



Кшевецький О.С.

Чернівецький торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету,
Центральна площа, 7, м. Чернівці, 58002, Україна
e-mail: kshevos@gmail.com

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЧАСТИННОГО ВИПАДКУ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ МІЖ ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ І РУХОМОЮ РЕЧОВИНОЮ, ЧАСТИНА 1

Отримано математичні вирази для оцінки ефективності роботи частинного випадку способу тепломасообміну між рухомою речовиною і тепловими насосами з їх теплообмінними частинами, при якому рухому речовину (або принаймні частину цієї рухомої речовини) приводять у тепловий контакт з теплопоглинаючою і тепловиділяючою теплообмінними частинами принаймні двох реальних теплових насосів. Бібл. 16, Рис. 3.

Ключові слова: тепловий насос, термоелектричний тепловий насос, рухома речовина, тепломасообмін, ефективність, енергоефективність.

Вступ

Відомо, що значення холодильного та опалювального коефіцієнтів типових теплових насосів (ТН) при зменшенні перепаду температур між їх теплопоглинаючою та тепловиділяючою теплообмінними частинами (ТЧ) за фіксованої температури однієї із ТЧ ТН зростають [1, 2]. У зв'язку з цим актуальним, зокрема, з точки зору енергоефективності, є пошук таких застосувань ТН, зокрема, термоелектричних ТН, при яких би ці ТН могли б працювати при по-можливо менших, відносно невеликих перепадах температур між їх теплопоглинаючою та тепловиділяючою ТЧ.

Розглянемо процеси за участю рухомої речовини (РР), в яких необхідно цю РР нагрівати та/або охолоджувати. В таких процесах для нагрівання та/або охолодження РР, а також для зменшення енерговитрат, які необхідні для нагрівання та/або охолодження РР можуть використовуватися ТН [3 – 16].

Різні способи тепломасообміну між РР і одним або декількома ТН з відповідними ТЧ, які не передбачають те, що РР (або принаймні частину цієї РР) приводять у тепловий контакт (ТК) з теплопоглинаючою і тепловиділяючою ТЧ принаймні двох ТН описані, наприклад, в [3 – 13].

У [12] РР приводять у ТК з двома металевими теплообмінниками (ТЧ ТН), які мають ТК з чотирма термоелектричними модулями. При цьому має місце ТК між термоелектричними модулями через вказані їх спільні металеві теплообмінники. Тому у цьому випадку чотири термоелектричні модулі, які мають тільки одну спільну теплопоглинаючу і тільки одну спільну тепловиділяючу ТЧ можна функціонально розглядати як один ТН на основі чотирьох термоелектричних модулів, які паралельно з'єднані у тепловому відношенні.

Як і в [12], в [13] – також використовують декілька термоелектричних модулів. Але, на відміну від [12], в [13] – кожен термоелектричний модуль має свої окремі ТЧ, які теплоізолювані

одна від одної. Це дає змогу говорити тут про декілька ТН. Але при цьому різні ТЧ кожного із окремо взятих ТН використовують для теплообміну з різними РР.

Якщо ж розглянути процеси, в яких РР (або принаймні частину цієї РР) приводять у ТК з теплопоглинаючою і тепловиділяючою ТЧ принаймні двох ТН, то в деяких із цих процесів [14 – 16] можлива реалізація ситуації, коли ці ТН будуть працювати при відносно невеликих перепадах температур між їх теплопоглинаючою та тепловиділяючою ТЧ. В [14 – 15] наведені математичні вирази для наближеного оціночного розрахунку розподілу температур РР при використанні у цих процесах ідеальних ТН, які працюють за циклом Карно. В той же час добре відомо, що ефективність роботи реальних ТН може відрізнятись від ефективності роботи ТН, які працюють за циклом Карно [2].

Метою цієї роботи є отримання математичних виразів для оцінки ефективності (в першу чергу – енергоефективності) частинного випадку способу тепломасообміну між РР і ТН з їх ТЧ, при якому РР (або принаймні частину цієї РР) приводять у ТК з теплопоглинаючою і тепловиділяючою ТЧ принаймні двох ТН [14 – 16] (далі по тексті для того, щоб вказати на цей частинний випадок способу тепломасообміну між РР і ТН з їх ТЧ будемо використовувати словосполучення «досліджуваний спосіб тепломасообміну») з використанням реальних ТН.

Загальні опис та особливості досліджуваного способу тепломасообміну

Загальну схему досліджуваного способу тепломасообміну представлено на рис. 1. ТН на схемі умовно позначені прямокутниками. Кожний окремо взятий ТН має 1-у ТЧ та 2-у ТЧ. Одна з цих ТЧ є теплопоглинаючою, а інша – тепловиділяючою. Яка з цих ТЧ є теплопоглинаючою, а яка – тепловиділяючою тут не конкретизується. ТЧ на цій схемі та на подальших схемах окремо не позначені. РР згідно із схемою рис. 1 рухається від входу до виходу таким чином, що по чергово мають місце ТК і відповідні процеси теплообміну цієї РР з усіма ТЧ всіх ТН. Вхідним потоком РР на цій та подальших схемах будемо вважати потік РР між точками 1.0 та 1.n. А вихідним потоком РР на цій та подальших схемах будемо вважати потік РР між точками 2.n та 2.0.

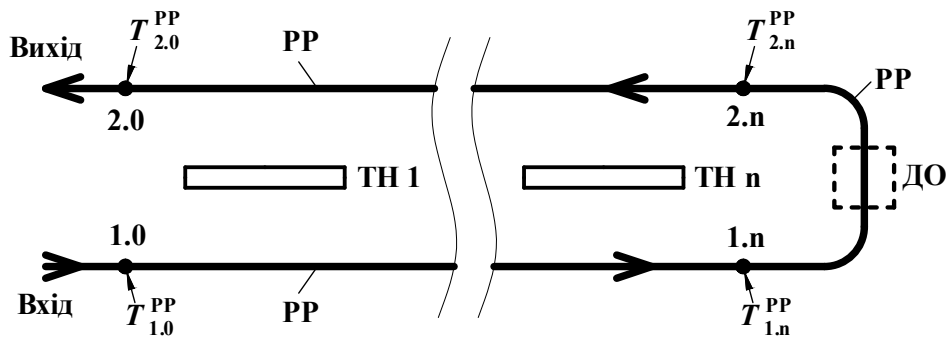


Рис. 1. Схема досліджуваного способу тепломасообміну: напрям руху РР – вказаний стрілками; ТН 1, ..., ТН n – ТН загальною кількістю n; ДО – додатковий об'єм (наприклад, камера сушіння пристрою для сушіння, приміщення або салон транспортного засобу), в якому РР може приймати участь в тепломасообмінних процесах з іншою речовиною або з навколишнім середовищем; 1.0, 1.n, 2.n, 2.0 – точки, які відповідають послідовним положенням РР у процесі її руху (1.0 – безпосередньо перед ТК РР з 1-ю ТЧ ТН 1, 1.n – одразу ж після ТК РР з 1-ю ТЧ ТН n, 2.n – безпосередньо перед ТК РР з 2-ю ТЧ ТН n, 2.0 – одразу ж після ТК РР з 2-ю ТЧ ТН 1); $T_{1.0}^{PP}$, $T_{1.n}^{PP}$, $T_{2.n}^{PP}$, $T_{2.0}^{PP}$ – температури РР у відповідних точках.

Для подальших оціночних розрахунків будемо використовувати спрощену модель за наступних припущеннями.

1. Теплообмін між ТН здійснюється тільки завдяки руху РР.
2. Теплообмін ТН та РР з навколишнім середовищем відсутній (за виключенням можливого теплообміну РР з навколишнім середовищем з використанням ДО).
3. Зміни температури в межах кожної окремо взятої ТЧ ТН – відсутні.
4. Теплообмін РР з ТЧ (поверхнями, радіаторами) ТН такий, що РР після її ТК з певною ТЧ відповідного ТН набуває температуру цієї ТЧ.
5. В ТК з кожною окремо взятою ТЧ всіх ТН по чергово приводять всю РР.
6. Для всіх положень РР у процесі її руху справедливе співвідношення:

$$\Delta T^{PP} = d \cdot Q^{PP}, \quad (1)$$

де Q^{PP} – тепловий потік від або до РР на певній ділянці її руху, значення якого завжди невід’ємне; ΔT^{PP} – різниця температур РР на цій ділянці її руху, яку будемо визначати (тут і аналогічно далі по тексту) віднімаючи від температури РР, яка має більше значення, температуру РР, яка має менше значення; d – коефіцієнт пропорційності. Це може мати місце, якщо, наприклад, теплоємність РР постійна у всьому процесі тепломасообміну та відсутні різні процеси (наприклад, фазові переходи, зміни тиску), які супроводжуються виділенням або поглинанням тепла.

7. Кількість РР у процесі її руху не змінюється.

8. Всі ТН працюють в таких умовах, що температура теплопоглинаючої ТЧ кожного окремо взятого ТН менша ніж температура тепловиділяючої ТЧ того ж ТН.

Також в окремих випадках будемо використовувати наступне допущення.

9. Всі зміни температури РР в результаті її ТК з кожною окремо взятою ТЧ ТН у вхідному потоці цієї РР однакові.

Про використання цього допущення 9, будемо спеціально зазначати.

З використанням відповідних допущень (описаних вище), зокрема, співвідношення (1), для холодильного коефіцієнта ε_i та для опалювального коефіцієнта μ_i довільного i -го ТН можна записати наступні співвідношення:

$$\varepsilon_i = \frac{Q_{cool,i}^{TH}}{W_i^{TH}} = \frac{Q_{cool,i}^{TH}}{Q_{hot,i}^{TH} - Q_{cool,i}^{TH}} = \frac{\Delta T_{cool,i}^{PP}}{\Delta T_{hot,i}^{PP} - \Delta T_{cool,i}^{PP}}; \quad (2)$$

$$\mu_i = \frac{Q_{hot,i}^{TH}}{W_i^{TH}} = \frac{Q_{hot,i}^{TH}}{Q_{hot,i}^{TH} - Q_{cool,i}^{TH}} = \frac{\Delta T_{hot,i}^{PP}}{\Delta T_{hot,i}^{PP} - \Delta T_{cool,i}^{PP}}, \quad (3)$$

де $Q_{cool,i}^{TH}$ – тепловий потік, який i -й ТН поглинає (завдяки відповідній своїй теплопоглинаючій ТЧ) від РР; $Q_{hot,i}^{TH}$ – тепловий потік, який i -й ТН віддає (завдяки відповідній своїй тепловиділяючій ТЧ) РР; W_i^{TH} – потужність, яку споживає i , завдяки якій працює i -й ТН (наприклад, це може бути електрична потужність, яку i -й ТН споживає від зовнішнього окремого джерела живлення); $\Delta T_{cool,i}^{PP}$, $\Delta T_{hot,i}^{PP}$ – перепади температур РР, які утворюються внаслідок теплового контакту РР з відповідно теплопоглинаючою та тепловиділяючою ТЧ i -го ТН на відповідних ділянках її руху.

Холодильний та опалювальний коефіцієнти реальних ТН можуть бути меншими ніж відповідно холодильний та опалювальний коефіцієнти ідеальних ТН, які працюють за циклом Карно [2]. Для того, щоб це врахувати прийемо, що для i -го ТН його холодильний коефіцієнт ε_i та його опалювальний коефіцієнт μ_i визначаються за співвідношеннями:

$$\varepsilon_i = A_i \cdot \varepsilon_{K,i} = A_i \cdot \frac{Q_{cool,i}^{TH^K}}{W_i^{TH^K}} = A_i \cdot \frac{T_{cool,i}^{TH^K}}{T_{hot,i}^{TH^K} - T_{cool,i}^{TH^K}}, \quad A_i \leq 1; \quad (4)$$

$$\mu_i = B_i \cdot \mu_{K,i} = B_i \cdot \frac{Q_{hot,i}^{TH^K}}{W_i^{TH^K}} = B_i \cdot \frac{T_{hot,i}^{TH^K}}{T_{hot,i}^{TH^K} - T_{cool,i}^{TH^K}}, \quad B_i \leq 1, \quad (5)$$

при умовах, що:

$$W_i^{TH^K} = W_i^{TH}; \quad (6)$$

$$T_{cool,i}^{TH^K} = T_{cool,i}^{TH}; \quad (7)$$

$$T_{hot,i}^{TH^K} = T_{hot,i}^{TH}; \quad (8)$$

де A_i – безрозмірний множник, який враховує особливості конструкції та використання i -го ТН, які зумовлюють відмінність холодильного коефіцієнта цього ТН від холодильного коефіцієнта ідеального ТН, який за тих самих умов працює за циклом Карно; B_i – безрозмірний множник, який враховує особливості конструкції та використання i -го ТН, які зумовлюють відмінність опалювального коефіцієнта цього ТН від опалювального коефіцієнта ідеального ТН, який за тих самих умов працює за циклом Карно; $\varepsilon_{K,i}$ – холодильний коефіцієнт ідеального ТН, який працює за циклом Карно в тих самих умовах, як і i -й ТН; $\mu_{K,i}$ – опалювальний коефіцієнт ідеального ТН, який працює за циклом Карно в тих самих умовах, як і i -й ТН; $Q_{cool,i}^{TH^K}$ – тепловий потік, який поглинає ідеальний ТН, який працює за циклом Карно (TH^K) в тих самих умовах, як і i -й ТН; $Q_{hot,i}^{TH^K}$ – тепловий потік, який віддає ідеальний ТН, який працює за циклом Карно (TH^K) в тих самих умовах, як і i -й ТН; $W_i^{TH^K}$ – потужність, яку споживає і, завдяки якій працює ідеальний ТН, який працює за циклом Карно (TH^K) в тих самих умовах, як і i -й ТН; $T_{cool,i}^{TH^K}$ – температура теплопоглинаючої ТЧ ідеального ТН, який працює за циклом Карно (TH^K) в тих самих умовах, як і i -й ТН; $T_{cool,i}^{TH}$ – температура теплопоглинаючої ТЧ i -го ТН; $T_{hot,i}^{TH^K}$ – температура тепловиділяючої ТЧ ідеального ТН, який працює за циклом Карно (TH^K) в тих самих умовах, як і i -й ТН; $T_{hot,i}^{TH}$ – температура тепловиділяючої ТЧ i -го ТН.

З виразів (4), (7) та (8), а також з виразів (5), (7) та (8) відповідно випливає:

$$\varepsilon_i = A_i \cdot \frac{T_{cool,i}^{TH}}{T_{hot,i}^{TH} - T_{cool,i}^{TH}}, \quad A_i \leq 1; \quad (9)$$

$$\mu_i = B_i \cdot \frac{T_{hot,i}^{TH}}{T_{hot,i}^{TH} - T_{cool,i}^{TH}}, B_i \leq 1. \quad (10)$$

Добре відомо, що ε_i та μ_i , а також $\varepsilon_{K,i}$ та $\mu_{K,i}$ пов'язані співвідношеннями:

$$\mu_i = \varepsilon_i + 1; \quad (11)$$

$$\mu_{K,i} = \varepsilon_{K,i} + 1. \quad (12)$$

Якщо використати співвідношення (11), (12), а також співвідношення (9), (10) можна знайти співвідношення між A_i та B_i :

$$A_i = (B_i - 1) \frac{T_{hot,i}^{TH}}{T_{cool,i}^{TH}} + 1; \quad (13)$$

$$B_i = (A_i - 1) \frac{T_{cool,i}^{TH}}{T_{hot,i}^{TH}} + 1. \quad (14)$$

На основі виразів (2) та (9), а також на основі виразів (3) та (10) можна записати відповідно наступні співвідношення, які можна використати для визначення температурного режиму роботи i -го ТН:

$$\frac{\Delta T_{cool,i}^{PP}}{\Delta T_{hot,i}^{PP} - \Delta T_{cool,i}^{PP}} = A_i \frac{T_{cool,i}^{TH}}{T_{hot,i}^{TH} - T_{cool,i}^{TH}}; \quad (15)$$

$$\frac{\Delta T_{hot,i}^{PP}}{\Delta T_{hot,i}^{PP} - \Delta T_{cool,i}^{PP}} = B_i \frac{T_{hot,i}^{TH}}{T_{hot,i}^{TH} - T_{cool,i}^{TH}}. \quad (16)$$

Далі розглянемо два частинних випадки досліджуваного способу тепломасообміну.

Випадок охолодження РР у її вхідному потоці всіма ТН

Схема випадку досліджуваного способу тепломасообміну, в якому РР у її вхідному потоці охолоджують всіма окремо взятими ТН представлена на рис. 2.

Для цього випадку досліджуваного способу тепломасообміну враховуючи те, що РР відповідно до схеми рис. 2 у її вхідному потоці охолоджують всіма окремо взятими ТН, а у її вихідному потоці нагрівають всіма окремо взятими ТН запишемо (з використанням позначень, які використовуються на рис. 2):

$$T_{cool,i}^{TH} = T_{1,i}^{TH}, i = 1 \div n; \quad (17)$$

$$T_{cool,(i-1)}^{PP} = T_{1,(i-1)}^{PP}, T_{cool,i}^{PP} = T_{1,i}^{PP}, i = 1 \div n; \quad (18)$$

$$T_{hot,i}^{TH} = T_{2,i}^{TH}, i = 1 \div n; \quad (19)$$

$$T_{hot,(i-1)}^{PP} = T_{2,(i-1)}^{PP}, T_{hot,i}^{PP} = T_{2,i}^{PP}, i = 1 \div n; \quad (20)$$

$$\Delta T_{cool,i}^{PP} = T_{cool,(i-1)}^{PP} - T_{cool,i}^{PP}; \quad (21)$$

$$\Delta T_{hot,i}^{PP} = T_{hot,(i-1)}^{PP} - T_{hot,i}^{PP}, \quad (22)$$

де $T_{cool,(i-1)}^{PP}$ – температура РР у процесі її руху безпосередньо перед її ТК з теплопоглинаючою ТЧ i -го ТН; $T_{cool,i}^{PP}$ – температура РР у процесі її руху одразу ж після її ТК з теплопоглинаючою ТЧ i -го

ТН; $T_{hot,(i-1)}^{PP}$ – температура РР у процесі її руху одразу ж після її ТК з тепловиділяючою ТЧ i -го ТН;
 $T_{hot,i}^{PP}$ – температура РР у процесі її руху безпосередньо перед її ТК з тепловиділяючою ТЧ i -го ТН.

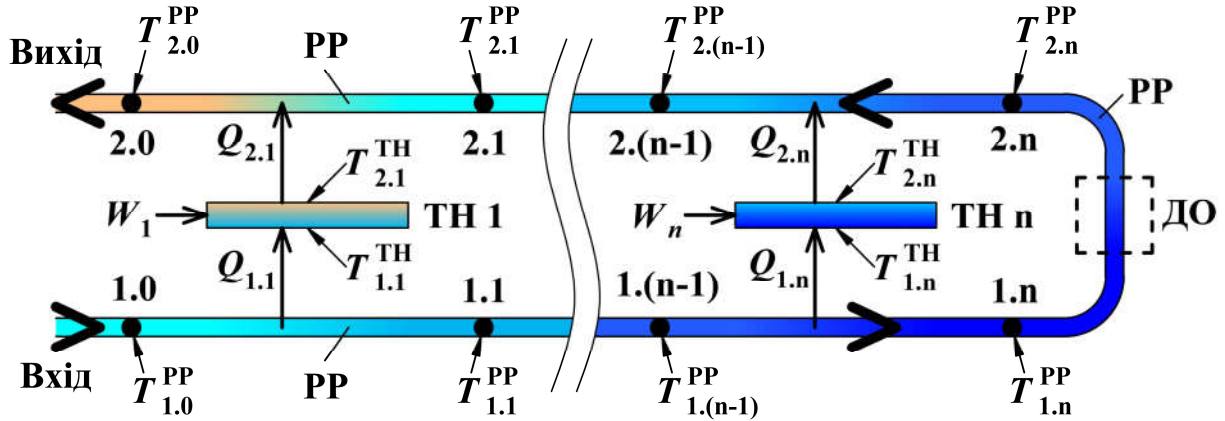


Рис. 2. Схема досліджуваного способу тепломасообміну для випадку охолодження РР у її вхідному потоці всіма окремо взятими ТН: 1.0, ..., 1.1, 2.1, ..., 2.0 – точки, які відповідають послідовним положенням РР у процесі її руху (1.0 – безпосередньо перед ТК РР з 1-ю (теплопоглинаючою) ТЧ ТН 1, 1.1 – одразу ж після ТК РР з 1-ю ТЧ ТН 1, ..., 1.(n-1) – безпосередньо перед ТК РР з 1-ю (теплопоглинаючою) ТЧ ТН n, 1.n – одразу ж після ТК РР з 1-ю ТЧ ТН n, 2.n – безпосередньо перед ТК РР з 2-ю (тепловиділяючою) ТЧ ТН n, 2.(n-1) – одразу ж після ТК РР з 2-ю ТЧ ТН n, ..., 2.1 – безпосередньо перед ТК РР з 2-ю (тепловиділяючою) ТЧ ТН 1, 2.0 – одразу ж після ТК РР з 2-ю ТЧ ТН 1); $T_{1.0}^{PP}, \dots, T_{1.n}^{PP}, T_{2.1}^{PP}, \dots, T_{2.0}^{PP}$ – температури РР у відповідних точках; W_1, \dots, W_n – потужності живлення (наприклад, електричного) відповідних ТН; $Q_{1.1}, \dots, Q_{1.n}$ – теплові потоки від РР до 1-х (теплопоглинаючих) ТЧ відповідних ТН; $Q_{2.1}, \dots, Q_{2.n}$ – теплові потоки від 2-х (тепловиділяючих) ТЧ відповідних ТН до РР; $T_{1.1}^{ТН}, \dots, T_{1.n}^{ТН}$ – температури 1-х (теплопоглинаючих) ТЧ відповідних ТН; $T_{2.1}^{ТН}, \dots, T_{2.n}^{ТН}$ – температури 2-х (тепловиділяючих) ТЧ відповідних ТН; інші позначення на цьому рисунку аналогічні до відповідних позначень на рис. 1.

Згідно з рис. 2 для цього випадку досліджуваного способу тепломасообміну позначимо:

$$\Delta T_{cool}^{PP} = \sum_{i=1}^n \Delta T_{cool,i}^{PP} = T_{1.0}^{PP} - T_{1.n}^{PP} = \Delta T_1^{PP}, \quad (23)$$

$$\Delta T_{hot}^{PP} = \sum_{i=1}^n \Delta T_{hot,i}^{PP} = T_{2.0}^{PP} - T_{2.n}^{PP} = \Delta T_2^{PP}; \quad (24)$$

де ΔT_{cool}^{PP} – різниця температур РР, яка утворюється внаслідок охолодження РР у її вхідному потоці всіма окремо взятими ТН; ΔT_1^{PP} – відповідно до схеми рис. 2 різниця температур РР, яка утворюється внаслідок ТК РР у її вхідному потоці з ТЧ всіх окремо взятих ТН; ΔT_{hot}^{PP} – різниця температур РР, яка утворюється внаслідок нагрівання РР у її вихідному потоці всіма окремо взятими ТН; ΔT_2^{PP} – відповідно до схеми рис. 2 різниця температур РР, яка утворюється внаслідок ТК РР у її вихідному потоці з ТЧ всіх окремо взятих ТН.

Якщо використати відповідні допущення, зокрема, допущення 4, тоді для випадку, коли РР у вхідному потоці охолоджують всіма окремо взятими ТН відповідно до схеми рис. 2 можна записати:

$$T_{hot,(i-1)}^{PP} = T_{hot,i}^{TH}; \quad (25)$$

$$T_{cool,i}^{PP} = T_{cool,i}^{TH}. \quad (26)$$

Вирази (13) та (14), які встановлюють співвідношення між A_i та B_i для цього випадку досліджуваного способу тепломасообміну згідно з рис. 2 та з використанням виразів (22), (25) та (26) набудуть вигляду:

$$A_i = (B_i - 1) \frac{T_{hot,i}^{PP} + \Delta T_{hot,i}^{PP}}{T_{cool,i}^{PP}} + 1; \quad (27)$$

$$B_i = (A_i - 1) \frac{T_{cool,i}^{PP}}{T_{hot,i}^{PP} + \Delta T_{hot,i}^{PP}} + 1. \quad (28)$$

Перетворимо праві частини виразів (15) та (16) з використанням виразів (22), (25), (26):

$$A_i \frac{T_{cool,i}^{TH}}{T_{hot,i}^{TH} - T_{cool,i}^{TH}} = A_i \frac{T_{cool,i}^{PP}}{T_{hot,i}^{PP} + \Delta T_{hot,i}^{PP} - T_{cool,i}^{PP}}; \quad (29)$$

$$B_i \frac{T_{hot,i}^{TH}}{T_{hot,i}^{TH} - T_{cool,i}^{TH}} = B_i \frac{T_{hot,i}^{PP} + \Delta T_{hot,i}^{PP}}{T_{hot,i}^{PP} + \Delta T_{hot,i}^{PP} - T_{cool,i}^{PP}}. \quad (30)$$

Для того, щоб отримати вираз для визначення $\Delta T_{hot,i}^{PP}$, до складу якого буде входити множник A_i з використанням виразу (29) переписемо вираз (15) і отримаємо наступне співвідношення:

$$\frac{\Delta T_{cool,i}^{PP}}{\Delta T_{hot,i}^{PP} - \Delta T_{cool,i}^{PP}} = A_i \frac{T_{cool,i}^{PP}}{T_{hot,i}^{PP} + \Delta T_{hot,i}^{PP} - T_{cool,i}^{PP}}. \quad (31)$$

В результаті математичних перетворень виразу (31) отримаємо наступне співвідношення для визначення температурного режиму роботи i -го ТН (вираз, який пов'язує температури РР до та після її ТК з ТК i -го ТН):

$$\Delta T_{hot,i}^{PP} = \frac{T_{hot,i}^{PP} - (1 - A_i) T_{cool,i}^{PP}}{\frac{A_i T_{cool,i}^{PP}}{\Delta T_{cool,i}^{PP}} - 1}. \quad (32)$$

У випадку використання ТН, холодильний коефіцієнт яких задається виразом (9), згідно із схемою рис. 2 сумарний перепад температур РР у її вхідному потоці на основі виразів (24) і (32):

$$\Delta T_{hot}^{PP} = \sum_{i=1}^n \frac{T_{hot,i}^{PP} - (1 - A_i)T_{cool,i}^{PP}}{\frac{A_i T_{cool,i}^{PP}}{\Delta T_{cool,i}^{PP}} - 1}. \quad (33)$$

Для випадку, коли i -й ТН працює за циклом Карно (при цьому $A_i = 1$) вираз (32) спроститься:

$$\Delta T_{hot,i}^{PP} = \frac{T_{hot,i}^{PP}}{\frac{T_{cool,i}^{PP}}{\Delta T_{cool,i}^{PP}} - 1}. \quad (34)$$

І тоді у цьому випадку сумарний перепад температур РР у її вихідному потоці на основі виразів (24) і (34):

$$\Delta T_{hot}^{PP} = \sum_{i=1}^n \frac{T_{hot,i}^{PP}}{\frac{T_{cool,i}^{PP}}{\Delta T_{cool,i}^{PP}} - 1}. \quad (35)$$

Для того, щоб отримати вираз для визначення $\Delta T_{hot,i}^{PP}$ до складу якого буде входити множник B_i з використанням виразу (30) перепишемо вираз (16) і отримаємо наступне співвідношення:

$$\frac{\Delta T_{hot,i}^{PP}}{\Delta T_{hot,i}^{PP} - \Delta T_{cool,i}^{PP}} = B_i \frac{T_{hot,i}^{PP} + \Delta T_{hot,i}^{PP}}{T_{hot,i}^{PP} + \Delta T_{hot,i}^{PP} - T_{cool,i}^{PP}}. \quad (36)$$

В результаті математичних перетворень виразу (36) для визначення $\Delta T_{hot,i}^{PP}$ отримаємо квадратне рівняння:

$$(1 - B_i)(\Delta T_{hot,i}^{PP})^2 + ((1 - B_i)T_{hot,i}^{PP} + B_i \Delta T_{cool,i}^{PP} - T_{cool,i}^{PP})\Delta T_{hot,i}^{PP} + B_i T_{hot,i}^{PP} \Delta T_{cool,i}^{PP} = 0. \quad (37)$$

Таке ж саме рівняння також можна отримати, якщо вираз для A_i (27) підставити в вираз (32).

Корінь цього квадратного рівняння, який має фізичний зміст:

$$\Delta T_{hot,i}^{PP} = \frac{T_{cool,i}^{PP} - (1 - B_i)T_{hot,i}^{PP} - B_i \Delta T_{cool,i}^{PP} - \sqrt{D_{cool,i}}}{2(1 - B_i)}, \quad (38)$$

де $D_{cool,i} = ((1 - B_i)T_{hot,i}^{PP} + B_i \Delta T_{cool,i}^{PP} - T_{cool,i}^{PP})^2 - 4(1 - B_i)B_i T_{hot,i}^{PP} \Delta T_{cool,i}^{PP}$.

У випадку використання ТН, опалювальний коефіцієнт яких задається виразом (10), згідно із схемою рис. 2 сумарний перепад температур РР у її вихідному потоці на основі виразу (38):

$$\Delta T_{hot}^{PP} = \sum_{i=1}^n \frac{T_{cool,i}^{PP} - (1 - B_i)T_{hot,i}^{PP} - B_i \Delta T_{cool,i}^{PP} - \sqrt{D_{cool,i}}}{2(1 - B_i)}. \quad (39)$$

Якщо i -й ТН у схемі рис. 2 працює за циклом Карно (при цьому $B_i = 1$), тоді квадратне рівняння спроститься до наступного рівняння:

$$(\Delta T_{cool,i}^{PP} - T_{cool,i}^{PP})\Delta T_{hot,i}^{PP} + T_{hot,i}^{PP} \Delta T_{cool,i}^{PP} = 0. \quad (40)$$

З рівняння (40) для визначення $\Delta T_{hot,i}^{PP}$ можна отримати вираз (34).

Розглянемо випадок, який відповідає допущенню 9 (коли всі зміни температури РР в результаті її ТК з кожною окремо взятою ТЧ ТН у вхідному потоці цієї РР однакові) і схема рис. 2 містить n ТН. Тоді для такого випадку згідно з рис. 2 та з використанням виразу (23):

$$\Delta T_{cool}^{PP} = n \cdot \Delta T_{cool,i}^{PP} \quad (41)$$

Для випадку, коли схема рис. 2 містить n ТН, холодильні коефіцієнти яких задаються виразом (9) і при цьому виконується допущення 9 сумарний перепад температур РР у її вихідному потоці з використанням виразів (33), (41) становитиме:

$$\Delta T_{hot}^{PP} = \sum_{i=1}^n \frac{T_{hot,i}^{PP} - (1 - A_i)T_{cool,i}^{PP}}{\frac{A_i T_{cool,i}^{PP}}{\frac{1}{n} \Delta T_{cool}^{PP}} - 1} \quad (42)$$

А для випадку використання ТН, опалювальні коефіцієнти яких задаються виразом (10), згідно із схемою рис. 2 при використанні допущення 9 сумарний перепад температур РР у її вихідному потоці з використанням виразів (39), (41) буде таким:

$$\Delta T_{hot}^{PP} = \sum_{i=1}^n \frac{T_{cool,i}^{PP} - (1 - B_i)T_{hot,i}^{PP} - \frac{1}{n} B_i \Delta T_{cool}^{PP} - \sqrt{D_{9,cool,i}}}{2(1 - B_i)} \quad (43)$$

$$\text{де } D_{9,cool,i} = \left((1 - B_i)T_{hot,i}^{PP} + \frac{1}{n} B_i \Delta T_{cool}^{PP} - T_{cool,i}^{PP} \right)^2 - \frac{4}{n} (1 - B_i) B_i T_{hot,i}^{PP} \Delta T_{cool}^{PP}.$$

Для випадку, коли схема рис. 2 містить n ТН, кожний з яких працює за циклом Карно так, що виконується допущення 9 з використанням виразів (34) та (41) отримаємо наступне співвідношення для визначення температурного режиму роботи i -го ТН:

$$\Delta T_{hot,i}^{PP} = \frac{T_{hot,i}^{PP}}{\frac{T_{cool,i}^{PP}}{\frac{1}{n} \Delta T_{cool}^{PP}} - 1} \quad (44)$$

Можна показати, що для цього випадку досліджуваного способу тепломасообміну, коли всі ТН у схемі рис. 2 працюють за циклом Карно і, коли всі зміни температури РР в результаті її ТК з кожною окремо взятою ТЧ ТН у вхідному потоці цієї РР однакові (допущення 9), тоді всі зміни температури РР в результаті її ТК з кожною окремо взятою ТЧ ТН у вихідному потоці цієї РР також будуть однакові:

$$\Delta T_{hot,(i-1)}^{PP} = \Delta T_{hot,i}^{PP} \quad (45)$$

Тоді для цього випадку на основі виразів (24), (45) та (44) отримаємо наступний вираз для визначення сумарного перепаду температур РР у її вихідному потоці:

$$\Delta T_{hot}^{PP} = n \cdot \Delta T_{hot,i}^{PP} = \frac{T_{hot,i}^{PP}}{\frac{T_{cool,i}^{PP}}{\frac{1}{n} \Delta T_{cool}^{PP}} - 1} \quad (46)$$

Якщо застосувати безпосередні позначення схеми рис. 2, а також вирази (18), (20), (23), (24), то вираз (46) набуде вигляду:

$$\Delta T_2^{PP} = \frac{T_{2,i}^{PP}}{\frac{T_{1,i}^{PP}}{\Delta T_1^{PP}} - 1} \cdot \frac{1}{n} \quad (47)$$

Випадок нагрівання PP у її вхідному потоці всіма ТН

Схема випадку досліджуваного способу тепломасообміну, в якому PP у її вхідному потоці нагрівають всіма окремо взятими ТН представлена на рис. 3.

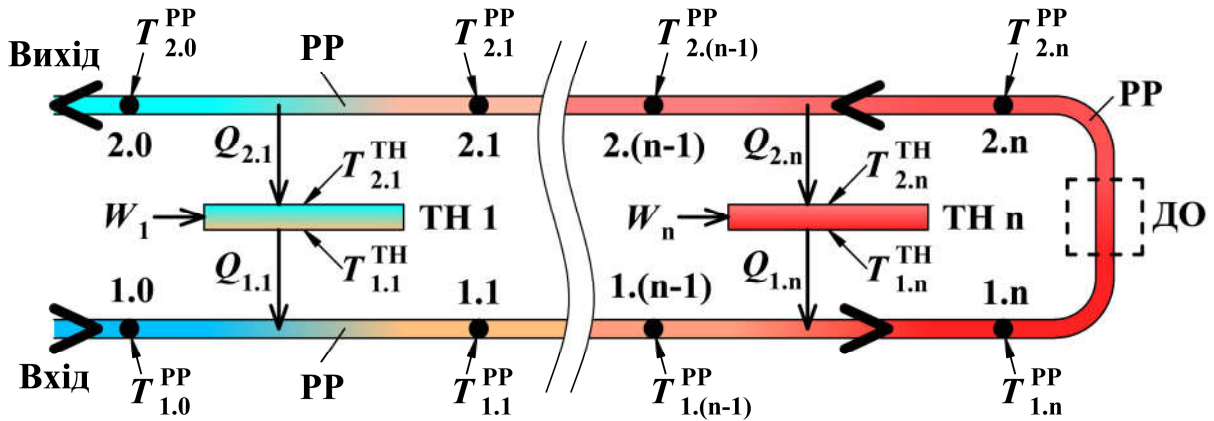


Рис. 3. Схема досліджуваного способу тепломасообміну для випадку нагрівання PP у її вхідному потоці всіма окремо взятими ТН: 1.0, ..., 1.n, 2.n, ..., 2.0 – точки, які відповідають послідовним положенням PP у процесі її руху (1.0 – безпосередньо перед ТК PP з 1-ю (тепловиділяючою) ТЧ ТН 1, 1.1 – одразу ж після ТК PP з 1-ю ТЧ ТН 1, ..., 1.(n-1) – безпосередньо перед ТК PP з 1-ю (тепловиділяючою) ТЧ ТН n, 1.n – одразу ж після ТК PP з 1-ю ТЧ ТН n, 2.n – безпосередньо перед ТК PP з 2-ю (теплопоглинаючою) ТЧ ТН n, 2.(n-1) – одразу ж після ТК PP з 2-ю ТЧ ТН n, ..., 2.1 – безпосередньо перед ТК PP з 2-ю (теплопоглинаючою) ТЧ ТН 1, 2.0 – одразу ж після ТК PP з 2-ю ТЧ ТН 1);
 $T_{1,0}^{PP}, \dots, T_{1,n}^{PP}, T_{2,n}^{PP}, \dots, T_{2,0}^{PP}$ – температури PP у відповідних точках;
 $Q_{1,1}, \dots, Q_{1,n}$ – теплові потоки від 1-х (тепловиділяючих) ТЧ відповідних ТН до PP; $Q_{2,n}, \dots, Q_{2,1}$ – теплові потоки від PP до 2-х (теплопоглинаючих) ТЧ відповідних ТН; $T_{1,1}^{TH}, \dots, T_{1,n}^{TH}$ – температури 1-х (тепловиділяючих) ТЧ відповідних ТН; $T_{2,1}^{TH}, \dots, T_{2,n}^{TH}$ – температури 2-х (теплопоглинаючих) ТЧ відповідних ТН; інші позначення на цьому рисунку аналогічні до відповідних позначень на попередніх рисунках.

Для цього випадку досліджуваного способу тепломасообміну враховуючи те, що PP відповідно до схеми рис. 3 у її вхідному потоці нагрівають всіма окремо взятими ТН, а у її вихідному потоці охолоджують всіма окремо взятими ТН запишемо:

$$T_{hot,i}^{TH} = T_{1,i}^{TH}, \quad i = 1 \div n; \quad (48)$$

$$T_{hot,(i-1)}^{PP} = T_{1,(i-1)}^{PP}, \quad T_{hot,i}^{PP} = T_{1,i}^{PP}, \quad i = 1 \div n; \quad (49)$$

$$T_{cool,i}^{TH} = T_{2,i}^{TH}, \quad i = 1 \div n; \quad (50)$$

$$T_{cool,(i-1)}^{PP} = T_{2,(i-1)}^{PP}, \quad T_{cool,i}^{PP} = T_{2,i}^{PP}, \quad i = 1 \div n; \quad (51)$$

$$\Delta T_{hot,i}^{PP} = T_{hot,i}^{PP} - T_{hot,(i-1)}^{PP}; \quad (52)$$

$$\Delta T_{cool,i}^{PP} = T_{cool,i}^{PP} - T_{cool,(i-1)}^{PP}, \quad (53)$$

де $T_{hot,(i-1)}^{PP}$ – температура РР у процесі її руху безпосередньо перед її ТК з тепловиділяючою ТЧ i -го ТН; $T_{hot,i}^{PP}$ – температура РР у процесі її руху одразу ж після її ТК з тепловиділяючою ТЧ i -го ТН; $T_{cool,(i-1)}^{PP}$ – температура РР у процесі її руху одразу ж після її ТК з теплопоглинаючою ТЧ i -го ТН; $T_{cool,i}^{PP}$ – температура РР у процесі її руху безпосередньо перед її ТК з теплопоглинаючою ТЧ i -го ТН.

Для цього випадку досліджуваного способу тепломасообміну згідно з рис. 3 позначимо:

$$\Delta T_{hot}^{PP} = \sum_{i=1}^n \Delta T_{hot,i}^{PP} = T_{1,n}^{PP} - T_{1,0}^{PP} = \Delta T_1^{PP}; \quad (54)$$

$$\Delta T_{cool}^{PP} = \sum_{i=1}^n \Delta T_{cool,i}^{PP} = T_{2,n}^{PP} - T_{2,0}^{PP} = \Delta T_2^{PP}, \quad (55)$$

де ΔT_{hot}^{PP} – різниця температур РР, яка утворюється внаслідок нагрівання РР у її вхідному потоці всіма окремо взятими ТН; ΔT_1^{PP} – відповідно до схеми рис. 3 різниця температур РР, яка утворюється внаслідок ТК РР у її вхідному потоці з ТЧ всіх окремо взятих ТН; ΔT_{cool}^{PP} – різниця температур РР, яка утворюється внаслідок охолодження РР у її вихідному потоці всіма окремо взятими ТН; ΔT_2^{PP} – відповідно до схеми рис. 3 різниця температур РР, яка утворюється внаслідок ТК РР у її вихідному потоці з ТЧ всіх окремо взятих ТН.

Якщо використати відповідні допущення, зокрема, допущення 4, тоді для випадку, коли РР у вхідному потоці нагрівають всіма окремо взятими ТН відповідно до схеми рис. 3 можна записати:

$$T_{hot,i}^{PP} = T_{hot,i}^{TH}; \quad (56)$$

$$T_{cool,(i-1)}^{PP} = T_{cool,i}^{TH}. \quad (57)$$

Вирази (13) та (14), які встановлюють співвідношення між A_i та B_i для цього випадку досліджуваного способу тепломасообміну згідно з рис. 3 та з використанням виразів (53), (56), (57) набудуть вигляду:

$$A_i = (B_i - 1) \frac{T_{hot,i}^{PP}}{T_{cool,i}^{PP} - \Delta T_{cool,i}^{PP}} + 1; \quad (58)$$

$$B_i = (A_i - 1) \frac{T_{cool,i}^{PP} - \Delta T_{cool,i}^{PP}}{T_{hot,i}^{PP}} + 1. \quad (59)$$

Подібно до того, як ми отримали математичні вирази для визначення температурного режиму роботи досліджуваного способу тепломасообміну у попередньому випадку, в якому РР у її вхідному потоці охолоджують всіма окремо взятими ТН згідно з рис. 2 можна отримати також і наступні математичні вирази для випадку досліджуваного способу тепломасообміну, в якому РР у її вхідному потоці нагрівають всіма окремо взятими ТН згідно з рис. 3.

Для випадку використання ТН, опалювальні коефіцієнти яких задаються виразом (10), згідно із схемою рис. 3 співвідношення для визначення температурного режиму роботи i -го ТН наступне:

$$\Delta T_{cool,i}^{PP} = \frac{T_{cool,i}^{PP} + (B_i - 1)T_{hot,i}^{PP}}{\frac{B_i T_{hot,i}^{PP}}{\Delta T_{hot,i}^{PP}} + 1}. \quad (60)$$

Для цього ж випадку сумарний перепад температур РР у її вихідному потоці:

$$\Delta T_{cool}^{PP} = \sum_{i=1}^n \frac{T_{cool,i}^{PP} + (B_i - 1)T_{hot,i}^{PP}}{\frac{B_i T_{hot,i}^{PP}}{\Delta T_{hot,i}^{PP}} + 1}. \quad (61)$$

У випадку використання ТН, холодильний коефіцієнт яких задається виразом (9), згідно із схемою рис. 3 співвідношення для визначення температурного режиму роботи i -го ТН наступне:

$$\Delta T_{cool,i}^{PP} = \frac{(1 - A_i)T_{cool,i}^{PP} - T_{hot,i}^{PP} - A_i \Delta T_{hot,i}^{PP} + \sqrt{D_{hot,i}}}{2(1 - A_i)}, \quad (62)$$

де $D_{hot,i} = (T_{hot,i}^{PP} - (1 - A_i)T_{cool,i}^{PP} + A_i \Delta T_{hot,i}^{PP})^2 + 4(1 - A_i)A_i \Delta T_{hot,i}^{PP} T_{cool,i}^{PP}$.

Для цього ж випадку сумарний перепад температур РР у її вихідному потоці:

$$\Delta T_{cool}^{PP} = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - A_i)T_{cool,i}^{PP} - T_{hot,i}^{PP} - A_i \Delta T_{hot,i}^{PP} + \sqrt{D_{hot,i}}}{2(1 - A_i)}. \quad (63)$$

Для випадку, коли i -й ТН працює за циклом Карно співвідношення для визначення температурного режиму роботи i -го ТН наступне:

$$\Delta T_{cool,i}^{PP} = \frac{T_{cool,i}^{PP}}{\frac{T_{hot,i}^{PP}}{\Delta T_{hot,i}^{PP}} + 1}. \quad (64)$$

Також для випадку, коли i -й ТН працює за циклом Карно сумарний перепад температур РР у її вихідному потоці:

$$\Delta T_{cool}^{PP} = \sum_{i=1}^n \frac{T_{cool,i}^{PP}}{\frac{T_{hot,i}^{PP}}{\Delta T_{hot,i}^{PP}} + 1}. \quad (65)$$

Для випадку, який відповідає допущенню 9 і схема рис. 3 містить n ТН співвідношення між сумарним перепадом температур РР у її вхідному потоці і перепадом температур РР, який утворюється внаслідок ТК РР з тепловиділяючою ТЧ довільного i -го ТН наступне:

$$\Delta T_{hot}^{PP} = n \cdot \Delta T_{hot,i}^{PP}. \quad (66)$$

Для випадку, коли схема рис. 3 містить n ТН, опалювальні коефіцієнти яких задаються виразом (10) і при цьому виконується допущення 9 сумарний перепад температур РР у її вихідному потоці:

$$\Delta T_{cool}^{PP} = \sum_{i=1}^n \frac{T_{cool,i}^{PP} + (B_i - 1)T_{hot,i}^{PP}}{\frac{B_i T_{hot,i}^{PP}}{\frac{1}{n} \Delta T_{hot}^{PP}} + 1}. \quad (67)$$

А для випадку, коли схема рис. 3 містить n ТН, холодильні коефіцієнти яких задаються виразом (9) і при цьому виконується допущення 9 сумарний перепад температур РР у її вихідному потоці:

$$\Delta T_{cool}^{PP} = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - A_i) T_{cool,i}^{PP} - T_{hot,i}^{PP} - \frac{1}{n} A_i \Delta T_{hot}^{PP} + \sqrt{D_{9,hot,i}}}{2(1 - A_i)}, \quad (68)$$

де $D_{9,hot,i} = \left(T_{hot,i}^{PP} - (1 - A_i) T_{cool,i}^{PP} + \frac{1}{n} A_i \Delta T_{hot}^{PP} \right)^2 + \frac{4}{n} (1 - A_i) A_i \Delta T_{hot}^{PP} T_{cool,i}^{PP}$.

Для випадку, коли схема рис. 3 містить n ТН, кожний з яких працює за циклом Карно так, що виконується допущення 9 співвідношення для визначення температурного режиму роботи i -го ТН наступне:

$$\Delta T_{cool,i}^{PP} = \frac{T_{cool,i}^{PP}}{\frac{T_{hot,i}^{PP}}{\frac{1}{n} \Delta T_{hot}^{PP}} + 1}. \quad (69)$$

У випадку, коли всі ТН у схемі рис. 3 працюють за циклом Карно і, коли всі зміни температури РР в результаті її ТК з кожною окремо взятою ТЧ ТН у вхідному потоці цієї РР однакові (допущення 9), тоді всі зміни температури РР в результаті її ТК з кожною окремо взятою ТЧ ТН у вихідному потоці цієї РР також однакові:

$$\Delta T_{cool,(i-1)}^{PP} = \Delta T_{cool,i}^{PP}. \quad (70)$$

Для цього ж випадку сумарний перепад температур РР у її вихідному потоці:

$$\Delta T_{cool}^{PP} = n \cdot \Delta T_{cool,i}^{PP} = \frac{T_{cool,i}^{PP}}{\frac{T_{hot,i}^{PP}}{\frac{1}{n} \Delta T_{hot}^{PP}} + 1}. \quad (71)$$

З використанням безпосередніх позначень схеми рис. 3 вираз (71) має вигляд:

$$\Delta T_2^{PP} = \frac{T_{2,i}^{PP}}{\frac{T_{1,i}^{PP}}{\Delta T_1^{PP}} + \frac{1}{n}}. \quad (72)$$

Висновок

1. Отримано математичні вирази для оцінки ефективності використання досліджуваного способу теплообміну для створення і підтримання різниці температур між різними частинами РР.

2. З попереднього аналізу цих математичних виразів можна зробити висновок про принципову можливість використання принаймні двох ТН замість одного ТН у схемах рис. 2, рис. 3 для підвищення енергоефективності відповідних енергозатратних процесів теплообміну.

3. В той же час для прийняття рішень стосовно практичних застосувань описаного тут способу теплообміну можуть знадобитися подальші теоретичні та/або експериментальні дослідження.

Література

1. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Порівняльний аналіз термоелектричних та компресійних теплових насосів для індивідуальних кондиціонерів. *Термоелектрика*. 2016. №2. С.33–42.
2. Bonin J. *Heat Pump Planning Handbook*. London and New York, Routledge, 2015. 326 p.
3. Анатичук Л.І., Прибила А.В., Розвер Ю.Ю. Експериментальне дослідження термоелектричного теплового насоса рідина-рідина. *Термоелектрика*. 2017. №3. С.47–53.
4. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Про граничні можливості термоелектричного теплового насоса рідина-рідина. *Термоелектрика*. 2017. №4. С.49–54.
5. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Про вплив якості теплообмінників на властивості термоелектричних теплових насосів рідина-рідина. *Термоелектрика*. 2017. №5. С.59–64.
6. Гаврилюк М.В., Константинович І.А. Термоелектричний прилад для електрофорезу. *Науковий вісник Чернівецького університету*. 2013. Том 3, випуск 1. *Фізика. Електроніка*. С.33–42.
7. Lee HoSung *Thermoelectrics : design and materials*. Chichester, UK ; Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 2016. 440 p.
8. Alves-Filho O. *Heat Pump Dryers. Theory, Design and Industrial Applications*. Boca Raton, CRC Press, 2015. 345 p.
9. Акулич П. В. *Расчеты сушильных и теплообменных установок*. Минск, Беларусь. наука, 2010. 443 с.
10. Снежкин Ю. Ф., Чалаев Д. М., Шапарь Р. А., Дабижан Н. А. Особенности использования тепловых насосов в процессах сушки. Материалы научно-технической конференции «Теплонасосные технологии в Украине. Состояние и перспективы внедрения» (23–25 мая 2012, г. Киев), *Электронный журнал ЭСКО*. 2012. №6. http://journal.esco.co.ua/2012_6/art365.pdf
11. Снежкин Ю. Ф., Пазюк В. М., Петрова Ж. О., Чалаев Д. М. *Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна*. Київ, ТОВ «Поліграф-Сервіс», 2012. 154 с.
12. *Patent US 9700835 B2*. Barnwell J.W. Thermoelectric compressed air and/or inert gas dryer.
13. *Patent US 4065936 A*. Fenton J.W., Lee J.S., Buist R.J. Counter flow thermoelectric heat pump with discrete sections.
14. Кшавецький О. С. Оцінка енергоефективності способу тепломасообміну між рухомою речовиною і тепловими насосами. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі» (22–23 березня 2017, м. Київ), Київ, НУХТ, 2017. С.172–174.
15. Кшавецький О. С. Про можливість підвищення енергоефективності процесів тепломасообміну, які передбачають нагрівання та охолодження рухомої речовини. *Chemical Technology and Engineering (Хімічна технологія та інженерія): збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції (26–30 червня 2017, м. Львів), Львів, Видавництво Львівської політехніки, 2017. С.96–97.*
16. Кшавецький О. С., Штангеева Н. І. Про можливість використання декількох теплових насосів для підвищення енергоефективності деяких процесів тепломасообміну. Тези доповідей X-ї Міжнародної конференції «Проблеми теплофізики та теплоенергетики» (23–26 травня 2017 м. Київ, Україна), *Промышленная теплотехника*. 2017. Том 39, №7. С. 79–80.

Надійшла до редакції 03.01.2018

Кшавецький О.С. канд. физ.-мат наук, доцент

Черновицкий торгово-экономический институт
Киевского национального торгово-экономического университета,
Центральная площадь, 7, г. Чернівці, 58002, Украина
e-mail: kshevos@gmail.com

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЧАСТНОГО СЛУЧАЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАСООБМЕНА МЕЖДУ ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ И ПОДВИЖНЫМ ВЕЩЕСТВОМ, ЧАСТЬ 1

Получены математические выражения для оценки эффективности работы частного случая процесса теплообмена между подвижным веществом и тепловыми насосами с их теплообменными частями, при котором подвижное вещество (или по крайней мере часть этого подвижного вещества) приводят в тепловой контакт с теплопоглощающей и тепловыделяющей теплообменными частями по крайней мере двух реальных тепловых насосов. Библ. 16, Рис. 3.

Ключевые слова: тепловой насос, термоэлектрический тепловой насос, подвижное вещество, теплообмен, эффективность, энергоэффективность.

O.S. Kshevetsky PhD in Physics and Mathematics, assistant professor

Chernivtsi Institute of Trade and Economics of Kyiv National
University of Trade and Economics, 7, Tsentralna Square, Chernivtsi,
58002, Ukraine, e-mail: kshevos@gmail.com

ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF PARTIAL CASE OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES BETWEEN HEAT PUMPS AND MOVING SUBSTANCE, PART 1

Mathematical expressions have been obtained for estimation of the efficiency of partial case of heat and mass transfer between moving substance and heat pumps with their heat exchangers, whereby moving substance (or at least part of this moving substance) is brought into thermal contact with the heat absorbing and heat releasing heat exchangers of at least two real heat pumps. Bibl. 16, Fig. 3.

Key words: heat pump, thermoelectric heat pump, moving substance, heat and mass transfer, efficiency, energy efficiency.

References

1. Anatyчук L.I., Prybyla A.V. (2016). Comparative analysis of thermoelectric and compression heat pumps for individual air-conditioners. *J. Thermoelectricity*, 2, 33–42.
2. Bonin J. (2015). *Heat pump planning handbook*. London and New York: Routledge.
3. Anatyчук L.I., Prybyla A.V., Rozver Yu.Yu. (2017). Experimental study of thermoelectric liquid- liquid heat pump. *J. Thermoelectricity*, 3, 47–53.

4. Anatyshuk L.I., Prybyla A.V. (2017). Limiting possibilities of thermoelectric liquid-liquid heat pump. *J. Thermoelectricity*, 4, 49–54.
5. Anatyshuk L.I., Prybyla A.V. (2017). The influence of quality of heat exchangers on the properties of thermoelectric liquid-liquid heat pumps. *J. Thermoelectricity*, 5, 59–64.
6. Havryliuk M.V., Konstantynovych I.A. (2013). Termoelektrychnyi prylad dlia elektroforezu [Thermoelectric device for electrophoresis]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho Universitetu. Fyzyka. Elektronika – Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Physics. Electronics*, 3(1), 33–42 [in Ukrainian].
7. Lee HoSung. (2016). *Thermoelectrics: design and materials*. Chichester, UK; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
8. Alves-Filho O. (2015). *Heat pump dryers. Theory, design and industrial applications*. Boca Raton: CRC Press.
9. Akulich P.V. (2010). *Raschioty sushilnykh i teploobmennyykh ustanovok [Calculations of drying and heat exchange installations]*. Minsk: Belarus navuka [in Russian].
10. Snezhkin Yu.F., Chalaiev D.M., Shapar R.A., Dabizha N.A. (2012). Osobennosti ispolzovaniia teplovykh nasosov v processakh sushki [Peculiarities of using heat pumps in drying processes].” *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii “Teplonasosnyie tekhnologii v Ukraine. Sostoiannie i perspektivy vnedreniia” – Proc. of scientific and practical conference “Heat pump technologies in Ukraine. Current state and introduction prospects* (Ukraine, Kyiv, May 23–25, 2012). *Electronic journal ESCO*, 6. http://journal.esco.co.ua/2012_6/art365.pdf
11. Snezhkin Yu.F., Paziuk V.M., Petrova Zh.O., Chalaiev D.M. (2012). *Teplonasosna zernosusharka dlia nasinnevoho zerna [Heat pump grain dryer for seed grain]*. Kyiv: TOV Poligraph-Service [In Ukrainian].
12. *Patent US 9700835 B2*. Barnwell J.W. Thermoelectric compressed air and/or inert gas dryer.
13. *Patent US 4065936 A*. Fenton J.W., Lee J.S., Buist R.J. Counter flow thermoelectric heat pump with discrete sections.
14. Kshevetsky O.S. (2017). Otsinka energoefektyvnosti sposobu teplomasoobminu mizh rukhomoiu rehovynoiu i tepolvymy nasosamy [Estimation of energy efficiency of a method for heat and mass transfer between moving substance and heat pumps]. *Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Innovatsiini tekhnologii v hotelno-restorannomu biznesi” – Proc. of All-Ukrainian scientific and practical conference “Innovation technologies in hotel and restaurant business”* (Ukraine, Kyiv, March 22–23). Kyiv: NUFT [in Ukrainian].
15. Kshevetsky O.S. (2017). Pro mozhlyvist pidvyshchennia enerhoefektyvnosti procesiv teplomasoobminu, yaki peredbachaiiut nahrivannia ta okholodzhennia rukhomoi rehovyny [On the possibility of increasing the energy efficiency of heat and mass transfer processes which involve heating and cooling of moving substance]. *Khimichna tekhnologii ta inzheneriia: zbirnyk tez dopovidei Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - Chemical Technology and Engineering: collection of abstracts of International scientific and practical conference* (Ukraine, Lviv, June 26–30, 2017). Lviv: Lvivska Politekhnikha [in Ukrainian].
16. Kshevetsky O.S., Shtangeieva N.I. (2017). Pro mozhlyvist vykorystannia dekilkokh teplovykh nasosiv dlia pidvyshchennia enerhoefektyvnosti deiakykh procesiv teplomasoobminu [On the possibility of using several heat pumps for increasing energy efficiency of some heat and mass transfer processes]. *Tezy dopovidei X Mizhnarodnoi konferentsii “Problemy teplofizyky ta teploenerhetyky” – Abstracts of X International conference “Problems of thermophysics and heat power engineering”* (Ukraine, Kyiv, May 23–26, 2017). *Promyshlennaia teplotekhnika – Industrial Heat Engineering*, 39(7), 79–80 [in Ukrainian].

Submitted 03.01.2018