кДж теплоти. Цього тепла, а також енергії, витраченої на привід компресора холодильної установки, достатньо для нагріву 1л води до температури 25-35°C, воду з такими температурними параметрами можна використовувати в технологічному процесі сучасних доїльних установок.

Використання теплових насосів в тваринництві дозволить отримувати енергію з продуктів життєдіяльності тварин, а саме гною, в процесі їх утилізації. Реалізація такого способу полягає у тому, що під підлогою безпідстилкового свинарника розміщується насичений повітрям резервуар з гноєм. Насичення повітрям викликає кисневе бродіння, разом з яким відбувається виділення тепла (температура під підлогою хліву взимку не опускається нижче 25-27°C). На дні жолобів розкладені канали, заповнені соляним розчином, які з'єднані із загальним колектором. На підвідних та відвідних каналах, з'єднаних з будівлею, встановлений тепловий насос, який підвищує температуру соляного розчину з 20°C до 55°C, – цього вистачає для системи опалювання.

Таким чином, застосування теплових насосів в сільськогосподарському виробництві забезпечить одночасне охолодження тваринницької сировини та продукції, нагрів води для санітарно-технологічних потреб, кондиціонування повітря в стійлових приміщеннях та теплозабезпечення виробничих, побутових та житлових приміщень.

Використання в агропромисловому виробництві теплових насосів має велику перспективу і дозволить використовувати низькопотенціальні теплові ресурси, дасть змогу компенсувати дефіцит енергії та сприяти охороні навколишнього природного середовища.

В масштабах України використання різних видів низькотемпературних джерел енергії та теплових насосів, як накопичувачів цієї енергії, повинно відбуватись з урахуванням географічного положення об'єктів господарювання, природних ресурсів та напрямку господарської діяльності (табл. 2). Впровадження в Україні теплових насосних станцій дасть можливість отримати додатково теплову енергію в середньому з загальною потужністю 909,48МВт та економити щорічно до 614,650млн.м<sup>3</sup> природного газу [1] (табл.2).

Дані табл.2 показують потенціал використання природних та техногенних низькотемпературної теплоти. Так, в Україні планується досить широко використовувати природні низькопотенціальні джерела енергії, зокрема воду – морську, річкову, відсоток

отримання теплової потужності від якої є досить високим та коливається в межах 22-98% в розрізі регіонів. Так, відсоток отримання теплової потужності від використання води в якості низькотемпературного джерела енергії в Житомирській області становить 98,2%, в Чернігівській області – 96,6%, в Автономній республіці Крим – 90,6%, в Запорізькій області – 70,3%, в Вінницькій, Миколаївській, Полтавській, Черкаській, Чернівецькій областях – 100%

Таблиця 2

**Потенційні об'єми щорічного отримання теплової потужності та економії природного газу при застосуванні теплових насосів**

Регіон, область	Джерело теплоти	Потужність, МВт			Економія палива, тис. м3/рік		
		За джерелами	загальна	%	За джерелами	загальна	%
АР Крим	Морська вода	102,4	113	90,6	61700	68806	11,19
	Водосховище	2		1,7	1300		
	Термальні води	3		2,6	2100		
	Повітря	5,6		5,1	3706		
Київська м. Київ	Повітря	0,022	109,122	0,1	154	94174	15,32
	Каналізаційні стічні води	108,7		99,6	93720		
	Грунт	0,4		0,3	300		
Вінницька	Річка	71	71	100	49500	49500	8,05
Дніпропетровська	Повітря	24,6	187,84	13,1	14600	119000	19,36
	Річка	99,44		52,9	73230		
	Промисловість	39,5		21,5	18300		
	Каналізаційні стічні води	12		6,3	8400		
	Грунт	12,3		6,5	4470		
Донецька	Морська вода	5,8	22,3	26,0	3600	14200	2,31
	Річка	2,5		11,2	1600		
	Технічні води	14		62,8	9000		
Житомирська	Річка	45,0	45,83	98,2	31500	33300	5,42
	Каналізаційні стічні води	0,5		1,1	1100		
	Грунт	0,33		0,7	700		
Закарпатська	Термальні води	1,01	2,23	45,3	428	1282	0,21
	Повітря	0,22		9,8	154		
	Каналізаційні стічні води	1		44,9	700		
Запорізька	Морська вода	41,6	59,1	70,3	28950	35440	5,77
	Повітря	2,4		4,2	2390		
	Річка	15,1		25,5	4100		
Івано-Франківська	Повітря	0,3	0,4	75	24	94	0,02
	Грунт	0,1		25	70		
Кіровоградська	Річка	1	18	5,6	340	12240	1,99
	Каналізаційні стічні води	17		94,4	11900		

Луганська	Річка	34,06	149,26	22,8	25960	96500	15,70
	Промисловість	59,4		39,7	33000		
	Каналізаційні стічні води	25,3		17,1	17400		
	Технічні води	30,5		20,4	20140		
Миколаївська	Річка	20	20	100	15000	15000	2,44
Одеська	Морська вода	3	14	21,4	2100	7702,1	1,25
	Водосховище	3		21,4	2,1		
	Річка	1		7,2	700		
	Ґрунт	7		50,0	4900		
Полтавська	Річка	0,76	0,76	100	460	460	0,08
Рівненська	Річка	2,5	20,8	12,0	1402	16012	2,61
	Каналізаційні стічні води	18		86,5	14400		
	Ґрунт	0,3		1,5	210		
Харківська	Каналізаційні стічні води	3,5	4	87,5	1700	1860	0,30
	Ґрунт	0,5		12,5	160		
Херсонська	Річка	30,52	50,92	59,9	20070	35670	5,80
	Каналізаційні стічні води	20,4		40,1	15600		
Хмельницька	Ґрунт	2	2	100	1400	1400	0,23
Черкаська	Річка	6	6	100	4000	4000	0,65
Чернівецька	Річка	0,5	0,5	100	2	2	0,00032
Чернігівська	Повітря	0,418	12,418	3,4	8	8008	1,30
	Річка	12		96,6	8000		
Разом по Україні		909,48				614650,1	100

Друге місце посідає теплова енергія, яка може бути отримана від техногенних джерел теплоти, а саме каналізаційних та технічних вод. Її частка в розрізі областей України коливається в межах 17,3%-99,6%, зокрема в Київській області вона становить 99,6%, в Кіровоградській – 94,4%, в Рівненській – 86,5%, в Харківській – 87,5%.

Слід відзначити, що найбільші щорічні обсяги економії природного газу від використання теплонасосних систем в структурі областей України припадають на Дніпропетровську область – 19,36%, Київську та Луганську області – приблизно по 15%, Автономну республіку Крим – 11,19%, Вінницьку область – 8,05%, Житомирську Херсонську, Запорізьку області – приблизно по 5%.

На даний час в нашій державі працюють лише одиничні установки, а створення і впровадження теплових насосів базується переважно на ентузіазмі виконавців, оскільки впровадження даних систем є фінансово досить затратним. При цьому слід відмітити, що впровадження теплових насосів (ТН) в інших країнах світу проходить при державній підтримці шляхом надання субсидій покупцям теплових насосів, податкових та кредитних пільг, субсидій виробникам теплонасосного устаткування, двоступеневого тарифу на закупівлю електроенергії.

*Терміни та визначення систем низькотемпературних джерел енергії. Будова та принцип роботи теплових насосів.*

Абсорбційний тепловий насос – насос для транспортування тепла на більш високий енергетичний рівень використовує теплову форму енергії.

Верхнє джерело енергії – джерело з якого теплова енергія передається.

Внутрішній обмінник тепла – призначений для передачі тепла у внутрішній простір будівлі або до установки теплої води для побутових чи промислових цілей, що знаходиться в будинку, або ж бере участь у прийомі тепла з будівлі.

Зовнішній обмінник тепла – призначений для створення можливості приймання теплоти із середовища, що знаходиться поза будівлею або з іншого доступного джерела тепла, або ж для передачі тепла у це середовище.

Коефіцієнт перетворення тепла (коефіцієнт трансформації тепла, продуктивності потужності, перетворення температур) – показує відношення одержуваного тепла до витраченої енергії.

Компресорний тепловий насос – насос для транспортування тепла на більш високий енергетичний рівень використовує механічну форму енергії.

Нижнє джерело енергії – джерело, з якого відбирається теплова енергія.

Тепловий насос (англ. heat pump) – прилад, який переносить розсіяну теплову енергію в опалювальний контур (транспортує теплоту на більш високий енергетичний рівень). Принцип роботи теплового насоса оснований на зворотному циклі Карно. В залежності від типу енергії, що передається, теплові насоси поділяють на: компресорні, абсорбційні та термоелектричні.

Теплоелектричний тепловий насос – насос для транспортування тепла на більш високий енергетичний рівень використовує електричну форму енергії.

Цикл Карно – цикл роботи теплової машини. Цикл складається з чотирьох стадій: робоча речовина нагрівається за сталої температури (ізотермічний процес); робоча речовина розширюється за сталої ентропії (адіабатичний процес); робоча речовина охолоджується за сталої температури (ізотермічний процес); робоча речовина стискається за сталої ентропії (адіабатичний процес). Коефіцієнт корисної дії для теплової машини, що працює за циклом Карно, залежить лише від різниці температур нагрівача і охолоджувача.

Хімічний тепловий насос – насос для транспортування тепла на більш високий енергетичний рівень використовує хімічну форму енергії.

Для транспортування теплоти на більш високий енергетичний рівень в теплових насосах використовують такі форми енергії:

- механічну (компресорний тепловий насос);
- теплову (абсорбційний тепловий насос);
- електричну (теплоелектричний насос);
- хімічну (хімічний тепловий насос).

Будова та робочий процес компресорного теплового насоса (рис. 3). Компресор 1 всмоктує холодоагент – робоче середовище 7 у вигляді пари та стискає його, в результаті цього піднімається його температура, після чого він перетікає у конденсатор 3, де відбувається його конденсування. Робоче середовище 7, що стискається, віддає теплоту для підвищення температури нагрівального середовища 5, наприклад води або повітря. Далі сконденсований холодоагент 7 протікає у дроселюючому вентилі 4, одночасно втрачаючи свою температуру, і перетікає до випарника 2, де відбувається випарювання робочого середовища 7 за рахунок теплоти, яка береться із джерела низької температури 6.

Робочим середовищем, що знаходиться у компресорних теплових насосах, найчастіше всього являється фреон – речовина з низькою температурою випаровування. Оскільки фреон згубно діє на озоновий шар, зараз його замінюють такими речовинами, як аміак, РС-318 та метиламіни.

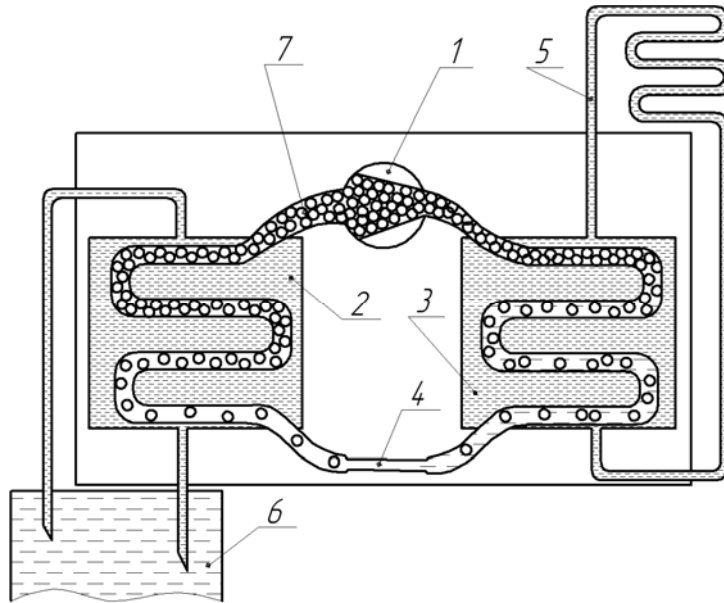
Ефективність теплових насосів характеризує коефіцієнт продуктивності (або коефіцієнт трансформації теплового насоса)  $E_t$ , який визначається, як відношення отримуваної теплової потужності до витраченої механічної роботи компресора:

$$E_t = \frac{E_2}{L} = \frac{E_1 + L}{L}; \quad (1)$$

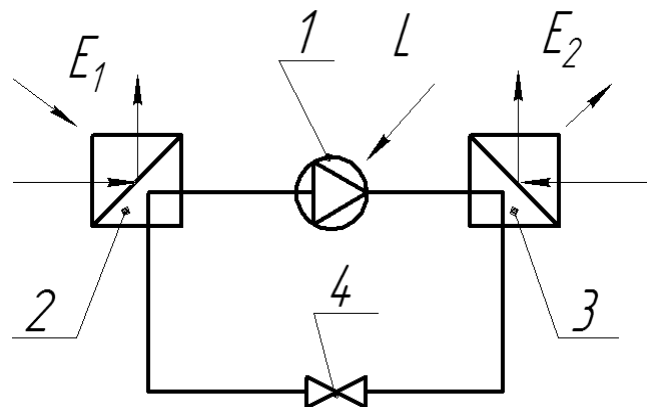


де:  $E_1$  – енергія, отримана з низькотемпературного джерела, Дж;  $E_2$  – енергія, яка передається обігрівальній установці, Дж;  $L$  – механічна робота компресора, Дж.

Компресорні теплові насоси характеризуються високими величинами цього коефіцієнта:  $E_t = 2,5-4$ , теоретично він навіть вище та сягає до 8.



а) принцип дії



б) схема роботи

**Рис. 3. Компресорний тепловий насос [2]:**

1 – компресор; 2 – випарник; 3 – конденсатор; 4 – дросельований вентиль; 5 – середовище, що нагрівається (вода); 6 – низькотемпературне джерело тепла; 7 – робоче середовище

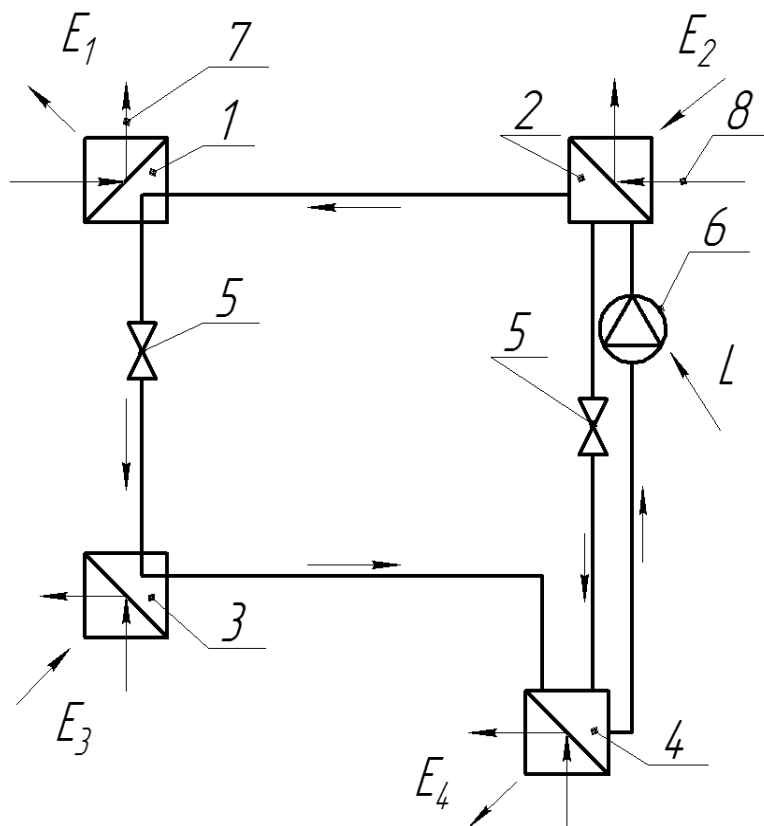
Будова та робочий процес абсорбційного теплового насоса (рис. 4) складається з елементів, схожих з елементами компресорного насоса. Зміни стану концентрації холодагента так само аналогічні процесам, які протікають у компресорному тепловому насосі. Дія абсорбційного теплового насоса вимагає подачі енергії у вигляді теплоти. Компресор замінюється комплектом, що складається із варильного апарата 2 та абсорбера 4.

Варильний апарат – десорбер 2, в якому знаходиться вода, насичена аміаком, обігрівается за рахунок тепла, що підводиться ззовні 8 (гаряча вода, водяна пара, топкові гази тощо). В результаті обігрівання варильного апарата 2 утворюється пара із легко

закипаючого аміаку, який потім конденсується у конденсаторі 1, віддаючи тепло нагрівальному середовищу 7. Сконденсований аміак перетікає через дроселюючий вентиль 5 до випарника 3, де, випаровуючись, бере тепло із джерела з низькою температурою 10. Із випарника 3 аміак проводиться до абсорбера 4, насичуючи бідний розчин аміаку, який повертається із варильного апарата 2. Під час насичення виділяється тепло абсорбції, яке відводиться до нагрівального середовища 7. Коефіцієнти продуктивності  $E_t$  абсорбційних теплових насосів визначаються залежністю:

$$E_t = \frac{E_1 + E_4}{E_2 + E_3 + L}; \quad (2)$$

де:  $E_1, E_4$  – енергія, яка передається нагрівальній установці, Дж;  $E_2$  – теплова енергія, що подається у варильний апарат, Дж;  $E_3$  – енергія, отримана із низькотемпературного джерела енергії, Дж;  $L$  – механічна робота компресора, Дж.



**Рис. 4. Схема роботи абсорбційного теплового насоса [2]:**

- 1 – конденсатор; 2 – варильний апарат (десорбер); 3 – випарник;  
 4 – абсорбер; 5 – дросельований вентиль; 6 – насос; 7 – теплота, що приймається середовищем, яке нагрівається; 8 – підведення тепла ззовні;  
 9 – теплота абсорбції; 10 – низькотемпературне джерело тепла

Порівняно з компресорними насосами, абсорбційні теплові насоси характеризуються більш низькою (у 2-3 рази) величиною коефіцієнта  $E_t$ , який становить 1,3-1,6. Оскільки абсорбційні теплові насоси вимагають подачі джерела тепла до варильного апарата високої температури, вони застосовуються там, де існують джерела надлишкової теплоти (наприклад, геотермальні води, сонячні колектори, біогаз).

*Термоелектричні теплові насоси.* Принцип дії термоелектричних теплових насосів спирається на ефект Пельтьє, що заключається у виділенні або поглинанні теплоти у місці

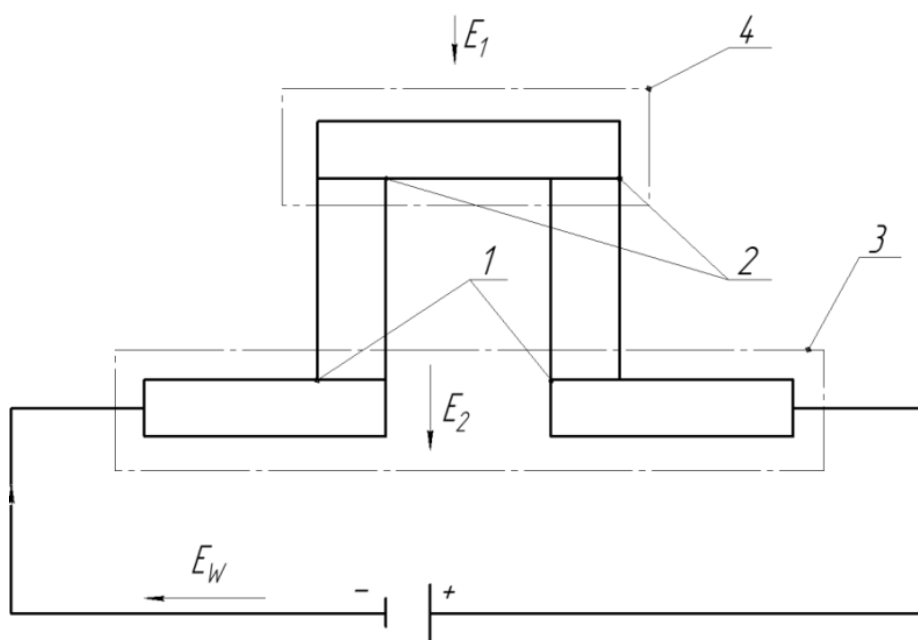
з'єднання двох різних металів (напівпровідників), коли крізь них протікає постійний електричний струм (рис. 5). Кількість тепла  $E_1$ , що поглинається, залежить від різниці коефіцієнтів термоелектричних сил зварених матеріалів, сили струму, температури холодного зварювання, а також часу. „Привідною” енергією у такому насосі є енергія  $E_w$ , отримана із джерела електричного струму.

Коефіцієнт нагрівальної продуктивності  $E_t$  визначається залежністю:

$$E_t = \frac{E_2}{E_w} = \frac{E_1 + E_w}{E_w}; \quad (3)$$

де:  $E_1$  – теплота, що поглинається із нижнього джерела теплоти, Дж;  $E_2$  – теплота, що віддається обігрівальній установці, Дж;  $E_w$  – енергія, яка береться із джерела електричного струму, Дж

Величина коефіцієнта  $E_g$  становить 1,4 - 2. Термоелектричні теплові насоси застосовують перш за все у легких, малощумних системах, які охолоджують електронні агрегати, наприклад потужні комп'ютерні системи.



**Рис. 5. Схема роботи термоелектричного теплового насосу [2]:**

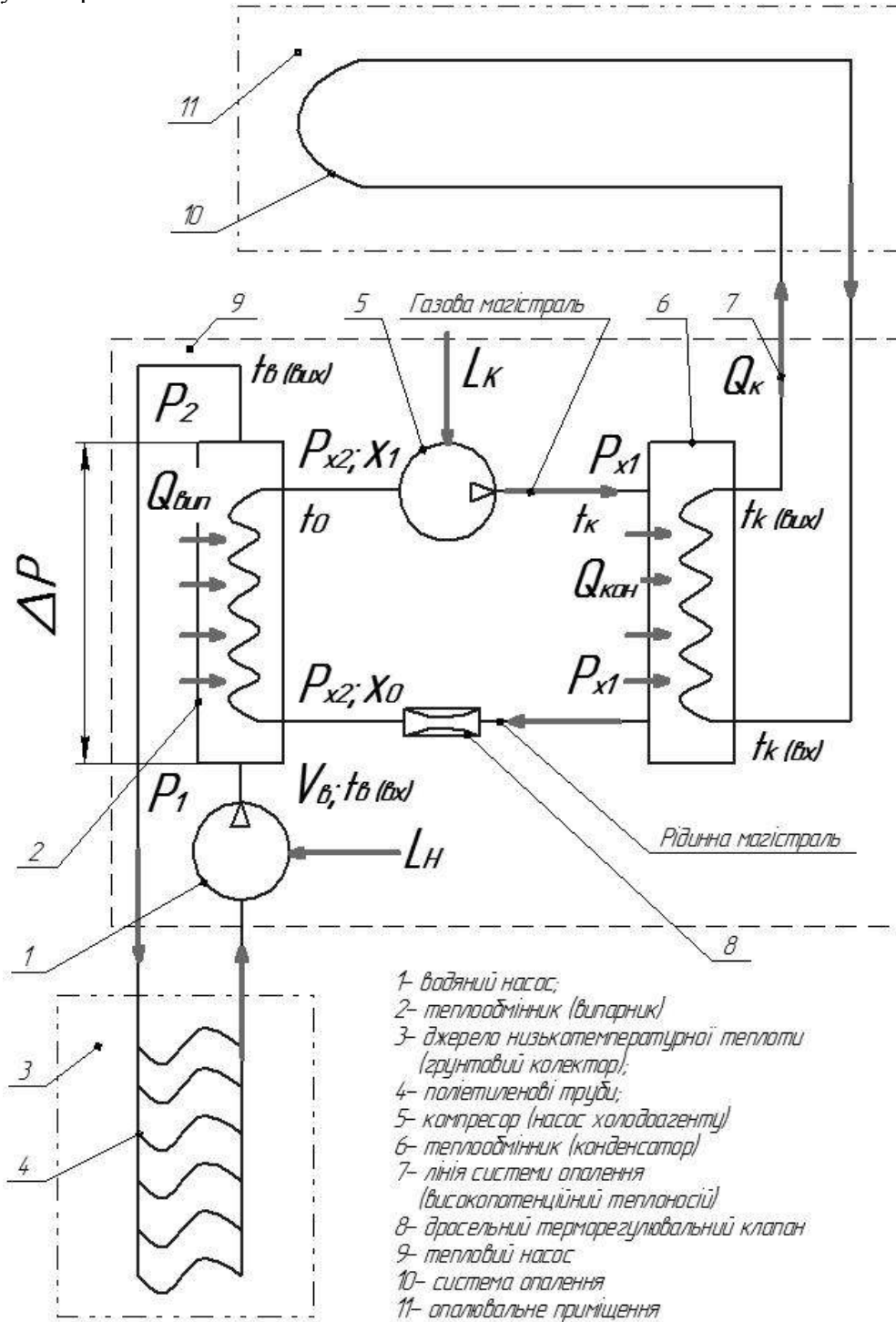
1 – зварні шви, що виділяють енергію; 2 – зварні шви, що поглинають енергію; 3 – верхнє джерело енергії; 4 – нижнє джерело енергії

Хімічні теплові насоси працюють на основі використання теплоти, яка виділяється протягом ендотермічних та екзотермічних хімічних реакцій. Ці насоси знаходяться лише у фазі дослідних робіт, що просуваються вперед, і, враховуючи досить складну технологію, в основному ще не застосовуються у широкій практиці.

*Термодинамічний аналіз роботи системи теплового насоса.* Термодинамічний аналіз роботи теплового насоса проведемо відповідно до принципової схеми низькотемпературного водяного опалення з використанням “водо-водяного” теплового насоса (рис. 6).

В системі теплового насосу (рис. 6, 7) знаходиться холодоагент з низькою температурою кипіння (фреон R22) витрата холодоагенту становить  $G$  (кг/с), температура кипіння фреону у випарнику  $2 t_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), температура конденсації парів фреону у конденсаторі  $t_k$ . В якості джерела тепла приймемо ґрунтовий колектор 3, що відбирає тепло із землі через

теплоносій (вода), вода з вхідною температурою  $t_{в(вх)}$  та об'ємною витратою  $V_в$  насосом 1 подається у випарник 2 теплового насоса.



**Рис.6. Принципова схема низькотемпературного водяного опалення з використанням “водо-водяного” теплового насоса**

Колектори 3 виготовляються з поліетиленових труб 4 діаметрами 20...40мм максимальною довжиною 100м. У випарнику 2 відбувається втрата тиску (Па) низькотемпературного теплоносія (води)  $\Delta P$  величина якої розраховується як:

$$\Delta P = P_1 - P_2; \quad (4)$$

де:  $P_1$  – тиск води на вході у випарник, Па;  $P_2$  – тиск води на виході з випарника, Па.



**Рис. 7. Загальний вигляд теплового насосу**

Затрати роботи (Дж/год) на привід водяного насоса визначаються як:

$$L_H = \frac{V_B \cdot \Delta P}{\eta_H \cdot \eta_{пр} \cdot 3600 \cdot 1000}; \quad (5)$$

де:  $V_B$  – об'ємна витрата води, м<sup>3</sup>/год;  $\eta_H$  – ККД водяного насоса  $\eta_H = 0,8$ ;  $\eta_{пр}$  – ККД приводу водяного насоса  $\eta_{пр} = 0,95$ .

Необхідна потужність (Вт) електродвигуна для приводу водяного насоса визначається за формулою:

$$N_H = \frac{L_H}{3600 \cdot 1000}; \quad (6)$$

Відбір теплової енергії залежить від виду ґрунту і в середньому складає:

- для сухого піщаного  $q_e = 10 \dots 15$  Вт/м<sup>2</sup>;
- для вологого піщаного  $q_e = 15 \dots 20$  Вт/м<sup>2</sup>;
- для сухого глинистого  $q_e = 20 \dots 25$  Вт/м<sup>2</sup>;
- для вологого глинистого  $q_e = 25 \dots 30$  Вт/м<sup>2</sup>;
- з ґрунтовими водами  $q_e = 30 \dots 35$  Вт/м<sup>2</sup>.

По випарнику 2 (рис.6) протікає паро рідинна суміш холодоагенту R22, який має знижений тиск  $P_{x2}$  і температуру  $t_0$ . Холодоагент, підігріваючись теплом води низького потенціалу, починає випаровуватися переходячи з паро рідинного стану в газоподібний, відводячи тепло  $Q_{вип}$  охолоджуючи при цьому воду до температури  $t_{в(вих)}$ . Кількість тепла (Дж), що було відібрано від низькопотенційного джерела, визначається за формулою:

$$Q_{вин} = V_v \cdot \rho_v \cdot c_v \cdot (t_{в(вх)} - t_{в(вих)}) = r \cdot (x_1 - x_0); \quad (7)$$

де:  $V_v$  - об'ємна витрата води, м<sup>3</sup>;  $\rho_v$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;  $t_{в(вх)}$  – температура води на вході у випарник, °С;  $t_{в(вих)}$  - температура води на виході з випарника, °С;  $r$  – теплота

пароутворення, кДж/кг;  $x_1$  – ступінь сухості парів холодоагенту після випарника  $x_1 = 1$ ;  $x_0$  – ступінь сухості парів холодоагенту після дроселювання  $x_1 = 0,05$ .

Компресор 5 (рис. 6) всмоктує з випарника 2 насичені пари і стискує адіабатно їх до тиску  $P_{x1}$ . При цьому зростає ентальпія і температура пари до  $t_k$ . Робота (Дж/год), що витрачається на стискування холодоагенту, дорівнює зміні ентальпії і визначається за формулою:

$$L_K = I_1 - I_2 = \frac{k}{k-1} \cdot p_{x2} \cdot V_{x2} \cdot \left( \left( \frac{p_{x1}}{p_{x2}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) = \frac{Q_{вин}}{E_D - 1}; \quad (8)$$

де:  $P_{x2}$  – тиск холодоагенту в випарнику, Па;  $P_{x1}$  – тиск холодоагенту в конденсаторі, Па;  $k$  – показник адіабати,  $k=1,4$ ;  $E_D$  – дійсний коефіцієнт трансформації теплового насоса;  $V_{x2}$  - об'єм холодоагенту у випарнику, м<sup>3</sup>, визначається за формулою:

$$V_{x2} = \frac{G \cdot R \cdot (t_0 + 237)}{p_{x2}}; \quad (9)$$

де:  $G$  - витрата холодоагенту, кг/год;  $t_0$  - температура кипіння фреону, °С;  $R$  – газова стала холодоагенту, Дж/кгК.

Необхідна потужність (Вт) електродвигуна для приводу компресора визначається за формулою:

$$N_K = \frac{L_K}{3600 \cdot 1000}; \quad (10)$$

Пара холодоагенту при температурі конденсації  $t_k$  надходить в теплообмінник (конденсатор) 6 (рис.6), де передає своє тепло  $Q_{конд}$  (Дж) високопотенційному теплоносію 7 (вода в системі опалення), після чого пара холодоагенту конденсується при незмінному тиску  $P_1$  та переходить в рідкий стан. Теплота конденсації пари холодоносія визначається за формулою:

$$Q_{конд} = Q_{вин} + L_K; \quad (11)$$

Далі холодоагент надходить до дроселя 8 (рис. 6), в дросельному терморегулювальному клапані 8 відбувається зниження тиску рідини від  $P_1$  до  $P_2$ . Рідкий холодильний агент частково випаровується і утворюється парорідинна суміш. При дроселюванні ентальпія пари залишається незмінною, а температура знижується до  $t_0$ . Парорідинна суміш надходить на випарник, де процес повторюється. Для запобігання попадання рідини у компресор і його пошкодження у випарнику роблять додаткову ділянку перегріву для того, щоб вся рідина випарувалася.

Кількість переданої споживачам корисної теплоти (Дж) буде визначатись за формулою:

$$Q_K = G_k \cdot c_k \cdot (t_{k(вих)} - t_{k(вх)}); \quad (12)$$

де:  $c_k$  – ізобарна теплоємність теплоносія (води),  $c_k=4,19$ кДж/(кг · К);  $G_k$  - витрати теплоносія (води), кг/с;  $t_{k(вих)}$  - температура води на виході з теплообмінника 6 (конденсатора), °С;  $t_{k(вх)}$  - температура води на вході в теплообмінник (конденсатор), °С;

Мірою енергетичної ефективності теплового насосу слугує є холодильний коефіцієнт  $\varepsilon_x$  і, як вже відмічалось вище коефіцієнт перетворення енергії або коефіцієнт трансформації  $E_T$ , що характеризує відношення відданої споживачу енергії до витраченої потужності. Так, холодильний коефіцієнт визначається за формулою:

$$\varepsilon_x = \frac{Q}{L_K} = \frac{273 + t_0}{(273 + t_k) - (273 + t_0)}; \quad (13)$$

де:  $t_0$  - температура кипіння фреону у випарнику, °С;  $t_k$  - температура конденсації парів фреону у конденсаторі, °С.

Для ідеального циклу теплового насоса коефіцієнт трансформації визначається за формулами (1...3). В реальних умовах необхідно враховувати різноманітні втрати, тому необхідно визначити дійсні коефіцієнти трансформації теплового насоса:

$$E_D = E_T \cdot \eta_{TH}; \quad (14)$$

де:  $\eta_{TH}$  – ККД теплового насоса,  $\eta_{TH} = 0,6$ ;  $E_D$  - теоретичний коефіцієнт трансформації теплового насоса, який з урахуванням теплових необоротностей у випарнику та конденсаторі можна визначити за співвідношенням:

$$E_T = \frac{1}{1 - \frac{t_0 + 273}{t_k + 273}} = \frac{1}{1 - \frac{273 + t_{в(вих)} - \Delta t_{вип}}{273 + t_{к(вих)} - \Delta t_{кон}}}; \quad (15)$$

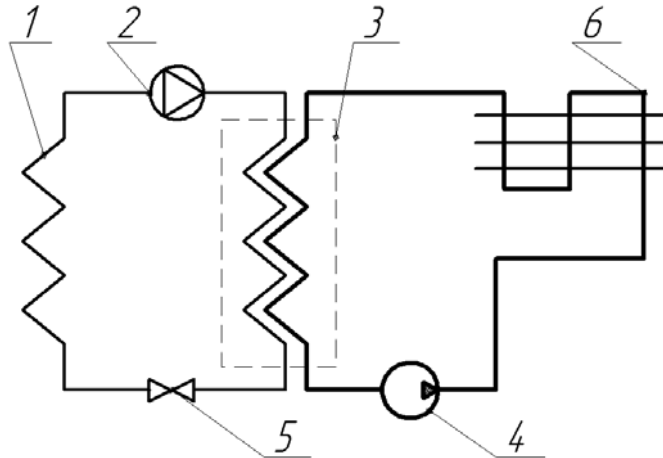
де:  $t_0$  - температура кипіння фреону у випарнику, °С;  $t_k$  - температура конденсації парів фреону у конденсаторі, °С;  $t_{в(вих)}$  - температура води на виході з випарника, °С;  $t_{к(вих)}$  - температура води на виході з конденсатора, °С;  $\Delta t_{вип}$  - різниця температур води та робочого тіла теплового насоса на виході з випарника, °С;  $\Delta t_{кон}$  - різниця температур робочого тіла теплового насоса та води на виході з конденсатора, °С.

*Структурні схеми обігрівальних систем з використанням теплових насосів.* В залежності від середовища, з якого отримується і береться тепло, можна виділити декілька обігрівальних систем: повітря – повітря, повітря – вода, вода – вода. Це спрощена класифікація, а визначення „вода” означає будь-який рідкий носій тепла, визначення „повітря” означає в загальному газ, топкові газ, пари тощо. До складу обігрівальних систем, крім представлених елементів теплових насосів, входять внутрішні та зовнішні обмінники тепла, структура яких залежить від виду обігрівальної системи. Задача внутрішніх обмінників тепла полягає в передачі тепла у внутрішній простір будинку чи до установки нагрівання води, або ж у прийомі теплоти з вищевказаних джерел. Задачею зовнішніх обмінників тепла є: створення можливості приймання теплоти із середовища, що знаходиться поза будинком або з іншого доступного джерела тепла, або ж передача тепла у це середовище.

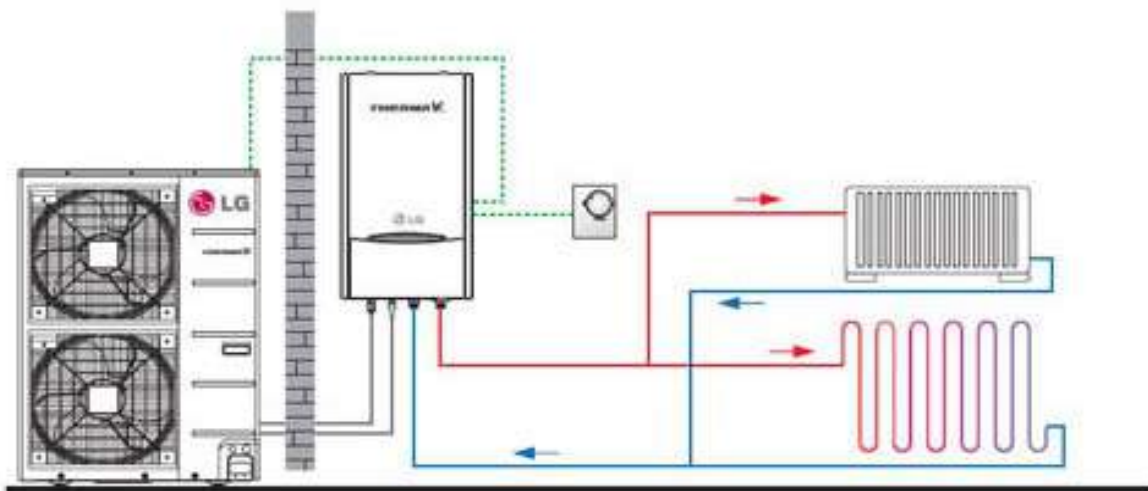
Обігрівальна система типу повітря – повітря. У цій системі теплота береться із зовнішнього повітря або ж засмоктується з опалюваного приміщення і передається до опалювальної установки. Теплові насоси з такими системами на сьогодні широко використовуються. Їх застосовують для опалювання приміщень, підготовки теплої води та кондиціонування приміщень.

В опалювальній системі типу повітря – вода (рис. 7) тепло береться із зовнішнього повітря, при цьому повітря може надходити до теплового насоса за рахунок природної тяги або засмоктується із навколишнього середовища, далі тепло передається воді за рахунок

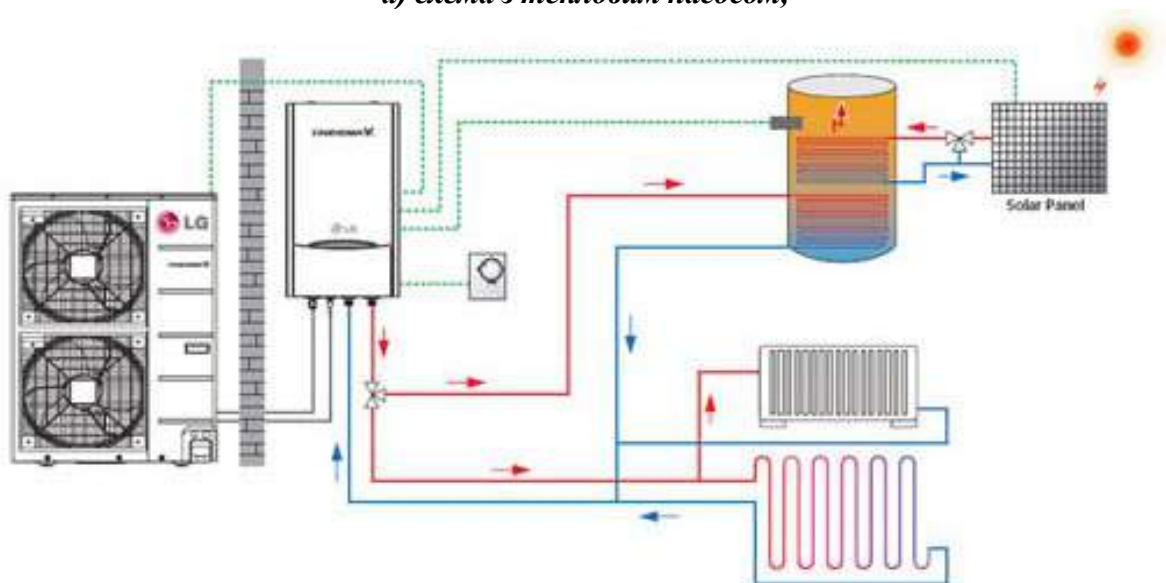
циркуляції холодоагента в тепловому насосі. Тепло може використовуватись безпосередньо в для отримання гарячої та для опалювання приміщень (рис. 8).



**Рис.7. Схема опалювальної системи типу повітря – вода [2]:**  
 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 – водний насос;  
 5 – дросельований вентиль; 6 – обігрівач



*а) схема з тепловим насосом;*

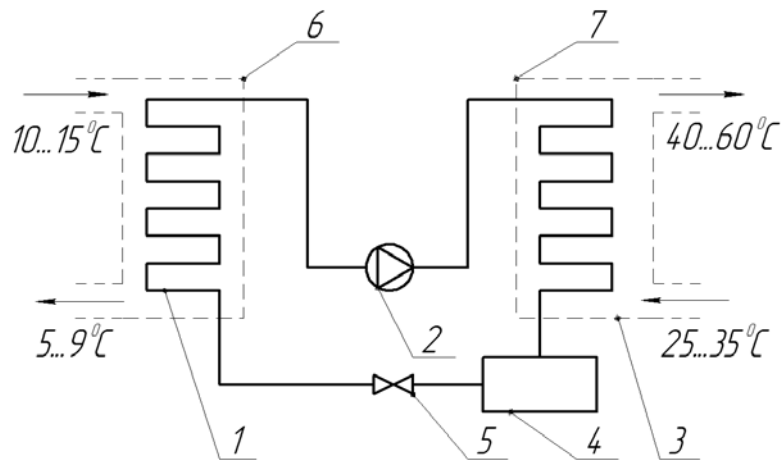


*б) схема з тепловим насосом, гелеколектором, та енергоакумулятором*

**Рис.8. Технологічна схема опалювання з використанням теплового насоса**

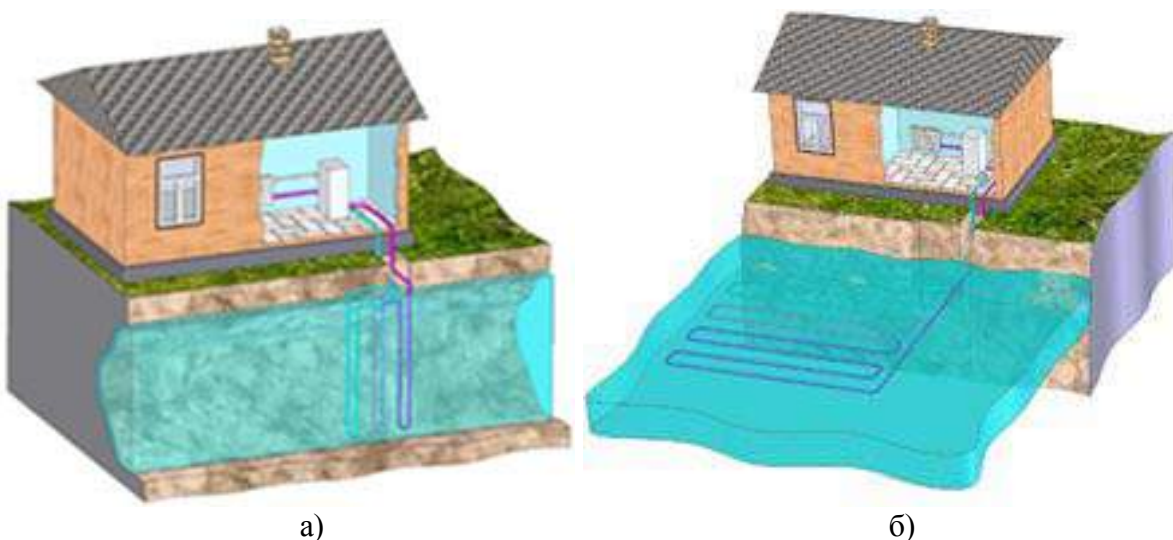


В обігрівальній системі типу вода – вода тепло береться від води і передається циркуляцією теплового насоса до споживача (рис. 9), при цьому в якості низько потенційного джерела теплоти можуть використовуватись ґрунтові, поверхневі води та ґрунт (рис. 10, 11).



**Рис.9. Структурна схема опалювальної системи типу вода – вода [2]:**  
 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 – резервуар;  
 5 – дросельований вентиль; 6 – резервуар, від якого випарник одержує тепло; 7 – резервуар для нагрівання води

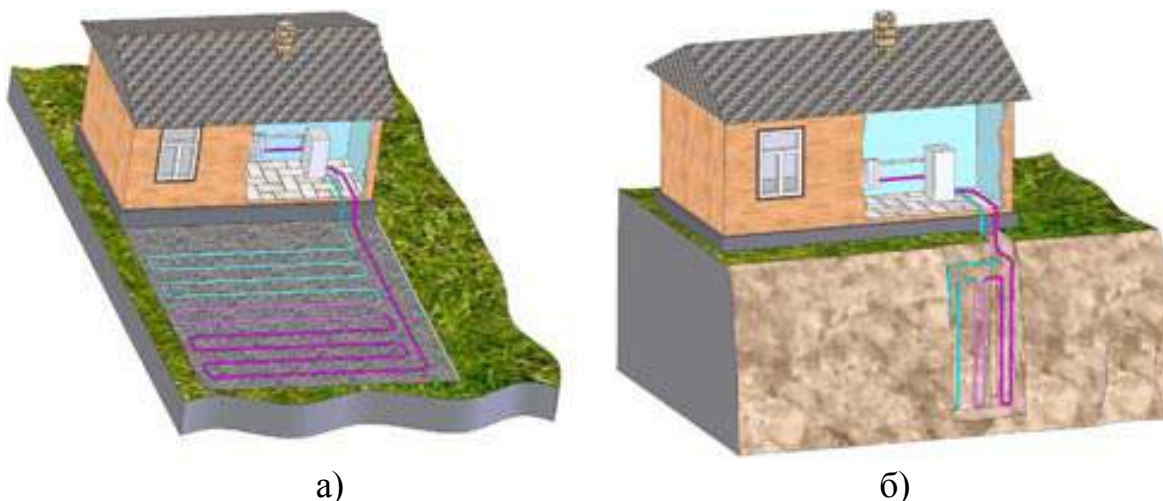
Обігрівальні системи такого типу використовують для опалювання приміщень, а також для приготування теплої води для побутових цілей (рис. 10, 11).



**Рис. 10. Схема використання ґрунтових та поверхневих вод для теплового насосу в опалювальній системі будинку: а) з використанням ґрунтових вод; б) з використанням поверхневих вод**

При використанні енергії ґрунтової води (рис. 10, а) необхідно враховувати її доступність на необхідній глибині, при цьому застосовується тепловий насос типу “вода-вода” або “вода-повітря”. Оскільки вода має високу теплоємність, то ефективність системи буде досить висока. А постійна температура ґрунтових вод біля  $+8^{\circ}\text{C}$  -  $+12^{\circ}\text{C}$  гарантує оптимальне джерело низькопотенційного тепла. При цьому ґрунтові води направляються з однієї свердловини в тепловий насос, віддають там теплову енергію, а потім перекачуються в іншу свердловину, що розміщена на деякій відстані від першої.

При використанні енергії поверхневої води (рис.10, б) необхідно враховувати її доступність на необхідній відстані від будинку, при цьому застосовується тепловий насос із закритим циклом (рис.10, б) і водорозміщеним теплообмінником – спеціальна рідина (теплоносій) прокачується по колекторах (трубках), що знаходяться у водоймі, і віддає або забирає тепло у води. Будинок має сенс опалювати тепловою енергією відкритої водойми в тому випадку, якщо будинок знаходиться від водойми ближче 100 метрів, і глибина водойми, а також берегова лінія відповідають умовам, необхідним для прокладки колектора. Таким чином, для встановлення теплового насоса продуктивністю 10кВт необхідно укласти в озеро контур довжиною 300 метрів. Перевагою такого способу є його відносна дешевизна.

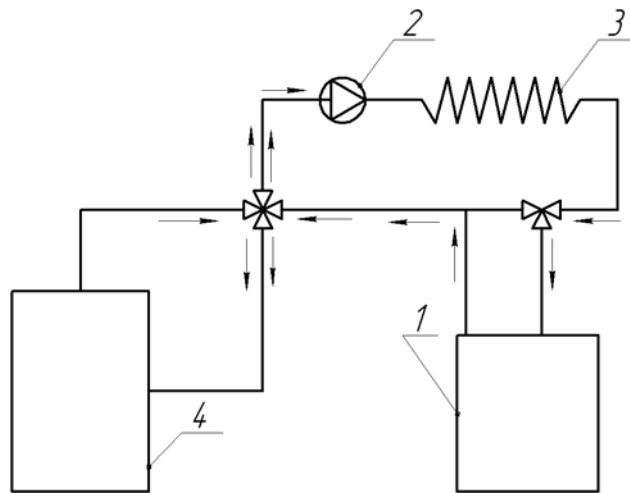


**Рис. 11. Схема використання ґрунтового середовища для теплового насосу в опалювальній системі будинку: а) з використанням горизонтального колектора; б) з використанням вертикального колектора**

При використанні енергії ґрунту використовують горизонтальний колектор (рис.11, б), який розташовується на глибині близько 1,2-1,3 м. Горизонтальний колектор застосовується, якщо є достатньо площі для його вкладання. Для застосування траншейного колектора необхідно трохи менше простору. Буде потрібно приблизно в 1-1,5 рази більше площі, ніж опалювальний простір. Набагато менше місця вимагають вертикальні геотермальні теплообмінники (рис.11, б), що складаються з трубок, через які прокачується теплоносій. Вони розміщуються вертикально в землі й ідуть в глибину до 200 метрів (найчастіше 50 - 100 метрів). Такі зонди вводяться буровим інструментом. Геотермальні зонди складаються з замкнених труб, що відбирають тепло так само, як ґрунтовий колектор. Кількість тепла, що відбирає зонд, складає від 30 до 100Вт на метр зонда, що значною мірою залежить від особливостей ґрунту. Даний метод має саму високу ефективність роботи теплонасоса, мала витрата електроенергії і відносно дешеве тепло – на 1кВт електроенергії одержують до 5 кВт теплової енергії, але вимагає великих попередніх капіталовкладень.

З точки зору способу роботи розрізняють наступні системи теплових насосів: моновалентна, бівалентна, бівалентно – паралельна, альтернативна. Робота теплового насоса у моновалентній системі полягає у тому, що тепловий насос являється єдиним джерелом, що забезпечує постійну подачу теплоти до опалювальної установки. Ця система використовується лише тоді, коли джерело теплової енергії має відносно постійну та високу температуру протягом усього року, наприклад, комунальні стоки.

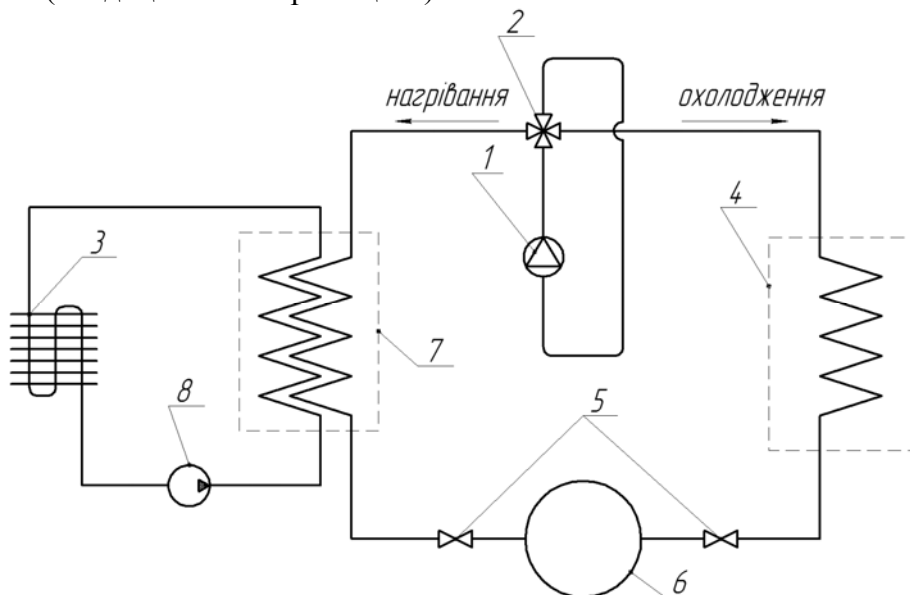
Бівалентна система роботи теплового насоса полягає в тому, що вона працює разом з іншими опалювальними установками, такими як на рис. 12, рис. 7 та рис. 14. Тепловий насос доставляє тепло до якогось моменту або „пункту перемикання”, після чого опалювання приймає інша традиційна нагрівальна установка. Пункт перемикання визначає температуру на виході із теплового насоса, при якій забезпечується необхідна теплова потужність для обігрівання.



**Рис.12. Схема роботи теплового насоса у бівалентній системі [2]:**

1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 – традиційна опалювальна установка

Цю систему часто застосовують на практиці, оскільки сама система теплового насоса, особливо у холодний сезон, не завжди в змозі забезпечити температурні вимоги. Принцип роботи теплового насоса бівалентно-паралельної системи схожий на принцип роботи теплового насоса за бівалентною схемою. У бівалентно-паралельній системі, як і в системі, представленій вище, тепловий насос працює разом з іншою нагрівальною установкою. Різниця між цими системами полягає лише у тому, що у бівалентно-паралельній системі, якщо тепловий насос не може досягти необхідної температури, вмикається інший нагрівальний пристрій. Робота теплового насоса в альтернативній системі полягає в тому, що тепловий насос, в залежності від існуючих потреб, працює як нагрівальний пристрій, або як охолоджувальний (рис.13). Триходовий вентиль, що керується термостатом, викликає зміну напрямку протікання робочого середовища. Кожен обмінник тепла працює періодично як конденсатор або як випарник. Завдяки цьому, наприклад, вода, що перекачується через нагрівальні пристрої, в залежності від потреб, нагрівається (опалення приміщень) або охолоджується (кондиціонування приміщень).

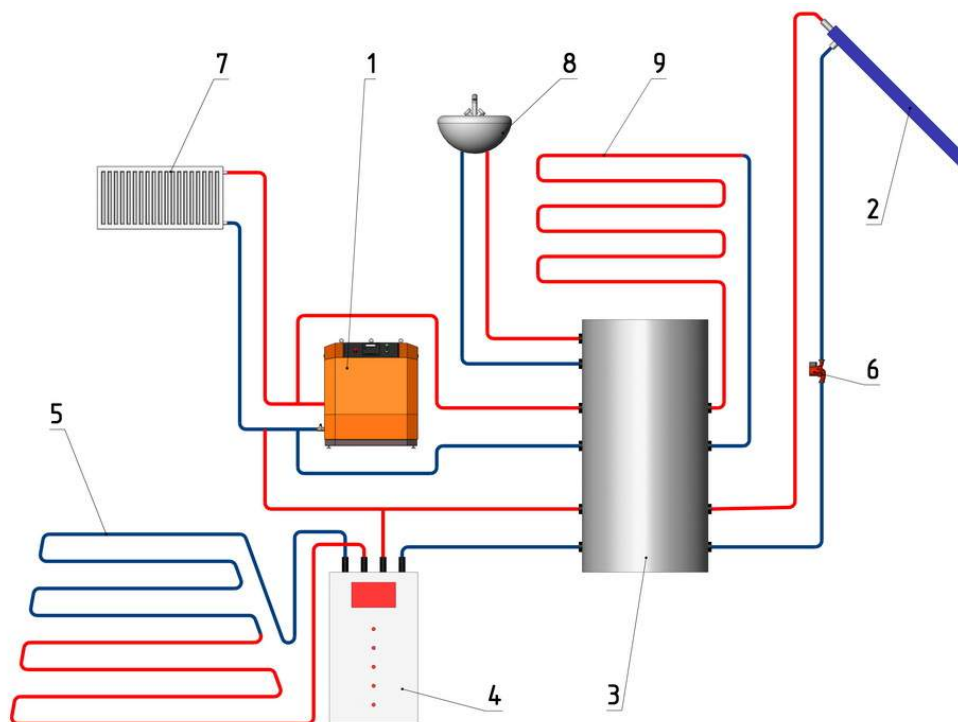


**Рис.13. Схема теплового насоса в альтернативній системі [2]:**

1 – компресор; 2 – триходовий вентиль; 3 – нагрівальний (охолоджуючий) пристрій; 4 – конденсатор-випарник; 5 – дроселюючий вентиль; 6 – резервуар; 7 – теплообмінник; 8 – насос

На рис. 14 представлена схема опалення та гарячого водопостачання бівалентної паралельної системи на основі теплового насоса 4 із сонячним колектором 2, що слугує для

опалювання приміщень та підігрівання теплої води для побутових потреб. В цілому для опалювання домашнього господарства необхідно понад 12кВт, а продуктивність побутового теплового насоса складає близько 9 кВт, при температурі конденсації 60°C. Додаткове газове опалювання 1 представляє собою резерв у випадку відпрацювання тепловим насосом малого теплового потоку. Абсорбоване сонячним колектором тепло зберігається у водному теплому акумуляторі 3 ємністю близько 10 м<sup>3</sup>, при необхідності водний резервуар може бути використаний як нижнє джерело теплоти для теплового насоса. Поверхня колекторів не повинна бути меншою за 40 м<sup>2</sup>. За допомогою сонячної енергії та роботи теплового насоса можна покрити близько 65% річних потреб у теплі. Іншу частину покриває додаткове опалювання (газове). Акумулятор тепла слугує, головним чином, для вирівнювання добових коливань потреб у теплі. Його заряджає тепловий насос до температури близько 55-60 °С.



**Рис. 14. Схема установки теплового насоса із сонячним колектором, яка слугує для обігрівання приміщень та приготування теплої води для побутових потреб [2]: 1 – газований котел (теплогенератор); 2 – сонячний колектор; 3 – резервуар для води; 4 – тепловий насос; 5 – нижнє джерело теплоти (випарник); 6 – насос системи сонячного колектора; 7 – радіатор опалення; 8 – гаряча вода для побутових потреб; 9 – система опалення «тепла підлога»**

*Особливості використання теплових насосів.* Використання теплових насосів буде визначатись їх особливостями експлуатації перевагами та недоліками конструкції та систем в яких вони використовуються.

Особливості використання теплових насосів полягають у можливості їх використання в технічних системах із забезпеченням оптимальних значень характерних технічних параметрів та величин. Так, тепловий насос виправдує себе тільки в добре утепленому будинку, тобто з тепловтратами не більше 100 Вт/м<sup>2</sup>. Чим тепліше будинок, тим більше вигода.

Чим менша різниця між температурою джерела теплоти та температурою теплоносія в опалювальному контурі, тим більший коефіцієнт перетворення тепла (термічний ККД). Тому вигідніше опалювати приміщення низькотемпературними системами опалення: системою «тепла підлога» або повітряним опаленням, тому що в цих випадках температура теплоносія за медичними вимогами і будівельними нормами не повинна бути вище 35°C.

З метою забезпечення максимальної ефективності використання теплових насосів практикується їх експлуатація у парі з додатковим генератором тепла (у таких випадках говорять про використання бівалентної схеми опалення). У будинку з великими тепловтратами ставити насос великої потужності (більше 30 кВт) не вигідно. Він громіздкий, а працювати буде на повну потужність незначний час. Адже кількість дійсно холодних днів не перевищує 10-15% від тривалості опалювального сезону. Тому часто потужність теплового насоса призначають рівною 70-80% від розрахункової опалювальної. Вона буде покривати всі потреби будинку в теплі доти, поки вулична температура не опуститься нижче певного розрахункового рівня (температури бівалентності), наприклад, мінус 5-10°C. Із цього моменту в роботу включається другий генератор тепла. Є різні варіанти його використання. Найчастіше таким помічником служить невеликий електронагрівник, але можна поставити й рідкопаливний котел. Можливі й більш складні теплові бівалентні схеми, наприклад включення сонячного колектора. Для цього, у деяких серійних системах теплових насосів і сонячних колекторів така можливість передбачена в конструкції. У цьому випадку, змішування тепла, що йде від теплового насоса (це досить інерційна система) і від сонячного колектора (малоінерційна система) відбувається в бойлері.

Чим більший коефіцієнт завантаження теплового насоса, тим доцільніше його використання. Наприклад, системи нагріву води для ферм працюють у постійному режимі, протягом всього року. Їх коефіцієнт завантаження (використання потужності протягом року) може сягати 80%. В системах опалення коефіцієнт завантаження обладнання складає близько 30-40%. Відповідно в першому випадку річна економія від застосування теплового насоса рівної потужності буде в 2-3 рази більше, ніж в другому, а строки окупності обладнання в 2-3 рази менше.

Чим більша тепла потужність необхідна, тим доцільніше використання теплових насосів. По-перше, питома вартість для теплових насосів великої потужності (встановлена вартість 1-го кВт енергії) в 3-5 разів нижча, ніж для теплових насосів малої потужності. А по-друге, чим більші обсяги споживання теплоти, тим більша економія від застосування теплових насосів в абсолютному вимірі. Перевагами у використанні теплових насосів є економічність, можливість використання, екологічність, універсальність, безпека,

*Економічність.* Ефективність використання теплових насосів вища, ніж у будь-яких котлів, що спалюють паливо, а коефіцієнт ефективності (продуктивності, термічний ККД) теплових насосів завжди більше одиниці. Термічний ККД ( $E_t$ ) (також це поняття називається коефіцієнтом трансформації тепла, потужності, перетворення температур, перетворення тепла) – це показник, за яким порівнюють ефективність теплових насосів. Він показує відношення одержуваного тепла до витраченої енергії. Приміром,  $E_t=4,5$  означає, що номінальній (споживаній) потужності теплового насоса 1 кВт, на виході відповідає 4,5 кВт теплової потужності, тобто 3,5 кВт тепла ми одержуємо із низькотемпературного джерела.

*Широкий спектр застосування.* На планеті існує безліч розсіяного тепла. Земля й повітря є скрізь, також більшість людей не мають проблем з водою. Саме вони містять в собі природну та антропогенну теплову енергію. Теплові насоси незалежно від погодних умов, падіння тиску в газовій трубі зберуть це тепло для вас. Усе, що потрібно для цього, – електрична енергія. Але, якщо її немає, це теж не проблема – деякі моделі теплових насосів можуть використовувати дизельне паливо або бензин для своєї роботи.

*Екологічність.* Тепловий насос не тільки заощаджує гроші, але й береже навколишнє середовище. Прилад не спалює паливо, а значить, не утворюються шкідливі окиси типу CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PbO<sub>2</sub>. Застосовувані ж у теплових насосах хладони не містять хлорвуглеводнів і озонобезпечних речовин.

*Універсальність.* Теплові насоси, обладнані реверсивним клапаном, працюють як на опалення, так і на охолодження. Теплонасос може відбирати тепло з повітря будівлі, прохолоджуючи його. Влітку надлишкове тепло можна використовувати для підігріву побутової води.

*Безпека.* Теплові насоси вибухово- і пожежобезпечні. У процесі опалення відсутні небезпечні гази, відкритий вогонь або шкідливі суміші. Деталі теплонасоса не нагріваються до високих температур, здатних стати причиною пожежі. Зупинка теплового насоса не приведе до його поломки, ним можна сміло користуватися після тривалого простою. Також виключене замерзання рідин у компресорі або інших складових частинах.

До недоліків теплових насосів, які використовуються для опалення, слід віднести велику вартість встановленого обладнання та зворотна залежність їх ефективності від різниці температур між джерелом теплоти і споживачем. Так, зворотна залежність ефективності використання теплових насосів від різниці температур між джерелом теплоти і споживачем накладає певні обмеження на використання систем типу «повітря - вода». Реальні значення коефіцієнту трансформації сучасних теплових насосів становлять 2 при температурі джерела  $-20^{\circ}\text{C}$ , і порядку 4 при температурі джерела  $+7^{\circ}\text{C}$ . Це призводить до того, що для забезпечення заданого температурного режиму споживача при низьких температурах повітря необхідно використовувати обладнання зі значною надлишковою потужністю, що пов'язане з нераціональним використанням капіталовкладень (втім, це стосується і будь-яких інших джерел теплової енергії). Вирішенням цієї проблеми є застосування бівалентної схеми опалення, при якій основне (базове) навантаження несе тепловий насос, а пікові навантаження покриваються допоміжним джерелом (газовий або електрокотел). Оптимальна потужність теплонасосної установки становить 60...70% від необхідної встановленої потужності, що також впливає на закупівельну вартість установки опалення тепловим насосом. У цьому випадку тепловий насос забезпечує не менше 95% потреби споживача в тепловій енергії за весь опалювальний сезон. При такій схемі середньосезонний коефіцієнт перетворення енергії для кліматичних умов Центральної Європи становить 3.

### Література

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії України / НАН України, Інститут відновлюваної енергетики, Держ. ком. України з енергозбереження –К., 2005.– 45 с.
2. Рей Д. Тепловые насосы : пер. с англ. / Д. Рей, Д. Макмайл. – М. : Энергоиздат, 1982. – 224 с.
3. Технології та обладнання для використання поновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві / за ред. В. І. Кравчука, В. О. Дубровіна. – Дослідницьке : УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2010. – 184 с.