

В.Я. Ошовський, доц., канд. техн. наук, С.М. Анастасенко, канд. техн. наук, М.В. Святецький, канд. техн. наук, І.А. Капура, канд. техн. наук
Первомайська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, E-mail: oshovskyikt@ukr.net

Енергозберігаючі зразкові цикли для охолоджуючих термотрансформаторів

Мета статті – дослідження і розробка зразкових термодинамічних циклів для енергозберігаючих технологічних процесів охолодження потоків речовин від температури навколишнього середовища до заданої низької температури.

В статті проаналізована енергетична ефективність цикла Лоренца залежно від інтервалу температур робочого тіла в процесах теплообміну з зовнішніми джерелами. Також доведено, що термодинамічний цикл зі ступінчастою регенерацією тепла найбільш ефективний для охолодження у найбільшому температурному інтервалі, тобто при охолодженні потоку речовини від температури навколишнього середовища. Окрім того, при збільшенні числа ступіней регенерації тепла, наприклад в ресорбційних термотрансформаторах, значно зменшується інтервал температур робочого тіла в процесі відведення тепла у навколишнє середовище. Це сприяє наближенню цикла до трикутного, тобто з найменшою витратою енергії на стиск робочого тіла.

Таким чином впровадження цикла зі ступінчастою регенерацією тепла, який можна реалізувати у ресорбційних охолоджуючих термотрансформаторах, буде сприяти енергозбереженню в технологіях охолодження потоків речовин у різних галузях, в тому числі і в сільському господарстві.

термотрансформатор, трикутний, цикл, охолодження, ступінчастий, регенерація, тепло

В.Я. Ошовский, доц., канд. техн. наук, С.М. Анастасенко, канд. техн. наук, М.В. Святецкий, канд. техн. наук, И.А. Капура, канд. техн. наук
Первомайский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова
Энергосберегающие образцовые циклы для охлаждающих термотрансформаторов

Цель статьи – исследование и разработка образцовых термодинамических циклов энергосберегающих технологических процессов охлаждения потоков веществ от температуры окружающей среды до заданной низкой температуры.

В статье проанализирована энергетическая эффективность цикла Лоренца в зависимости от интервала температур рабочего тела в процессах теплообмена с внешними источниками. Также доказано, что термодинамический цикл со ступенчатой регенерацией тепла наиболее эффективен для охлаждения в наибольшем температурном интервале, т.е. при охлаждении потока вещества от температуры окружающей среды. Кроме того, при увеличении числа ступеней регенерации тепла, например в ресорбционных термотрансформаторах, значительно уменьшается интервал температур рабочего тела в процессе отвода тепла в окружающую среду. Это способствует приближению цикла к треугольному, т.е. с наименьшим расходом энергии на сжатие рабочего тела.

Таким образом использование цикла со ступенчатой регенерацией тепла, который можно реализовать в ресорбционных охлаждающих термотрансформаторах, будет способствовать энергосбережению в технологиях охлаждения потоков веществ в различных отраслях, в том числе и в сельском хозяйстве.

термотрансформатор, треугольный, цикл, охлаждение, ступенчатый, регенерация, тепло

Постановка проблеми. В сільському господарстві та в різних галузях промисловості з кожним роком все більш актуальною стає проблема енергозбереження. Тому розробка і дослідження енергетично ефективних циклів для термотрансформаторів у вигляді машин і установок для охолодження, кондиціонування повітря та теплопостачання, які можуть використовувати енергію, як механічну так і

низькопотенційних природних джерел та вторинних енергоресурсів (ВЕР) є актуальним завданням. В Україні є великі резерви що до впровадження новітніх технологій економії енергії та використання викидів тепла ВЕР та інших альтернативних джерел енергії, визначених Законом України “Про альтернативні джерела енергії” [1]. Наприклад, якщо використовувати електричну або теплову енергію для теплопостачання житлових будинків не безпосередньо, а через теплові насоси, принцип роботи яких такий же як холодильних машин, то можна отримувати необхідної енергії в 1,5...3 рази більше при тих же витратах [2]. Це є великою перспективою енергозбереження в ряду з використанням інших альтернативних джерел енергії.

При охолодженні потоків рідких або газоподібних речовин, наприклад молока, соків, вин, повітря та ін., від температури навколишнього середовища до заданої низької температури тепло від охолоджуваної речовини в навколишнє середовище звичайно відводять за допомогою холодильних машин, в яких робоче тіло, чистий агент, кипить при постійній температурі (цикл Карно). Температура ж потоку охолоджуваної речовини в процесі теплообміну з робочим тілом змінна. Це сприяє втратам енергії пов'язаним із зовнішньою необоротністю. Для їх зменшення робоче тіло холодильної машини повинно копіювати хід температури охолоджуваної речовини [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цикли зі змінними температурами робочого тіла в процесах теплообміну з зовнішніми джерелами тепла можна реалізувати в сорбційних термотрансформаторах, в яких робочими тілами є не чисті агенти, а розчини агентів в абсорбентах. В них тепло до розчину підводиться в процесі дегазації (википанні з крепкого розчину частини агенту при низькому тиску), а відводиться в процесі ресорбції (поглинанні слабким розчином пари агенту при вищому тиску). В розвинутих країнах прогнозують перспективність використання сорбційних машин в рішеннях проблем енергозбереження [4].

Зворотній цикл зі змінними температурами робочого тіла в процесах теплообміну із зовнішніми джерелами (рис. 1, а) запропонований Г.Лоренцом [5].

В.С. Мартиновський та І.М. Шнайф встановили, що в два рази ефективнішим за цикл Карно є "трикутний" цикл (рис. 1, б) Лоренца [3, 5].

Але ефективний трикутний цикл передбачає відведення тепла циклу при постійній температурі, що є ще не вирішеною проблемою. Одним з методів наближення циклу до трикутного є в першу чергу розробка зразкових циклів для сорбційних термотрансформаторів, які мають широкий інтервал температур робочого тіла циклу при підведенні до нього тепла та мінімальний інтервал при відведенні.

Формулювання цілей. Метою статті є розробка і дослідження енергозберігаючих зразкових зворотніх циклів для охолодження потоків речовин при змінній температурі робочого тіла ресорбційного термотрансформатора в процесі охолодження, які за коефіцієнтом перетворення наближаються до найбільш ефективного трикутного цикла Лоренца.

Виклад основного матеріалу. Дослідження розроблених зразкових зворотніх циклів зі змінними температурами робочого тіла в процесах теплообміну з зовнішніми джерелами проводилося методом термодинамічного аналізу з метою вибору найефективніших циклів для умов охолодження потоків речовин від температури навколишнього середовища. Для виконання аналізу встановлено такі внутрішні і зовнішні умови [3, 6, 7]: процеси циклу внутрішньо оборотні; у процесах теплообміну робочого тіла із зовнішніми джерелами температурні напори дорівнюють нулю; процеси внутрішнього теплообміну в циклі оборотні; питомі теплоємності робочого тіла в кожному процесі теплообміну постійні; диференціальні ефекти ізоентропійних процесів розширення і стискання постійні для кожного процесу.

Такі умови дозволяють при конкретних заданих температурних режимах охолоджуваної речовини і навколишнього середовища порівнювати ефективність зразкових циклів для умов охолодження як при змінній, так і при постійній температурах, а також визначати вплив неізотермічності зовнішніх процесів.

Слід зазначити, що вища температура робочого тіла в процесі відведення від нього тепла визначається тільки можливостями циклу і властивостями робочого тіла. Так в циклі Карно вища температура дорівнює нижчій, а в циклі Лоренца (рис. 1, а) вона визначається типом циклу і залежністю $T=f(s)$ для робочого тіла в цьому процесі.

Трикутний цикл Лоренца (рис. 1, б), тобто цикл з ізотермічним стисанням робочого тіла і повною (від температури навколишнього середовища) неізотермічністю робочого тіла в процесі охолодження є термодинамічно найефективнішим. Але на практиці ще нема компресорів для ізотермічного стисання парорідинної суміші з відведенням тепла, що не дає можливості виконання цього процесу. Можна значно зменшити неізотермічність процесу відведення тепла за рахунок внутрішніх процесів рекуперації тепла та значному зменшенні при цьому ступеню стисання робочого тіла у циклі.

Покажемо спочатку, як впливає неізотермічність робочого тіла циклу в процесах теплообміну з зовнішніми джерелами 1-2 і 3-4 на коефіцієнт перетворення зразкового циклу Лоренца 1-2-3-4-1, зображеного на рис. 1, а [3]

$$\varepsilon_{\text{л}} = \frac{q_{1-2}}{q_{3-4} - q_{1-2}}. \quad (1)$$

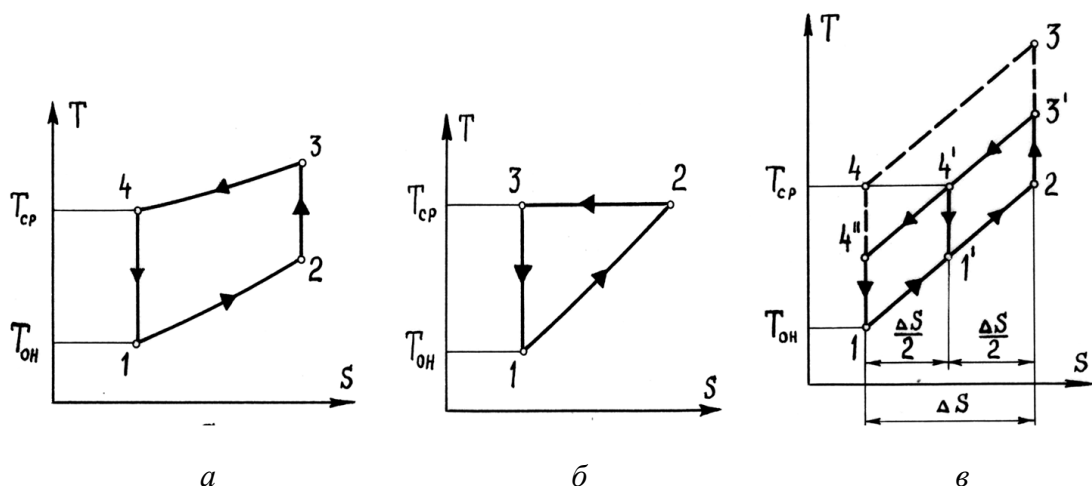


Рисунок 1 - Цикли з неізотермічністю робочого тіла в процесах теплообміну: а – Лоренца; б – трикутний; в – Лоренца 1-2-3-4-1 та ступінчастий 1-1'-2-3'-4'-4''-1

За рівнянням другого закону термодинаміки $q = \int T ds$. При охолодженні до помірних температур достатню точність і більшу наочність отриманих характеристик дає визначення середніх температур процесів 1-2 та 3-4 як середніх арифметичних. При зміні температури від 300 до 220 К відхилення середньої арифметичної температури від середньої логарифмічної складає всього 0,8%. В цьому випадку

$$\varepsilon_{\text{л}} = \frac{T_1 + T_2}{(T_4 + T_3) - (T_1 + T_2)}. \quad (2)$$

Виразимо температуру T_2 через величину неізотермічності робочого тіла ΔT_0 в процесі охолодження 1-2

$$T_2 = T_1 + \Delta T_0, \quad (3)$$

а температуру T_3 – через величину неізотермічності робочого тіла ΔT_{cp} в процесі відводу тепла в навколишнє середовище 3-4

$$T_3 = T_4 + \Delta T_{cp}. \quad (4)$$

Тоді коефіцієнт перетворення для циклу Лоренца

$$\varepsilon_L = \frac{T_1 + \frac{\Delta T_0}{2}}{(T_4 - T_1) - \frac{\Delta T_0}{2} + \frac{\Delta T_{cp}}{2}}. \quad (5)$$

Погрішність визначення ε_L за формулою (5) незначна, при $T_1=220\text{K}$, $\Delta T_0=80\text{K}$ та $\Delta T_{cp}=80\dots 0\text{K}$ погрішність складає 1,6...5,8%.

Визначимо вплив ΔT_0 та ΔT_{cp} на ε_L диференцюванням виразу (5)

$$\frac{\partial \varepsilon_L}{\partial \Delta T_0} = \frac{T_4 + \frac{\Delta T_{cp}}{2}}{2 \left[(T_4 - T_1) - \frac{\Delta T_0}{2} + \frac{\Delta T_{cp}}{2} \right]^2}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_L}{\partial \Delta T_{cp}} = - \frac{T_1 + \frac{\Delta T_0}{2}}{2 \left[(T_4 - T_1) - \frac{\Delta T_0}{2} + \frac{\Delta T_{cp}}{2} \right]^2}. \quad (7)$$

Порівнюючи праві частини першого і другого виразів за абсолютною величиною, отримаємо

$$2(T_4 - T_1) + \Delta T_{cp} > \Delta T_0, \quad (8)$$

де $T_4 - T_1 = \Delta T_{0 \max}$, тобто дорівнює максимальному значенню ΔT_0 , яке відповідає охолодженню потоку речовини від температури середовища T_4 до T_1 ; ΔT_{cp} не може бути від'ємною величиною. Тоді

$$\left| \frac{\partial \varepsilon_L}{\partial \Delta T_0} \right| > \left| \frac{\partial \varepsilon_L}{\partial \Delta T_{cp}} \right|. \quad (9)$$

Таким чином ε_L зростає при розширенні ΔT_0 значно більше, чим при звужуванні ΔT_{cp} . При $\Delta T_0 = \Delta T_{0 \max} = T_2 - T_1 = T_4 - T_1$ (рис. 1 в)

$$\varepsilon_L = \frac{T_1 - T_4}{(T_4 - T_1) + \Delta T_{cp}}. \quad (10)$$

В зразковому циклі Карно при охолодженні потоку від T_2 до T_1 , де $T_2 \leq T_4$, відведення тепла в навколишнє середовище буде ізотермічним, тобто при $T_4 = T_3 = \text{const}$. Холодильний коефіцієнт цього циклу

$$\varepsilon_K = \frac{T_1}{T_4 - T_1}. \quad (11)$$

З порівняння виразів (5) і (11) видно, що при певному значенні ΔT_{cp} , для циклу Лоренца, $\varepsilon_L = \varepsilon_K$. Найдемо це значення, прирівнюючи праві частини виразів (5) і (11)

$$\Delta T_{cp} = \frac{T_4}{T_1} \Delta T_0. \quad (12)$$

Порівнювання зразкових циклів Лоренца (рис. 1, а) і Карно дозволяє визначити раціональні межі їх використання. Так,

$$\text{при } \Delta T_{cp} > \frac{T_4}{T_1} \Delta T_0 \quad \text{або} \quad \frac{\Delta T_{cp}}{\Delta T_0} > \frac{T_{cp}}{T_{0H}} \quad \varepsilon_L < \varepsilon_K; \quad (13)$$

$$\text{при } \Delta T_{cp} < \frac{T_4}{T_1} \Delta T_0 \quad \text{або} \quad \frac{\Delta T_{cp}}{\Delta T_0} < \frac{T_{cp}}{T_{0H}} \quad \varepsilon_L > \varepsilon_K. \quad (14)$$

Тут $T_4 = T_{cp}$ і $T_1 = T_{0H}$, тому що розглядаються зразкові цикли.

Таким чином, якщо при використанні зразкового цикла Лоренца для охолодження потоку відношення неізотермічностей робочого тіла в процесах теплообміну з верхнім і нижнім джерелами $\Delta T_{cp} / T_0$ менше, чим відношення нижчих температур середовища і потоку, що охолоджується $\Delta T_{cp} / T_{0H}$, то цикл Лоренца є термодинамічно більш ефективним порівняно зі зразковим циклом Карно.

З отриманих виразів можна зробити наступний висновок, що ефективність циклу Лоренца порівняно з циклом Карно підвищується при зменшенні T_{0H} , ΔT_{cp} та при збільшенні T_{cp} і ΔT_0 .

Величина ΔT_{cp} в циклі Лоренца може бути зменшена підбором робочого тіла, зменшенням ступені стискання робочого тіла при удосконаленні схеми циклу, а також зведена до мінімуму реалізацією процесу ізотермічного стискання робочого тіла.

Якщо в циклі Лоренца з повною неізотермічністю прийняти $\Delta T_{cp} = 0$, то цей цикл перетворюється в трикутний. Тоді з виразу (10) холодильний коефіцієнт циклу

$$\varepsilon_L = \frac{T_1 + T_4}{T_4 - T_1}. \quad (15)$$

З пониженням T_1 енергетичні переваги трикутного циклу Лоренца порівняно з Карно зростають [3].

Удосконаленням зразкових циклів з неізотермічними процесами робочого тіла шляхом використання внутрішніх процесів рекуперації тепла можна значно зменшити ступінь стискання робочого тіла. При цьому в реальних термотрансформаторах можна значно зменшити витрати електричної енергії за рахунок використання високоефективних турбокомпресорів, наприклад відцентрових та осьових, які мають малі втрати енергії. При використанні для стиску пари термічних компресорів це дає можливість для роботи циклу утилізувати низькопотенціальне тепло ВЕР або природних джерел невисокої температури.

Для досягнення вказаної мети в обох випадках необхідна розробка зворотніх циклів з малим ступенем підвищення тиску робочого тіла. У циклах з постійною температурою робочого тіла в процесі охолодження для зменшення ступеню підвищення тиску застосовуються два методи [8]: каскадний, запропонований Р. Пікте в 1877 р., і з регенерацією тепла, розроблений В.Сименсом в 1857 р.

Каскадний цикл дозволяє великий інтервал стискання, характерний для єдиного циклу Карно, замінити значно меншими інтервалами в окремих циклах каскаду, зв'язаних теплообмінником.

Зменшення ступеню підвищення тиску в регенеративному циклі ґрунтується на використанні внутрішнього теплообміну між прямим і зворотним потоками робочого тіла. Принцип регенерації широко використовується в газових циклах [9]. В.С. Мартиновський відзначав, що застосування регенеративного газового циклу дозволяє значно зменшити інтервал стиску, що особливо важливо при використанні турбокомпресорів [3].

У системах з циклічними процесами використовуються також схеми, що поєднують каскад і регенерацію [8].

При змінності температури робочого тіла в процесах теплообміну можливості створення циклів з малим ступенем підвищення тиску значно ширші.

Так, на рис.1, в зображені цикл Лоренца 1-2-3-4-1 з повною неізотермічністю охолодження та змінною температурою відведення тепла в навколишнє середовище, а також в порівнянні з ним цикл 1-1'-2-3'-4'-4''-1 з одноступеневою регенерацією тепла. У одноступінчастому циклі зменшується ступінь підвищення тиску, а тепло, яке необхідне відняти в процесі 4'-4'' для досягнення тієї ж температури $T_{\text{он}}$ відводиться додатковою частиною робочого тіла (процес 1'-2), циркулюючої в контурі 1'-2-3'-4'-1'. У навколишнє середовище тепло від основної кількості робочого тіла і додаткової частини відводиться в процесі 3'-4'. При цьому вища температура $T_{3'}$ процесу 3'-4' менше ніж T_3 в такому ж процесі порівнюваного циклу Лоренца. Можливі цикли з числом ступенів регенерації 1, 2, 3 і більше.

Розглянемо як впливає ступінчаста регенерація тепла на холодильний коефіцієнт зразкового циклу. Для спрощення приймемо обмеження, при якому теплоємності робочого тіла в процесах внутрішнього і зовнішнього теплообміну постійні. При цьому кількості робочого тіла, що беруть участь в процесі внутрішнього теплообміну, будуть рівні, Середні температури робочого тіла в процесах теплообміну визначатимемо приблизно, як середні арифметичні.

Позначимо $S_2 - S_1 = \Delta S$. Згідно умові $T_{4'} - T_{4''} = T_2 - T_1$, тоді $S_{4'} = S_{4''} = S_2 - S_1 = 0,5\Delta S$. Якщо частку робочого тіла в процесах 2-3'-4' прийняти рівній одиниці, то частки робочих тіл в процесах 1-2 та 1'-2 будуть дорівнювати по 0,5, а холодильний коефіцієнт зразкового одноступінчастого циклу приблизно

$$\varepsilon_{1-cm} = \frac{0,5 \times 0,5 \times (T_1 + T_2) \times \Delta S}{0,5(T_{3'} + T_{4'}) \times 0,5 \times \Delta S - 0,25(T_1 + T_2) \times \Delta S} = \frac{T_1 + T_2}{(T_{3'} + T_{4'}) - (T_1 + T_2)}. \quad (16)$$

Якщо врахувати, що $T_2 = T_{4'} = T_4$, то

$$\varepsilon_{1-cm} = \frac{T_1 + T_4}{(T_4 - T_1) + (T_{3'} - T_4)}. \quad (17)$$

Якщо позначити $T_3 - T_4 = \Delta T_{cp}$, то згідно прийнятим умовам неізотермічність робочого тіла при відводі тепла в навколишнє середовище для одноступінчастого циклу

$$\Delta T_{cp}^1 = T_{3'} - T_4 = \frac{1}{2} \Delta T_{cp}, \quad (18)$$

де $T_{3'}$ - вища температура робочого тіла в процесі відводу тепла в навколишнє середовище, верхній індекс «1» в цьому позначенні – число ступенів циклу (одна ступень).

Аналогічно для 2-ступеневого циклу

$$\Delta T_{cp}^2 = T_{3^2} - T_4 = \frac{1}{2+1} \Delta T_{cp}, \quad (19)$$

для 3-ступеневого

$$\Delta T_{cp}^3 = T_{3^3} - T_4 = \frac{1}{3+1} \Delta T_{cp}, \dots, \quad (20)$$

для n -ступеневого

$$\Delta T_{cp}^n = T_{3^n} - T_4 = \frac{1}{n+1} \Delta T_{cp}. \quad (21)$$

Холодильний коефіцієнт зразкового одноступінчастого циклу з урахуванням (18)

$$\varepsilon_{1-cm} = \frac{T_1 + T_4}{(T_4 - T_1) + \frac{1}{2} \Delta T_{cp}}. \quad (22)$$

Аналогічно можна отримати холодильний коефіцієнт зразкового циклу з будь-яким числом ступенів n

$$\varepsilon_{n-cm} = \frac{T_1 + T_4}{(T_4 - T_1) + \frac{1}{n+1} \Delta T_{cp}}. \quad (23)$$

У випадку ізоентропічного стискання при $n \rightarrow \infty$ цикл за термодинамічною ефективністю наближається до трикутного (15)

$$\varepsilon_{n-cm} \rightarrow \frac{T_1 + T_4}{T_4 - T_1} = \varepsilon_{\Delta}. \quad (24)$$

Розділимо вираз (23) на (10) та визначимо як впливає число ступенів на холодильний коефіцієнт циклу. З урахуванням, що за прийнятими умовами $T_4 - T_1 = T_3 - T_2 = \Delta T_{cp}$

$$\frac{\varepsilon_{n-cm}}{\varepsilon_{0-cm}} = \frac{2(n+1)}{1(n+1)}; \quad (25)$$

при $n \rightarrow \infty$ $\varepsilon_{n-cm}/\varepsilon_{0-cm} \rightarrow 2$.

Таким чином при збільшенні в циклі числа ступенів n регенерації тепла зменшується ступінь підвищення тиску і збільшується в $(2n+2)/(n+2)$ рази холодильний коефіцієнт. При змінній температурі відводу тепла в навколишнє середовище зменшуються неізотермічність цього процесу в $n+1$ раз і відповідно понижується вища температура T_3 в кінці процесу стискання. Холодильний коефіцієнт зі збільшенням n наближається до значення, яке відповідає трикутному циклу.

Слід зазначити, що практичні можливості використання описаних вище циклів залежать від їх схем, принципів і конструктивних особливостей апаратів і компресорів та властивостей робочих тіл. В приведених циклах з одного боку зменшуються енергетичні витрати на стискання робочого тіла, а з другого підвищуються втрати в процесах внутрішнього теплообміну, зменшенню яких сприяє досягнення еквідистантності процесів $\Delta q = f(T)$ в процесах рекуперативного теплообміну та підвищення коефіцієнтів теплопередачі. Тому необхідні розробка і дослідження найраціональніших схем і робочих тіл та оптимізація циклів, режимів роботи і конструкцій машин з використанням сучасних комп'ютерних технологій. Це дозволить за конкретних умов виробництва (початкова і кінцева температури охолодження, охолоджуюче середовище, наявність тепла ВЕР певної температури, потреба в тепловій

енергії та ін.) вибирати оптимальні варіанти схем і циклів сорбційних машин для охолодження потоків речовин.

Висновки. Розробка сорбційних термотрансформаторів на основі ступінчастих зразкових циклів може зменшити ступінь стиску робочого тіла циклу до необхідної оптимальної величини, підвищити термодинамічну ефективність циклу і в результаті дасть можливість використовувати високоефективні турбокомпресори для стискання пари, або термічні компресори, які використовують низькопотенційне тепло ВЕР, природніх ресурсів та ін. джерел.

Список літератури

1. Закон України “Про альтернативні джерела енергії” [Текст] // Энергосбережение. – 2003. - №12. - С.16 - 19.
2. Мартыновский В.С. Тепловые насосы [Текст] / В.С.Мартыновский. – М.: Госенергоиздат, 1955. – 192 с.
3. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов [Текст] / Под ред. В.М. Бродянского. - М: Энергия, 1979. - 288 с.
4. Машины и системы низкопотенциальной энергетики [Электронный ресурс] . – Режим доступа: http://sergey-osetrov.narod.ru/Projects/Heat_Pump/not_traditional_sources_low-potential_energy.htm
5. Мартыновский В.С. Термодинамический анализ обратного цикла Лоренца [Текст] / В.С.Мартыновский, И.М.Шнайф // Холодильная техника и технология. – К.: Техника, 1966. - Вып. 3. - С. 12-17.
6. Андрущенко А.И. Основы технической термодинамики реальных процессов [Текст] / А.И.Андрущенко. - 2-е изд. переработ. и доп. - М.: Высшая школа, 1975. – 264 с.
7. Техника низких температур [Текст] / Е.И. Микулин, И.В. Марфенина, А.М. Архаров; под ред. Е.И. Микулина. - 2-е изд. - М.: Энергия, 1975.- 512 с.
8. Соколов Е.Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения [Текст]: учеб. пособие для вузов / Е.Я.Соколов, В.М.Бродянский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1981.- 320 с.
9. Разделение воздуха методом глубокого охлаждения [Текст]: т.1 / В.И. Епифанова, Л.С. Аксельрод. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1973. - 468 с.

Viktor Oshovsky, Assos. Prof., PhD tech. sci., Serhij Anastasenko, PhD tech. sci., Mykola Svyateckiy, PhD tech. sci., Ihor Kapura, PhD tech. sci.

Pervomaysk Branch of National Shipbuilding University named after admiral Makarov

Cycles are energykeepings exemplary for thermotransformers coolings

A purpose of the article is research and development exemplary thermodynamics cycles for the energykeeping technological processes of cooling of streams of matters from an ambient temperature to the set low temperature.

In the article energeticheskaya efficiency of cycle of Lorenca is analysed depending on the interval of temperatures of working body in the processes of heat exchange with outsourcings. It is also well-proven that thermodynamics cycle with a step regeneration of heat is most effective for cooling in a most temperature interval, that at cooling of stream of matter from the temperature of environment. Except for that, at the increase of number of stupiney regeneration of heat, for example in thermotransformers of resorption, considerably interval of temperatures of working body diminishes in the process of taking of heat in an environment. It is instrumental in approaching of cycle to three-cornered, that with the least expense of energy on the compression of working body.

Thus introduction of cycle with the step regeneration of heat, which can be realized in thermotransformers with resorption for cooling, will be instrumental in an energy-savings in technologies of cooling of streams material in different industries, including in agriculture.

thermotransformer, three-cornered, cycle, cooling, step, regeneration, heat