

Винахід відноситься до теплової та холодильної техніки і може використовуватись у техніці зрідження газів, для побудови систем опалення, вентиляції і кондиціонування, для утилізації низькопотенційної теплоти природного та техногенного походження.

Способи отримання тепла та холоду, що базуються на зворотних термодинамічних циклах (ТЦ), добре вивчені, набули широкого застосування і детально викладені в багатьох роботах, зокрема в [1, 299-308]. В залежності від функціонального призначення установки, які працюють за зворотними циклами, можуть використовуватись як для отримання холоду, так і для отримання тепла, в останньому випадку вони називаються тепловими насосами (ТН).

За прототип вибрано спосіб отримання тепла та холоду при сумісній роботі теплового двигуна та ТН (понижувачий трансформатор тепла) [2, 211], який функціонує за схемою: двигун, використовуючи тепло високого потенціалу, виділяє тепло середнього потенціалу, з виробленням механічної роботи, яка використовується ТН для перенесення теплоти з джерела низького потенціалу на середній тепловий рівень. Така схема дозволяє отримати більшу кількість теплоти в порівнянні з прямим використанням теплоти високого потенціалу для вирішення задач теплозабезпечення. Використання такої схеми для отримання холоду характеризується меншою ефективністю і повністю визначається типом ТЦ ТН, який може бути газокompresорним чи парокompresорним.

Газокompresорний цикл (газова холодильна машина) [2, 21] базується на процесі стиснення газу (повітря) в умовах близьких до ізотермічних, які забезпечуються відводом теплоти з ТЦ, та подальшим перетворенням теплової енергії в механічну шляхом ізентропійного розширення в детандері, внаслідок чого температура робочого тіла (РТ) знижується. Повернення РТ в ТЦ пов'язано з відбором теплоти, що дозволяє отримувати холод і використовується в техніці зрідження газів [3, 94-97] та кондиціонування [4]. Такий спосіб внаслідок значної необоротності ТЦ у відповідності до функціонального призначення має низький холодильний чи опалювальний коефіцієнт, що зумовило витіснення повітряного холодильного циклу більш простими парокompresорними циклами як в холодильній, так і в теплонасосній техніці. Однак останні також мають низький ексергетичний ККД, що зумовлюється використанням ізентальпійного розширення РТ і, як наслідок, мають низький холодильний ( $\varepsilon = 3...4,8$ ) чи опалювальний коефіцієнти ( $\psi = 2,5...4$ ) при перепаді температурних рівнів в 30...40 К. Такий малий температурний перепад звужує область їх застосування.

Метою винаходу «Спосіб підвищення ефективності процесів отримання тепла та холоду з низькопотенціальних джерел енергії» є підвищення ефективності утилізації низькопотенційної теплової енергії та покращення експлуатаційних характеристик теплових та холодильних установок за рахунок:

- підвищення холодильного та опалювального коефіцієнтів, шляхом зменшення рівня енергетичних затрат на підтримання ТЦ;

- зменшення питомої капіталоємності;

- розширення температурного діапазону роботи та підвищення автономності функціонування.

Мета винаходу досягається шляхом зміни порядку вилучення енергії з низькопотенціальних джерел теплоти, на першому етапі якого забезпечується вилучення цієї енергії РТ двигуна, а наступним - перетворення її частини в механічну енергію та передача енергетичної частки теплоти (тобто тієї частини, яку не можливо перетворити в роботу) на вищий температурний рівень ТН. Такий порядок дозволяє виділити більше механічної енергії, яка направляється на проведення компенсації втрат надання руху ТН, ніж у повітряно-компресорному ТЦ.

Запропонований спосіб здійснюється за комбінованим ТЦ, який представлений тепловою діаграмою фіг. 1, на якій у системі координат температура-ентропія показано два ідеалізованих розімкнутих ТЦ:

- цикл двигуна T-S<sub>дв</sub> (процес b'-k-m-a-e-b),

- цикл теплового насоса T-S<sub>тн</sub> (процес b"-c-d-e'-e"-b).

Також на фіг. 1 зображено крива x0-K-x1, яка обмежує двофазну область робочого тіла (РТ), ізотерма T<sub>срд</sub>, яка відповідає температурі джерела низькопотенційної теплоти, з якого проводиться екстрагування енергії, та ізобара 1атм., яка відповідає стану РТ по завершенню процесу розширення.

Умовою здійснення способу є забезпечення зміщення термічної рівноваги та утримання системи на нижньому температурному рівні відносно джерела низькопотенціального тепла так, щоб ступінь сухості РТ x<sub>b</sub> в т. b ТЦ становив 0,5-0,75. Дотримання цієї умови забезпечує проведення сепарації потоку вихлопу двигуна та ТН із отриманням масових часток газової фази x<sub>b</sub> і зрідженої фази (1-x<sub>b</sub>) в точках ТЦ b" та b' відповідно. Тому, в подальшому, за РТ ТН будемо враховувати масову частку газової фази x<sub>b</sub>, а за РТ двигуна – зрідженої фази (1-x<sub>b</sub>).

В установленому режимі роботи запропонований спосіб здійснюється наступним чином. ТЦ двигуна починається з проведенням стискування РТ (процес b'-k), цей процес здійснюється з незначною витратою роботи стискування, оскільки РТ знаходиться в рідкому стані. В ізобарному процесі k-m-a ТЦ РТ двигуна нагрівається: на ділянці k-m за рахунок підведення теплоти q1' із зовнішнього джерела, а на ділянці m-a як за рахунок теплоти q1" із зовнішнього джерела, так і теплоти q3' ізобарного процесу охолодження РТ ТН, що досягається поділом потоків і проведення теплообміну в роздільних рекуператорах. Отримана тепла енергія перетворюється в роботу l<sub>d1</sub> і та l<sub>d2</sub> в процесі двохступінчатого розширення (ділянка a-e-b). Друга ступінь розширення РТ двигуна може проводитись сумісно з РТ ТН, що є доцільним з точки зору зменшення структурних одиниць установки, але ускладнено проблемою вирівнювання потоків на перехідних режимах роботи. По завершенні процесу розширення, за рахунок сепарації потоку РТ, виділяється зріджена фаза, яка надходить у живильний насос і ТЦ двигуна повторюється.

ТЦ ТН здійснюється за рахунок підведення механічної енергії від зовнішнього I<sub>з</sub> та внутрішньо-системного двигунів (l<sub>d1</sub>+l<sub>d2</sub>). Частина цієї енергії передається РТ ТН, частина повертається до РТ двигуна шляхом передачі теплоти q3' а частина відводиться з системи на верхній температурний рівень, що дозволяє теплоту q2' процесу політропного стискування (ділянка c-d ТЦ) і теплоту q2" ізобарного процесу використовувати для вирішення задач опалення та нагріву.

Передача теплоти q3" від ізобарного процесу охолодження до ізохорного процесу нагріву йде на збільшення

внутрішньої енергії РТ ТН і дозволяє мінімізувати затрати роботи на політропне (ізотермічне) стиснення.

Підтвердженням підвищення експлуатаційних характеристик опалювальних систем, що функціонують по заявленому способу, є приклад чисельного дослідження, вхідні дані якого подані в таблиці 1, і в ході якого теплофізичні властивості РТ в області низьких температур визначені з [5, 212-236].

Таблиця

Вхідні дані для визначення експлуатаційних характеристик опалювальних систем

Вхідні параметри	Одиниці вимірюв.	Значення
Робоче тіло системи	-	Метан
Температура критичної точки $t_{кр}$	°C	-82,5
Температура кипіння при тиску 1атм $t_{кп}$	°C	-161,4
Джерело низькопотенційної теплоти	-	повітря довкілля
Температура джерела теплоти $T_{срд}$	-	273
Ступінь сухості РТ в т. б ТЦ $x_b$	-	0,7
Температура т. с ТЦ	K	310
Температурний перепад політропного стискування $\Delta T_{c-d}$	K	20
Температурний перепад в теплообмінниках $\Delta T_p$	K	10

Питома ентропія РТ ТН початку розширення (т. е" ТЦ):

$$s_e = s_b = s'(p_b) + x_b \cdot (s''(p_b) - s'(p_b)) = 8,73 \text{ кДж/(кг K)}$$

де,  $p_b$  - кінцевий тиск розширення  $p_b = 1 \text{ атм.}$ ;

$s'(p_b)$ ,  $s''(p_b)$  - питома ентропія РТ на кривій кипіння та конденсації, відповідно, при тиску ізобари  $p_b$ .

Питома ентальпія РТ ТН та двигуна кінця розширення (т. е" ТЦ):

$$h_b = h'(p_b) + x_b \cdot (h''(p_b) - h'(p_b)) = 643 \text{ кДж/кг}$$

де;  $p_b$  - кінцевий тиск розширення  $p_b = 1 \text{ атм.}$ ;

$h'(p_b)$ ,  $h''(p_b)$  - питома ентропія РТ на кривій кипіння та конденсації, відповідно, при тиску ізобари.

Тиск РТ ТН в т. с ТЦ з врахуванням ізохоричності процесу b"-с та температурного перепаду буде становити  $p_c = 2,4 \text{ атм.}$

Для забезпечення задовільних умов роботи детандера, термодинамічні параметри РТ ТН на початку розширення повинні відповідати малому ступеню вологості, тому ізобарний процес d-e'-e" слід проводити при тиску 32атм. І відповідно питома ентальпія РТ буде становити  $h_{e'} = 820 \text{ кДж/кг.}$

З врахуванням адіабатного характеру проведення процесу a-e-b, питома робота розширення РТ двигуна буде становити  $l_{a-b} = h_a - h_b = 299 \text{ кДж/кг}$ , що з врахуванням роботи розширення РТ ТН дасть змогу визначити загальну роботу повернення  $l_d = l_{d1} + l_{d2} = (1 - x_b) \cdot l_{a-b} + x_b \cdot (h_{e'} - h_b) = 216,5 \text{ кДж/кг.}$

Питомі робота і теплота, яка витрачається на здійснення політропного процесу ( $n \approx 1,05$ ) становить  $l_{c-d} = q_2 = 0,5 \cdot s_{c-d} \cdot (T_c + T_d) \cdot x_b = 294 \text{ кДж/кг.}$

Тому опалювальний коефіцієнт системи опалення, яка функціонує по запропонованому способу буде

$$\psi = \frac{q_2}{l_{c-d} - l_d} = \frac{294}{294 - 216,5} = 3,8,$$

становити

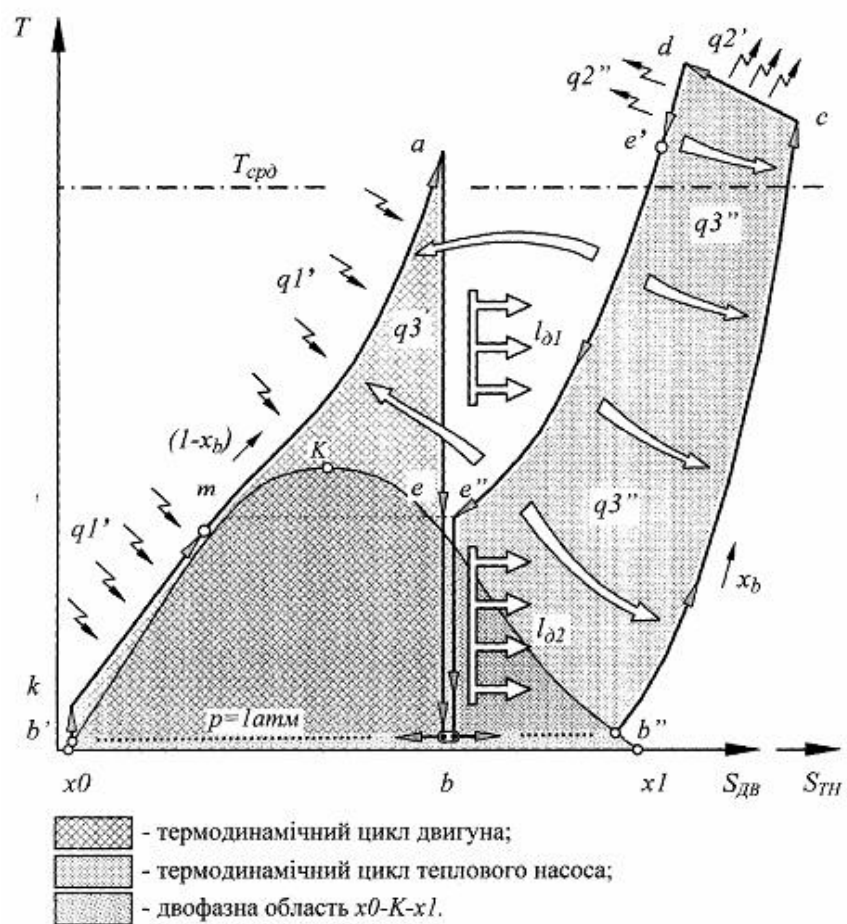
що з врахуванням виводу теплоти з теплового рівня 270K на рівень 340K, є високим показником навіть для пароконденсаторних ТН, однак на відміну від останніх не потребує прокладення земляного контуру (300м на 10кВт потужності) чи обладнання свердловин.

Нижній температурний рівень, до якого може проводитися охолодження, визначається положенням т. k , що для приведеного прикладу дозволяє отримувати температуру в 120K.

Таким чином заявлений спосіб дозволяє підвищити експлуатаційну ефективність отримання холоду та теплоти з низькопотенціальних джерел теплоти природного чи техногенного походження (теплоти утилізації), за рахунок зменшення рівня зовнішньої підведеної енергії високопотенціальних джерел. Практична реалізація запропонованого способу не потребує унікальних технічних рішень і може бути здійснена шляхом використання типових теплообмінних апаратів, компресорів та детандерів різного виду виконання (поршневі, ротаційні, турбомашин радіального типу) і зводиться до розробки та виготовлення комунікаційних з'єднань.

Список використаних джерел:

1. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: Підруч. для студ. енерг. спец. вищ. навч. закл. - К.: Техніка, 2001.- 315с.
2. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. / Под ред. В.М. Бродянского.- М.: Энергия, 1979.- 288с, ил.
3. Техника низких температур / Архаров А.М., Буткевич К.С., Головинцов А.Г. и др.; Под ред. Е.И. Микулина, И.В. Марфениной. - М.- Л.: Энергия, 1964.- 448с.
4. Авт.св. СССР №731204 «Кондиционер», кл. F24 F 1/02. Бюл. 16, 1980.
5. Теплофизические свойства криопродуктов: Учебное пособие для вузов / Л.А. Акулов, Е.И. Борзенко, В.Н. Новотельнов, А.В. Зайцев.- СПб.: Политехника, 2001. - 243с.



Фиг. 1