

УДК 621.1

**ПРО ДЕЯКІ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ
У ПРОЦЕСАХ, ЯКІ ПЕРЕДБАЧАЮТЬ РУХ РЕЧОВИНИ**

Кшевецький О.С., кандидат фізико-математичних наук

Чернівецький торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету, Центральна площа, 7, м. Чернівці, 58002, Україна

<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2019.10>

Здійснені теоретичні та експериментальні оціночні дослідження та аналіз деяких можливих процесів за участю рухомої речовини і теплових насосів, в яких принаймні частину рухомої речовини приводять у тепловий контакт з теплопоглинальною і тепловиділяючою теплообмінними частинами принаймні двох теплових насосів, зокрема, для випадку наявності конденсації водяної пари з рухомого повітря та/або випаровування води у рухоме повітря. Розглянуті деякі можливості підвищення енергоефективності цих процесів. Наведені короткий опис вказаних досліджень, а також опис деяких особливостей та приклади можливих застосувань цих процесів.

Осуществлены теоретические и экспериментальные оценочные исследования и анализ некоторых возможных процессов с участием подвижного вещества и тепловых насосов, в которых, по меньшей мере, часть подвижного вещества приводят в тепловой контакт с теплопоглощающей и тепловыделяющей теплообменными частями, по меньшей мере, двух тепловых насосов, в частности, для случая наличия конденсации водяного пара из подвижного воздуха и/или испарения воды в движущийся воздух. Рассмотрены некоторые возможности повышения энергоэффективности этих процессов. Приведены краткое описание этих исследований, а также описание некоторых особенностей и примеры возможных применений этих процессов.

Implemented theoretical and experimental evaluation studies and analysis of some possible processes involving mobile substance and heat pumps, in which at least part of the mobile substance is brought into thermal contact with the heat-absorbing and heat-releasing heat exchange parts of at least two heat pumps, in particular, for the case of condensation of water vapor from moving air and/or evaporation of water into moving air. Some possibilities of improving the energy efficiency of these processes are considered. A brief description of these studies, as well as a description of some features and examples of possible applications of these processes are given.

Бібл. 15, рис. 3.

Ключові слова: теплові насоси, рухома речовина, компресійні теплові насоси, термоелектричні теплові насоси, ефективність, енергоефективність, конденсація, випаровування.

ТН – тепловий/і насос/и;

РР – рухома речовина (речовина, яка рухається);

ТЧ – теплообмінна/і частина/и;

ТК – тепловий/і контакт/и.

Вступ

Відомо, що для нагрівання та/або охолодження рухомої речовини (речовини, яка рухається; РР) чи декількох окремих РР, для конденсації речовини з РР, для випаровування речовини у РР, а також для зменшення енерговитрат, які для цього необхідні можуть використовувати теплові насоси (ТН) [1 – 13]. В деяких випадках можливе збільшення енергоефективності вказаних процесів шляхом збільшення кількості ТН, які при цьому використовують (зокрема, за умови незмінності корисної роботи процесу). Такі випадки описані, наприклад, в [7] (для випадку використання двох окремих РР) та в [11] (для випадку використання однієї РР).

Метою роботи є оціночні дослідження деяких можливих процесів, які передбачають використання РР та ТН з їх теплообмінними частинами (ТЧ), в яких принаймні частину РР приводять у тепловий контакт (ТК) з теплопоглинальною і тепловиділяючою ТЧ принаймні двох ТН. Далі по тексту для того, щоб вка-

зати на ці процеси (або на відповідний цим процесам спосіб тепломасообміну між РР і ТН з їх ТЧ) будемо використовувати словосполучення «досліджувані процеси» або «досліджуваний спосіб тепломасообміну». Для деяких із досліджуваних процесів можливе збільшення їх енергоефективності завдяки збільшенню кількості ТН, які при цьому використовуються (зокрема, за умови незмінності корисної роботи процесу) [9 – 13]. Отримання висновків стосовно конкретних практичних застосувань досліджуваних процесів не є метою цієї роботи, а лише оцінка деяких принципових можливостей реалізації цих процесів.

Зокрема, **метою роботи** є оцінка ефективності (в першу чергу енергоефективності) досліджуваних процесів, які, зокрема, передбачають конденсацію речовини з РР та/або випаровування речовини у РР (наприклад, конденсацію водяної пари з вологого рухомого газу та/або випаровування води з соленої води або з іншої речовини, яку зневоднюють).

Загальний опис досліджуваних процесів

В загальному випадку у досліджуваних процесах процеси руху РР та теплообміну РР і ТН можуть супроводжуватися різними іншими процесами, зокрема, за участю і інших ТН та РР, які можуть бути пов'язані з довільним/довільними ТН та/або з РР на довільному/довільних інтервали/інтервалах її руху. Наприклад, крім процесу руху РР і її теплообміну з ТН можливі різні фізичні та/або хімічні процеси (наприклад, теплообмін РР та ТН з навколишнім середовищем; зміна тиску РР; зміна параметрів потоку РР; фазові переходи принаймні частини РР, зокрема, зміна агрегатного стану принаймні частини РР; масообмін РР з навколишнім середовищем).

У досліджуваних процесах можуть використовуватися різні РР, що здатні рухатися по відношенню до ТН (або у досліджуваних процесах можуть рухатися ТН по відношенню до деякої речовини, яку при цьому можна розглядати як принаймні частину РР) і при цьому вступати в ТК з ТЧ ТН, наприклад, газоподібні речовини, рідини, сипкі речовини, предмети на рухомому конвеєрі тощо. Іншими словами, у досліджуваних процесах у процесі взаємного руху РР та ТН мають місце ТК принаймні частини РР з обома теплопоглинальною

і тепловиділяючою ТЧ принаймні двох окремо взятих ТН. При цьому РР у процесі руху може зазнавати певних фізичних і хімічних змін, наприклад, змінювати свою абсолютну вологість завдяки конденсації і поглинанню вологи або частина цієї речовини може конденсуватися з утворенням твердої фази, або частина цієї речовини може змінити свій іонний склад. Також РР може вступати в різні фізичні і хімічні взаємодії з навколишнім для неї середовищем, наприклад, обмінюватися електромагнітним випромінюванням або вступати в деякі хімічні реакції з навколишнім для неї середовищем.

У досліджуваних процесах потік РР може створюватися та формуватися різними способами, з використанням різних технічних засобів (наприклад, вентиляторів, каналів для руху РР, розгалужувачів, шиберів). Величина і напрям потоку РР можуть бути як постійними, так і можуть змінюватися. У досліджуваних процесах потік РР може мати різне спрямування. РР може рухатися як по розімкненому контуру, так і по замкненому контуру. Потік РР може бути як не розгалуженим, так і розгалуженим. Деякі відповідні приклади наведені на рис. 1. ТН на цьому рисунку не відображені.

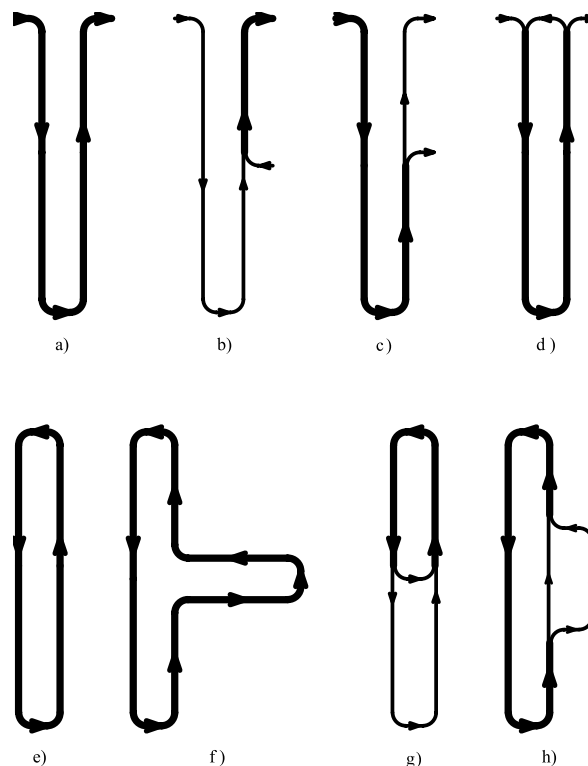


Рис. 1. Схеми прикладів можливих спрямувань потоку РР у досліджуваних процесах: потік РР позначений лініями (більша товщина ліній відповідає більшій величині потоку РР); можливий напрям руху РР вказаний стрілками.

У контексті цієї роботи ТН – це такі функціональні елементи, які здатні виконувати функції холодильних машин чи теплових насосів, тобто завдяки використанню того чи іншого виду енергії (наприклад, електричної, механічної, теплової) поглинати теплову енергію їх теплопоглинальними ТЧ і виділяти теплову енергію їх тепловиділяючими ТЧ.

У досліджуваних процесах можуть використовуватися різні ТН (наприклад, компресійні на основі одного компресора; компресійні на основі декількох компресорів; термоелектричні; каскадні; ТН, основним призначенням яких є нагрівання; ТН, основним призначенням яких є охолодження; ТН, основним призначенням або корисною роботою яких є охолодження і нагрівання; ТН, які дозволяють змінювати величину і напрям теплового потоку, який через них протікає; ті чи інші засоби, пристрої, системи, елементи, які здатні виконувати вищевказані функції). Як варіант, в деяких окремо взятих досліджуваних процесах можуть використовуватися ТН різних типів (наприклад, частина ТН можуть бути компресійними, а інша частина – термоелектричними).

У кожного окремо взятого ТН температура його теплопоглинальної ТЧ може мати значення нижче, вище або рівне значенню температури його тепловиділяючої ТЧ.

ТН можуть мати різні ТЧ (теплообмінники; наприклад, радіатори). Як варіант, окремо взяті ТЧ ТН можуть містити відокремлені (складатися з відокремлених) в тому чи іншому відповідному розумінні частини (іншими словами, наприклад, той чи інший окремо взятий ТН

може мати в якомусь розумінні декілька теплопоглинальних та/або декілька тепловиділяючих теплообмінників, наприклад, окремо взятий компресійний ТН може мати два конденсатора і один випарник).

У досліджуваних процесах величина і напрям теплового потоку через кожний окремо взятий ТН можуть бути постійними та/або змінними.

Приклад (частинний випадок) досліджуваних процесів [11] схематично проілюстрований на рис. 2. Кожен ТН має по дві ТЧ (1-у та 2-у), які на рис. 2 не відображені (одна з цих ТЧ є теплопоглинальною, а інша – тепловиділяючою). РР згідно із схемою рис. 2 рухається таким чином, що почергово мають місце її ТК з усіма ТЧ всіх ТН.

Короткий опис оціночних розрахунків та експериментальних досліджень

Методика розрахунків та розрахунки. Розроблена методика оціночних розрахунків ефективності (зокрема, енергоефективності), яка залежить від багатьох факторів, досліджуваних процесів, які, зокрема, передбачають конденсацію речовини з РР та/або випаровування речовини у РР. За основу для цієї методики взята методика розрахунків, яка описана в роботах [11, 12]. З використанням вказаної розробленої методики здійснені деякі оціночні розрахунки ефективності (зокрема, енергоефективності), яка залежить від багатьох факторів, досліджуваних процесів, які, зокрема, передбачають конденсацію водяної пари з вологого рухомого повітря (РР) та/або випаровування води у рухоме повітря (РР). У вказаних розрахунках враховувалися,

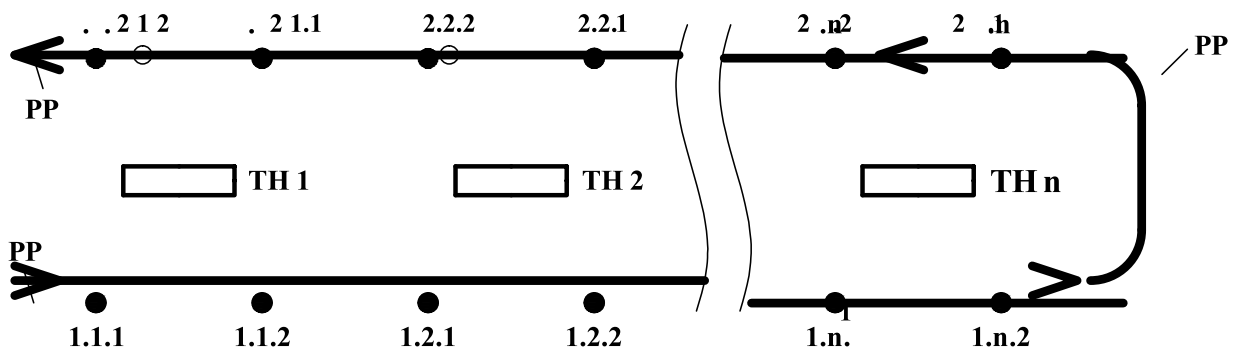


Рис. 2. Спрощена схема прикладу досліджуваних процесів: напрям руху РР – вказаний стрілками; ТН 1, ..., ТН n – ТН загальною кількістю n; 1.1.1, 1.1.2, ..., 1.n.2, 2.n.1, ..., 2.1.2 – послідовні положення РР у процесі її руху (1.1.1 – безпосередньо перед ТК РР з 1-ю ТЧ ТН 1, 1.1.2 – одразу ж після ТК РР з 1-ю ТЧ ТН 1, ..., 1.n.2 – одразу ж після ТК РР з 1-ю ТЧ ТН n, 2.n.1 – безпосередньо перед ТК РР з 2-ю ТЧ ТН n, 2.n.2 – одразу ж після ТК РР з 2-ю ТЧ ТН n, ..., 2.1.2 – одразу ж після ТК РР з 2-ю ТЧ ТН 1).

зокрема, виділення та/або поглинання теплової енергії в результаті конденсації водяної пари з РР та/або випаровування води у РР, можлива зміна теплоємності РР, можлива зміна величини потоку РР. Ці розрахунки здійснені для випадку використання у досліджуваному способі тепломасообміну термоелектричних ТН та для випадку використання у досліджуваному способі тепломасообміну компресійних ТН. За даними вказаних розрахунків в деяких випадках при збільшенні кількості ТН енергоефективність процесу зростає більше ніж в 5 разів.

Також здійснені оціночні розрахунки ефективності (зокрема, енергоефективності), яка залежить від багатьох факторів, досліджуваних процесів, які, зокрема, передбачають використання ТН з різними властивостями в одному процесі, наприклад, ТН різних типів (наприклад, компресійних та термоелектричних). Наприклад, за даними цих розрахунків енергоефективність процесу може залежати від порядку розміщення різних за властивостями ТН на відповідній схемі.

Експериментальні дослідження. В експериментальних дослідженнях використовувалися повітря як РР і термоелектричні ТН [14]. Вимірювання температури та вологості РР здійснювалися датчиками TMP116, TMP117, LMT70, HDC2010 та реєструючими комп'ютеризованими системами. Наприклад, шуми та дрейф результатів вимірювань датчиками TMP116 (за результатами випробувань автора) були не більшими 0,0078 °C на протязі декількох годин вимірювань. Вимірювання електричних величин здійснювалися з використанням реєструючих мультиметрів MS8218.

Здійснені експериментальні дослідження за відсутності конденсації та випаровування з використанням одного та двох термоелектричних ТН згідно із схемою рис. 2 в режимі охолодження РР у вхідному потоці (між положеннями 1.1.1 і 1.п.2 на рис. 2) всіма ТН [10]. У цих експериментах використовувалися термоелектричні модулі Пельтьє TEC1-12706, а як ТЧ використовувалися радіатори ARCTIC Alpine 11 Passive. Як приклад, максимальне зменшення температури рухомого повітря (різниця температур між положеннями 1.1.1 і 1.п.2 на рис. 2) в обох випадках було приблизно однаковим і мало значення приблизно 2 °C. При цьому енергоефективність процесу при використанні двох термоелектричних ТН виявилася приблизно в 2 рази вищою у порівнянні з випадком використання лише одного термоелектричного ТН (при значеннях електричного струму, який протікав через термоелектричні модулі в інтервалі від 0,25 А до 1 А). Ці результати корелюють, зокрема, з деякими результатами розрахунків, які

наведені в [12]. Теплоізоляція експериментальної установки від навколишнього середовища не здійснювалася.

Також здійснені експериментальні дослідження за наявності конденсації водяної пари з РР та/або випаровування води у РР з використанням до шести термоелектричних ТН згідно із схемою рис. 2. Енергоефективність процесу (який у цьому випадку, зокрема, крім зміни температури РР включав також і конденсацію водяної пари з РР та/або випаровування води у РР) при збільшенні кількості термоелектричних ТН (які при цьому використовувалися) зростала.

Деякі можливості підвищення енергоефективності досліджуваних процесів

В деяких випадках енергоефективність досліджуваних процесів можна підвищити з використанням спеціальних ТК ТН та/або РР з навколишнім середовищем. Спеціальні ТК ТН та/або РР з навколишнім середовищем можуть створюватися і для інших цілей. Схема відповідного прикладу досліджуваних процесів наведена на рис. 3.

У прикладі досліджуваних процесів, схема якого наведена на рис. 3 ТЧ 1 ТН ТН 1.1, ..., ТН 1.п та ТН 3.1, ..., ТН 3.п мають спеціальні ТК з навколишнім середовищем. РР приводять у ТК тільки з ТЧ 2 цих же ТН. Також РР приводять у ТК з ТЧ 1 та ТЧ 2 ТН ТН 2.1, ..., ТН 2.п.

Також енергоефективність досліджуваних процесів можна підвищити з використанням, наприклад, схеми рис. 1 б), або в деяких випадках з використанням рекуператора [2] / рекуператорів.

Децю про технічну реалізацію досліджуваного способу тепломасообміну

Технічна реалізація досліджуваного способу тепломасообміну з використанням декількох ТН може бути дещо ускладненою, особливо при великій кількості ТН. Вирішення цього питання може бути пов'язане із розробкою та створенням спеціалізованих теплонасосних модулів, які містять відокремлені з точки зору можливих теплових потоків (в тепловому відношенні) ТН (теплонасосні елементи, термоелементи) [12, 15]. Ці спеціалізовані теплонасосні модулі можуть містити різні теплонасосні елементи, зокрема, теплонасосні елементи різних типів (наприклад, компресійні теплонасосні елементи та термоелектричні теплонасосні елементи на основі термоелектричних термоелементів, які поєднані в одному спеціалізованому теплонасосному модулі). Теплонасосні модулі, які містять відокремлені з точки зору можливих теплових потоків (в тепловому відношенні) ТН (теплонасосні елементи, термоелементи) крім використання у досліджуваному способі тепломасообміну можуть мати і інші застосування [12, 15].

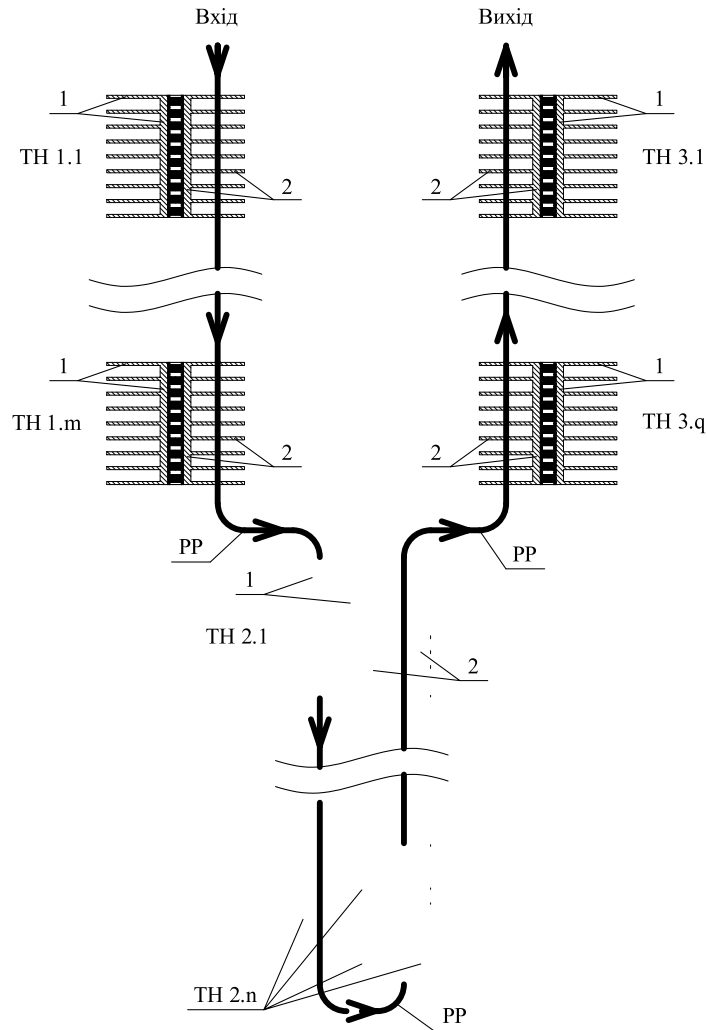


Рис. 3. Спрощена схема прикладу досліджуваних процесів, в якому деякі ТН мають спеціальні ТК з навколишнім середовищем: напрям руху PP – вказаний стрілками; ТН 1.1, ..., ТН 1.m – ТН загальною кількістю m; ТН 2.1, ..., ТН 1.n – принаймні два ТН загальною кількістю n; ТН 3.1, ..., ТН 3.q – ТН загальною кількістю q; 1 та 2 – ТЧ (одна з них є теплопоглинальною, а інша – тепловиділяючою; наприклад, радіатори) відповідних ТН.

Приклади можливих (принципово) застосувань

досліджуваного способу тепломасообміну

Досліджуваний спосіб тепломасообміну принципово може бути використаний, наприклад, в осушувачах повітря, в пристроях для отримання води з повітря, в процесах сушіння різних речовин, в опріснювачах води, в деяких технологічних процесах, теоретично можливо для зрідження газів повітря, для створення мікроклімату в окремих об'ємах (наприклад, в приміщенні, камері сушіння пристрою для сушіння, салоні чи іншому об'ємі транспортного засобу, об'ємі для зберігання харчових продуктів), для зміни фізичних параметрів речовин в різних застосуваннях тощо [10].

Висновки

1. На основі результатів відповідних теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити висновок про принципову можливість підвищення енергоефективності деяких досліджуваних процесів при збільшенні (у разі збільшення) кількості ТН, які використовуються у відповідних схемах.
2. В той же час для прийняття рішень стосовно практичних застосувань досліджуваного способу тепломасообміну можуть знадобитися подальші теоретичні та/або експериментальні дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Снежкін Ю.Ф., Чалаєв Д.М., Дабіжа Н.О.* Аналіз енергетичних показників процесу теплонасосного сушіння. *Промышленная теплотехника*. 2017. Том 39, №3. С.47–52.
2. *Снежкін Ю. Ф., Пазюк В. М., Петрова Ж. О., Чалаєв Д. М.* Теплонасосна зерносушарка для на-сінневого зерна. Київ, ТОВ «Поліграф-Сервіс», 2012. 154 с.
3. *Anatychuk L.I., Prybyla A.V.* (2017). On the coefficient of performance of thermoelectric liquid-liquid heat pumps with regard to energy loss for heat carrier transfer. *J. Thermoelectricity*, 6, 34–40.
4. *Bonin J.* (2015). *Heat pump planning handbook*. London and New York: Routledge.
5. *Alves-Filho O.* *Heat Pump Dryers. Theory, Design and Industrial Applications*. Boca Raton, CRC Press, 2015. 345 p.
6. *Barnwell J.W.* Patent US 9700835 B2. Thermoelectric compressed air and/or inert gas dryer.
7. *Fenton J.W., Lee J.S., Buist R.J.* Patent US 4065936 A. Counter flow thermoelectric heat pump with discrete sections.
8. *Гаврилюк М.В., Константинович І.А.* Термоелектричний прилад для електрофорезу. Науковий вісник Чернівецького університету. 2013. Том 3, випуск 1. Фізика. Електроніка. С.33–42.
9. *Кшевецький О.С.* Патент UA №99382, МПК F26B 9/06, D06F 60/00 на корисну модель «Пристрій для конвективного сушіння речовини», 25.05.2015, Бюл.№10.
10. *Кшевецький О.* 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 року, Україна, м. Львів. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017, С. 96-97.
11. *Kshevetsky O.S.* (2017). Estimation of the efficiency of partial case of heat and mass transfer processes between heat pumps and moving substance, part 1. *J. Thermoelectricity*, №6, 39–55.
12. *Kshevetsky O.S.* (2018). Estimation of the efficiency of partial case of heat and mass transfer processes between heat pumps and moving substance, part 2. *J. Thermoelectricity*, №2, 56–68.
13. *Кшевецький О.С.* Патент UA №118972, МПК (2006) F26B 9/06 (2006.01), B01J 8/00, F26B 9/00 на винахід «Спосіб тепломасообміну між рухомою речовиною і тепловими насосами», 10.04.2019, Бюл.№7.
14. *Анатичук Л.І., Прибила А.В.* Порівняльний аналіз термоелектричних та компресійних теплових насосів для індивідуальних кондиціонерів. *Термоелектрика*. 2016. №2. С.33–42.
15. *Кшевецький О.С.* Патент UA №131808, МПК (2018.01) H01L 35/00, H01L 37/00, F25B 21/02 (2006.01) на корисну модель «Термоелектричний модуль», 25.01.2019, Бюл.№2.

ABOUT SOME OF THE POSSIBILITIES OF USING HEAT PUMPS IN PROCESSES THAT INVOLVE THE MOVEMENT OF SUBSTANCE

Kshevetsky O.S.

Chernivtsi Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics, Tsentralna Square 7, Chernivtsi, 58002, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2019.10>

Implemented theoretical and experimental evaluation studies and analysis of some possible processes involving mobile substance and heat pumps, in which at least part of the mobile substance is brought into thermal contact with the heat-absorbing and heat-releasing heat exchange parts of at least two heat pumps, in particular, for the case of condensation of water vapor from moving air and/or evaporation of water into moving air. Some possibilities of improving the energy efficiency of these processes are considered. A brief description of these studies, as well as a description of some features and examples of possible applications of these processes are given.

On the basis of the results of these theoretical and experimental studies it can be concluded that there is a fundamental possibility of increasing the energy efficiency of some of the specified processes, in particular, for the case of condensation of water vapor from moving air and/or evaporation of water into moving air using heat pumps in accordance, for example, with the scheme of Fig. 2 while increasing (in case of increase) in the amount of heat pumps (for example, which are used in the scheme of Fig. 2).

References 15, figures 3.

Keywords: heat pumps, moving substance, compression heat pumps, thermoelectric heat pumps, efficiency, energy efficiency, condensation, evaporation.

1. *Snezhkin Yu.F., Chalaev D.M., Dabizha N.O.* (2017). Analiz energetychnykh pokaznykiv protsesu teplonasosnoho sushinnia [Analysis of energy performance of heat pump drying]. *Promyshlennaia teplotekhnika – Industrial Heat Engineering*, 39, 47–52 [in Ukrainian].

2. *Snezhkin Yu.F., Paziuk V.M., Petrova Zh.O., Chalaev D.M.* (2012). Teplonasosna zernosusharka dlia nasinnevoho zerna [Heat pump grain dryer for seed grain]. Kyiv: TOV Poligraph-Service [in Ukrainian].

3. *Anatyshuk L.I., Prybyla A.V.* (2017). On the coefficient of performance of thermoelectric liquid-liquid heat pumps with regard to energy loss for heat carrier transfer. *J. Thermoelectricity*, 6, 34–40.

4. *Bonin J.* (2015). Heat pump planning handbook. London and New York: Routledge.

5. *Alves-Filho O.* (2015). Heat pump dryers. Theory, design and industrial applications. Boca Raton : CRC Press.

6. *Barnwell J.W.* Patent US 9700835 B2. Thermoelectric compressed air and/or inert gas dryer.

7. *Fenton J.W., Lee J.S., Buist R.J.* Patent US 4065936 A. Counter flow thermoelectric heat pump with discrete sections.

8. *Havryliuk M.V., Konstantynovych I.A.* (2013). Termoelektrychnyi prylad dlia elektroforezu [Thermoelectric device for electrophoresis]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho Universitetu. Fizyka. Elektronika – Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Physics. Electronics*, 3(1), 33–42 [in Ukrainian].

9. *Kshevetsky O.S.* Patent UA for utility model №99382. A device for convective drying of substance. 25.05.2015, bul. № 10 [in Ukrainian].

10. *Kshevetsky O.S.* (2017). Pro mozhlyvist pidvyshchennia enerhoefektyvnosti procesiv teplomasoobminu, yaki peredbachaiut nahrivannia ta okholodzhennia rukhomoi rechovyny [On the possibility of increasing the energy efficiency of heat and mass transfer processes which involve heating and cooling of moving substance]. *Khimichna tekhnologiya 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 Politekhnika [in Ukrainian].

11. *Kshevetsky O.S.* (2017). Estimation of the efficiency of partial case of heat and mass transfer processes between heat pumps and moving substance, part 1. *J. Thermoelectricity*, №6, 39–55.

12. *Kshevetsky O.S.* (2018). Estimation of the efficiency of partial case of heat and mass transfer processes between heat pumps and moving substance, part 2. *J. Thermoelectricity*, №2, 56–68.

13. *Kshevetsky O.S.* Patent UA for invention №118972. A method of heat and mass transfer between a moving substance and heat pumps. 10.04.2019, bul. № 7 [in Ukrainian].

14. *Anatyshuk L.I., Prybyla A.V.* (2016). Comparative analysis of thermoelectric and compression heat pumps for individual air-conditioners. *J. Thermoelectricity*, 2, 33–42.

15. *Kshevetsky O.S.* Patent UA for utility model №131808. Thermoelectric module. 25.01.2019, bul. № 2 [in Ukrainian].

Отримано 20.04.2019

Received 20.04.2019