

2. Лебедев М.М. Полігони твердих побутових відходів: навч. посібник / М.М Лебедев, М.М Сергієнко. – К.: Логос, 2014. – 252 с.
3. Лебедев Н.Н. Обращение с отходами / Н.Н. Лебедев., А.Д. Есипенко // Санитарная очистка населенных пунктов.–Х.: ГРИФ. – 2010. – 354 с.
4. Гриценко А.В. Технологические основы промышленной переработки отходов мегаполиса. / А.В. Гриценко, Н.П. Горох.–Х.: ХНАДУ, 2005. – 340 с.
5. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов / Гомонай М.В.– М.: МГУЛ, 2006.– 167 с.

*Стаття надійшла до редакції 30.03.2015 р.*

УДК 620.9

**К. К. Ткачук**, д.т.н., доц. ( НТУУ «КПІ»)

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В УКРАЇНІ**

---

**К. К. Tkachuk** (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

### **THE PROSPECT OF HEAT PUMPS USING IN UKRAINE**

*Проведено огляд теплових насосів, що використовують у світовій практиці. Досліджено стан ринку теплових насосів в світі та Україні, а також фактори, які уповільнюють їх впровадження, типи теплових насосів, схеми і принципу дії, було розглянуто джерела термальної енергії теплонасосних установок. Також показано переваги теплонасосних установок над природними джерелами енергії та перспективи їх використання в Україні*

**Ключові слова:** теплові насоси, теплові джерела. екологічна безпека, енергозбереження, перспективи використання.

*Проведен обзор тепловых насосов, использующихся в мировой практике. Исследовано состояние рынка тепловых насосов в мире и Украине, а также факторы, которые замедляют их внедрения, типы тепловых насосов, схемы и принцип действия, были рассмотрены источники термальной энергии теплонасосных. Также показаны преимущества теплонасосных установок над природными источниками энергии и перспективы их использования в Украине.*

**Ключевые слова:** тепловые насосы, тепловые источники. экологическая безопасность, энергосбережение, перспективы использования.

*The review of heat pumps using in world practice is done. The market condition of heat pumps in the world and Ukraine is investigated, factors which slow down their introduction are resulted, types of heat pumps, the scheme and the action principle, thermal energy sources of heat pump installations are considered. Also advantages of heat pump installations before natural energy sources and prospects of their use in Ukraine are shown.*

**Keywords:** heat pumps, heat source, ecological safety, energy saving, prospects of using.

**Вступ.** У наш час внаслідок значного подорожчання та невідновлюваності джерел природного газу, що традиційно використовується для опалення промислових та житлових приміщень, в Україні особливо гостро виникла проблема енергозбереження й пошуку ефективних, альтернативних джерел теплової енергії. Одним з таких джерел є використання геотермальної й сонячної енергії за допомогою теплових насосів (ТН). Цей метод екологічно безпечний і досить дешевий. Він уже багато років використовується для опалення будівель різного призначення і гарячого водопостачання в ряді країн Західної Європи, США, Японії та інших [1-2,12].

Більшості населення України поки що малознайоме поняття «тепловий насос», але ми постійно їх використовуємо. Так, саме ТН працюють у звичних нам холодильниках та кондиціонерах. Ці пристрої є настільки надійними, зручними та звичними, що ми навіть не звертаємо увагу на їх роботу. Взагалі використання теплонасосних технологій для теплопостачання досить широко розповсюджене в світі, входить практично до складу всіх енергозберігаючих програм, які реалізуються за кордоном. В розвитку теплонасосних установок (ТНУ) можна виділити 4 основні періоди. В 1927 – 1946 рр. відбувалося створення експериментальних та, в більшості, неекономічних установок. В 1947 – 1962 рр. проводилась розробка, масове виробництво та широке впровадження реверсивних ТН – цілорічних кондиціонерів. Далі (1963 – 1971 рр.) спостерігався різкий спад попиту на ТН, в Європі вони навіть стали майже забутими. 1972 рік характеризується відродження ТН, різким зростанням досліджень по вдосконаленню їх конструкцій, впровадженню в різні галузі споживання [3-4,6]. Сьогодні в світі експлуатується більше 130 млн. ТНУ різного призначення. Загальний об'єм проданих ТН за кордоном складає 125 млрд. доларів США.

Розподіл ТНУ по галузях застосування приведений на рис. 1 [4].

За даними Міжнародного Енергетичного Агентства, до 2020 року в розвинутих країнах частка опалення і гарячого водопостачання за рахунок ТН буде складати 75% [1-2,7].



Рис.1. Розподіл теплових насосів по галузях застосування

У зв'язку з тим, що економічно доступні ресурси органічного палива в світі вичерпуються, були терміново розроблені державні програми економії енергоресурсів. Вони передбачають збільшення капіталовкладень на створення

і впровадження ТНУ. Адже ТНУ мають ряд переваг порівняно з традиційними джерелами енергії. А саме: істотне зниження витрат на опалення й кондиціонування; відсутність у потребі газу чи іншого займистого носія; використання поновлюваних джерел енергії; екологічна безпека (відсутність у теплових насосах процесу горіння приводить до зменшення забруднення повітряного басейну); забезпечення стабільної температури протягом усього року, універсальність ТН як генераторів теплоти (вони можуть використовуватись як різні підігрівники; підігрівники та охолодники одночасно або послідовно, наприклад, для нагріву повітря приміщень взимку і охолодження влітку) [4,8-9,12].

Щодо України, то в “Концепції розвитку паливно-енергетичного комплексу України на 2006-2030 роки” прогнозується, що виробництво теплової енергії за рахунок теплової енергії до 2030 року буде еквівалентне використанню 20 млн. т у.п в рік. На даний час працюють лише одиничні системи опалення, що використовують теплонасосні технології. І, хоча дослідження в цій галузі проводяться давно, масштаби і галузі найефективнішого застосування ТНУ не визначені, а роботи, пов’язані з розробкою і впровадженням ТНУ в промислову енергетику, перебувають на стадії окремих досліджень і практичних застосувань. Це пов’язано з рядом причин, таких, як відсутність демонстраційних працюючих ТНУ, широкої реклами їх переваг, незначне поширення систем кондиціонування повітря та електрообігріву, відсутність низькотемпературних систем опалення в децентралізованому теплопостачанні, серійного виробництва ТН, відсутність державної підтримки при розробці, дослідженнях і впровадженні. В той же час у всіх країнах світу впровадження теплонасосних технологій відбувається за значної державної підтримки у вигляді введення двохставочного тарифу на електроенергію, виділення субсидій при купівлі теплонасосної техніки, податкових чи кредитних пільг [2,4,7].

**Метою роботи** є дослідження типів теплових насосів, схем і принципів їх дії, переваг теплонасосних установок над природними джерелами енергії, та перспективи їх використання в Україні.

**Результати дослідження.** Тепловий насос – це холодильна машина, що здійснює зворотній термодинамічний цикл, в якому робоче тіло (холодоагент) відбирає тепло від середовища з низькою температурою і передає його теплоносію з більш високою температурою за рахунок затраченої в циклі енергії (переважно у вигляді роботи). ТН широко застосовуються в децентралізованих системах опалення та вентиляції будинків завдяки своїй високій ефективності, надійності та екологічній чистоті.

За рахунок того, що ТН не виробляє, а “перекачує” низькотемпературне тепло на вищий температурний рівень, він може постачати у 3 - 10 разів більше теплової енергії, ніж спожитої електричної. ТН можна класифікувати за наступними ознаками: за принципом дії; за схемою застосування; за джерелами низькотемпературної теплоти (ДНТ), що використовуються; за поєднанням

ДНТ з середовищем, яке нагрівається у ТН; за джерелом витрачуваної енергії [4].

За принципом дії ТН бувають парокомпресійні, абсорбційні та термоелектричні. Схеми застосування є моновалентні (лише ТН) та бівалентні (ТН у сполученні з додатковим джерелом теплоти).

Джерелом низькотемпературної теплової енергії ТНУ може бути тепло, як природного, так і штучного походження. У якості природних джерел можуть виступати: тепло землі (грунту); підземні води (грунтові, артезіанські, термальні); зовнішнє повітря; поверхневі води (ріка, став, море); сонячна енергія. Як штучні джерела низькотемпературного тепла використовують: вентиляційне повітря; каналізаційні стоки (стічні води); очищену воду станції аерації; промислові викиди; нагріті продукти технологічних процесів промисловості тощо [3-4,9]. В наш час найбільш використовуваними джерелами низькотемпературного тепла є вода, атмосферне повітря, ґрунт і водяна пара (рис.2) [4].

Найважливішим критерієм, за яким проводять класифікацію ТНУ, є комбінація джерела низькотемпературного тепла та теплоносія системи розподілу тепла (чи холоду) . У залежності від поєднання цих параметрів ТНУ бувають:

- типу “повітря-повітря” – як зовнішнім джерелом, так і теплоносієм всередині будинку є повітря;
- типу “вода-повітря” – джерелом низькопотенційного тепла є вода;
- типу “ґрунт-повітря” – джерелом тепла виступає тепло ґрунту , а система розподілу тепла у приміщенні повітряна;
- типу “повітря-вода” – такі системи досить часто застосовуються, коли в будинку облаштовується водяна система опалення;
- типу “вода-вода” – зовнішнім джерелом і теплоносієм всередині будинку є вода;
- типу “ґрунт-вода” – ґрунтова теплонасосна система з водяною системою опалення всередині будинку [4,8].



Рис. 2. Розподіл теплових насосів за джерелами низькотемпературної енергії

За джерелом витрачуваної енергії розрізняють ТН, які використовують для роботи електроенергію, паливо того чи іншого виду, вторинні енергетичні ресурси [4].

Принципова схема ТН зображена на рис.3[10].

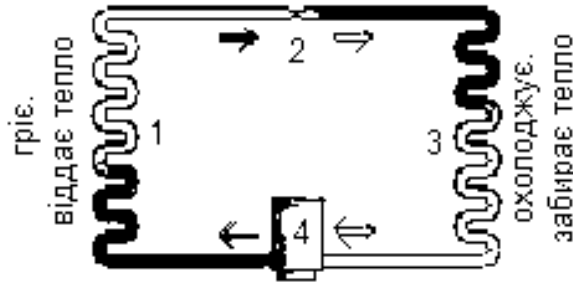


Рис. 3. Принципова схема теплового насосу:

1 – гарячий теплообмінник; 2 – розширювач; 3 – холодний теплообмінник; 4 – компресор.

Відповідно до зображеного принципу дії ТН бере теплову енергію з одного місця, переносить (перекачує) її та віддає в іншому місці. Наприклад, у звичайному холодильнику тепло відбирається морозильною камерою з холодильника та викидається в приміщення кухні, при цьому задня поверхня холодильника нагрівається.

При опаленні геотермальними теплонасосами зовнішній блок пристрою ховається в ґрунт або занурюється у водойму поряд з будинком. При цьому, незалежно від температури повітря на вулиці, зовнішній блок залишається вільним від льоду, й ефективність теплопередачі залишається високою. Принцип роботи геотермальних теплонасосів ґрунтується на відборі пристроєм тепла з ґрунту або води та передачі зібраного тепла системі опалення будинку. Для збору тепла незамерзаюча рідина тече по трубі, що розташована у ґрунті або водоймі біля будинку, і надходить до ТН. Теплонасос, подібно холодильнику, охолоджує незамерзаючу рідину та відбирає від неї тепло, при цьому рідина охолоджується орієнтовно на 5°C. Далі рідина повертається в трубу, відновлює свою температуру і знову надходить до теплонасосу. Відібране насосом тепло передається системі опалення та/або системі підігріву гарячої води[10].

Технічно є можливість і відбирати тепло у підземної води. У цьому випадку підземна вода з температурою біля 10 С подається зі свердловини до теплонасосу, який охолоджує воду до 1...2 С і повертає воду під землю.

Тепловою енергією володіє будь-яке середовище, що має температуру вище за -273°C. Тобто ТН може відібрати тепло у землі, водойми, льоду, підземної скелі, води тощо [5-6,10].

У кліматичних умовах України для опалення будинку енергія переважно береться з ґрунту (або водойми). Якщо ж будинок, наприклад, влітку, потрібно охолоджувати, то відбувається зворотній процес: тепло забирається з будинку та скидається у землю ( водойму). Той самий ТН може працювати взимку на опалення, а влітку - на охолодження будинку. Вочевидь, що ТН одночасно може виконувати й інші супутні функції - нагрівати воду для гарячого водопостачання, кондиціонувати, підігрівати басейн, охолоджувати, наприклад,

льодовий каток, підігрівати дахи й доріжки, щоб звільнити їх від льоду, тощо. Тобто цей єдиний пристрій може взяти на себе всі функції по тепло - холодопостачанню окремого будинку або комплексу будівель [7].

Обмін теплом із навколишнім середовищем геотермальні ТН здійснюють такими основними способами.

Насос з відкритим циклом: з підземного потоку (пливуна) забирається чиста вода, подається до розташованого в будинку ТН, де вона віддає/забирає тепло у ТН і повертається до підземного потоку на деякій відстані від місця забору. Перевагою такого способу є можливість одночасного використання підземної води для водопостачання будинку. Такі системи є дуже ефективними, адже температура підземної води є відносно високою і цілорічно стабільною. Використання підземної води не шкодить ґрунтовим водам, не змінює їх рівня у водному горизонті, оскільки відкриту систему можна розглядати як сполучені посудини, де вода, що відбирається з однієї свердловини, повертається на своє місце через другу свердловину. У відповідності з нормативами, споруджені свердловини забезпечують безпечну для оточуючої природи та стабільну роботу системи опалення.

Насос з замкненим циклом і водорозташованим теплообмінником: спеціальна рідина (теплоносій) прокачується по колекторах (трубах), що знаходяться у водоймі, та віддає або забирає тепло у водойми. Будинки доцільно опалювати енергією відкритої водойми в тому випадку, якщо вони знаходяться від водойми на відстані ближче 100 м, і глибина водойми, а також її берегова лінія відповідають вимогам, потрібним для облаштування колектора. Перевагою такого способу є відносна дешевизна.

Насос з замкненим циклом і розташованим у ґрунті горизонтальним теплообмінником: трубки, в яких прокачується теплоносій, розташовані горизонтально на глибині не менше 1м від поверхні ґрунту. Головною загрозою при експлуатації такого пристрою є можлива небережність при проведенні землекопних робіт у зоні знаходження поверхневого колектора. Правильно обраний за розмірами й правильно укладений ґрунтовий колектор не впливає на ріст рослин та екологічні умови навколишнього середовища.

Насос з замкненим циклом і вертикальним теплообмінником: труби, якими прокачується теплоносій, розташовані вертикально у ґрунті та спрямовані вглибину землі до 50 - 200 м. Як відомо, на глибині 15-20 м від поверхні ґрунт має стабільну температуру 10-12 °С незалежно від пори року. Із збільшенням глибини температура ґрунту підвищується. Цей спосіб забезпечує найбільш високу ефективність роботи теплового насосу, малі витрати електроенергії та дешеве тепло. Так, 1 кВт електроенергії забезпечує до 5 кВт теплової енергії. Однак цей спосіб потребує більших початкових капіталовкладень [8,10].

Щодо напрямків застосування ТН в Україні, то перспективними є наступні:

1. В Україні з промисловими і комунально-побутовими стічними водами скидається близько 70 тис.МВт/рік тепла, яке може використовуватися для ТН в теплопостачанні комунальних і промислових об'єктів.

2. Електростанції (у тому числі й атомні) скидають для охолодження воду з температурою 30°C, яку теж можна використати з допомогою ТН.

3. Використання як джерело низькопотенціальної енергії тепла землі, річок та морів [7-8].

На прикладі Київської ТЕЦ-5 був проведений аналіз можливостей використання ТН та економічний ефект від такого використання в спільній навчальній науково-дослідній лабораторії Інституту гідромеханіки НАН України, НТУУ "КПІ" та Королівського технологічного інституту (КТІ, Стокгольм, Швеція) [11]. Для зменшення споживання природного газу на ТЕЦ-5 запропоновано використати низько потенційне тепло води охолодження конденсатора та інших теплових стоків за допомогою теплових насосів. Економія органічного палива за допомогою ТН відбувається за рахунок корисного застосування скидного низько потенційного тепла, що дасть можливість виробляти теплову енергію для потреб центрального теплопостачання, охолоджувати воду до температури природного джерела та зменшити вплив на біологічні організми річки. Це дасть можливість отримати близько 200 Гкал/год теплової енергії, що приведе до: більшої енергетичної незалежності столиці; економії коштів на закупівлю природного газу та експлуатацію котелень; стабільного та якісного постачання жителів міста, підприємств та організацій теплом та гарячою водою в опалювальний сезон; зменшення обсягів природного газу, що споживаються водонагрівними котлами; досягнення значного екологічного ефекту, оскільки завдяки широкому застосуванню ТНУ, викиди CO<sub>2</sub>, які впливають на "парниковий ефект", а також SO<sub>2</sub> і NO<sub>x</sub> значно зменшаться; зниження впливу стічних станційних вод на поверхневі води та живі організми р. Дніпро [11].

Теплонасосні системи є відносно дорогими, і про доцільність їх застосування для теплопостачання можна говорити, виходячи з порівняння з традиційними альтернативними видами джерел енергії за технічними, економічними, технологічними і екологічними факторами.

Дослідниками Інституту технічної теплофізики НАН України, Національного аграрного університету України та Морської Академії Щецина (Польща) був проведений ексергоекономічний порівняльний аналіз традиційних і теплонасосної систем теплопостачання [12-13]. У якості об'єкта локального теплопостачання був розглянутий комплекс жилих будинків, для якого сумарна потреба в теплоті складає 3 МВт. Аналіз проводився на базі трьох систем традиційного теплопостачання на основі бойлерів, в яких паливом виступали: електроенергія (система 1), рідке паливо (нафта) (система 2) і газ (система 3), а також теплонасосної системи: ТН і сонячний колектор (система 4). Для термодинамічних моделей систем теплопостачання використовувались такі дані: температура теплоносія для користувача T<sub>гор</sub>=120°C; температура теплоносія, що виходить із сонячного колектора, T<sub>хол</sub>=8°C (сонячна енергія

розглядалася як низько потенційне джерело енергії для випаровування ТН); ККД бойлера на рідкому паливі  $\eta=0,75$ , на газі  $\eta=0,70$ ; адіабатний ККД компресора теплового насосу  $\eta=0,85$ , температурний напір в конденсаторі й випаровувачі  $\Delta T=10K$ , робоча речовина – R718. Для створення економічних моделей систем теплопостачання бралися величини капітальних витрат на обладнання, середні ціни на паливо (рідке паливо –  $2,2 \cdot 10^{-6}$  у.о./кДж; газ –  $3,0 \cdot 10^{-6}$  у.о./кДж; електроенергію -  $3,48 \cdot 10^{-2}$  у.о./кВт•год).

Результати ексергоекономічних розрахунків подані у табл.1 в графі “базовий варіант”. Порівняльний аналіз при зміні ККД бойлерів:  $\eta=65\%$  для старого типу обладнання і  $\eta=90\%$  для нового типу обладнання наведений в графах 2 і 3. Був проведений порівняльний аналіз по “базовому варіанту” за припущення, що відбудеться підвищення цін на рідке паливо в 2,3 рази, на газ – в 1,3 рази і на електроенергію – в 1,5 рази. Всі результати порівняльного аналізу занесені до табл.1[12].

З аналізу таблиці 1 було зроблено такі висновки. Для “базового варіанту” ефективність теплонасосної системи незначно перевищує ефективність системи 2, яка використовує рідке паливо. Суттєвим недоліком системи 2 є відсутність системи магістральної доставки палива до споживача, тобто виникає проблема зберігання рідкого палива з проведенням обов’язкових заходів по техніці безпеки. Зрозуміло, що ці витрати повинні бути враховані як додаткові капітальні витрати і витрати на обслуговування. Звичайно сумарні затрати “система 2 + система зберігання рідкого палива” значно збільшаться, отже, теплонасосна система однозначно виявиться ефективнішою.

Аналіз впливу зміни ККД бойлерів на результати вибору системи теплозабезпечення показує, що при використанні бойлерів старих конструкцій ( $\eta=65\%$ ), теплонасосна система однозначно виявляється більш ефективною. При використанні бойлерів нових конструкцій система 2 стає більш ефективною, ніж ТН, однак, беручи до уваги витрати на зберігання рідкого палива, система 4 стає більш економічно вигідною. Різниця в результатах аналізу для системи 3 і теплонасосної системи в  $-2,6\%$  не суттєва, тому система 3 також представляє серйозну альтернативу ТН.

Таблиця 1. Ексергоекономічний аналіз традиційних і теплонасосної систем теплопостачання

	“Базовий варіант”		ККД бойлерів 65%		ККД бойлерів 90%		Підвищення цін на первинне паливо	
	Річна вартість теплопостачання, у.о/рік	Порівняльний аналіз	Річна вартість теплопостачання, у.о/рік	Порівняльний аналіз	Річна вартість теплопостачання, у.о/рік	Порівняльний аналіз	Річна вартість теплопостачання, у.о/рік	Порівняльний аналіз
Система 1	848 901	-70%	-	-	-	-	-	-
Система 2	266 030	-3,6%	286 048	- 10,3%	208 201	+18,8%	597 228	- 43,7%



	“Базовий варіант”		ККД бойлерів 65%		ККД бойлерів 90%		Підвищення цін на первинне паливо	
	Річна вартість теплопостачання, у.о/рік	Порівняльний аналіз	Річна вартість теплопостачання, у.о/рік	Порівняльний аналіз	Річна вартість теплопостачання, у.о/рік	Порівняльний аналіз	Річна вартість теплопостачання, у.о/рік	Порівняльний аналіз
Система 3	337 001	-24%	387 955	-34%	363 401	-2,6%	447 401	- 24,8%
Система 4	256 516	0	256 516	0	256 516	0	336 360	0

А порівняльний аналіз, який передбачає зміну цін на паливо, демонструє переваги теплонасосної системи теплозабезпечення [12-13].

### Висновки

Тепловий насос - це екологічно чиста система опалення, гарячого водопостачання й кондиціонування, що переносить тепло з навколишнього середовища. Перевагами його застосування є: істотне зниження витрат на опалення й кондиціонування; відсутність у потребі газу чи іншого займистого носія; використання поновлюваних джерел енергії; екологічна безпека; забезпечення стабільної температури протягом усього року.

У зв'язку зі зміною цін на енергоносії теплові насоси як альтернативні та відновлювальні джерела енергії вже сьогодні є актуальними для України. Використання геотермальних ТН для опалення та гарячого водопостачання окремих будівель чи їх груп у геокліматичних умовах України має досить широкі перспективи, особливо з огляду на переваги теплонасосних систем порівняно з традиційними, джерела яких через активне використання вичерпуються, зростають витрати на їх видобування або придбання та переробку та які мають негативні наслідки для довкілля.

З аналізу результатів ексергоeкономiчного порівняльного аналізу традиційних і теплонасосної систем теплопостачання (за приклад було взято комплекс жилих будинків) за чотирма критеріями впливає, що теплонасосна система є реальною альтернативою традиційному теплопостачанню. Не дивлячись на те, що теплонасосні системи є відносно дорогими, річна вартість теплопостачання нижча, ніж у традиційних систем теплопостачання.

Для широкого впровадження відновлювальних джерел енергії, зокрема, ТН, в усіх галузях господарства, необхідно розробити більш детальну і ефективну урядову програму, у якій передбачити систему заходів по стимулюванню виробника і споживача, як це робиться в усьому світі.

### Список використаних джерел

1. Мироявая энергетика: прогноз развития до 2020 г. / [под ред. Ю.Н. Старшинова]; пер. с англ. – М.: Энергия, 1980. – 256с.

2. Мазур В.А. Тепловые насосы – шаг в будущее столетие / В.А. Мазур // Холодильная техника и технология. – 1997. - №57. – С.19 – 22.
3. Рей Д. Тепловые насосы / Д.Рейд, Д.Макмайл. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224с.
4. Ткаченко С.Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія / С.Й. Ткаченко, О.П.Остапенко. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 176с.
5. Хайнрих Г. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / Г. Хайнрих, Х. Найорк, Н. Нестлер; пер. с нем. Н.Л. Кораблевой, Е.Ш.Фельдмана; под ред. Б.К.Явнеля. – М.: Стройиздат, 1985. – 351с.
6. Янтовский Е.И. Парокомпрессионные теплонасосные установки / Е.И.Янтовский, Ю.В.Пустовалов. – М.: Энергоиздат. – 1982. – 144с.
7. Сліпець І.В. Ринок теплових насосів в Україні та світі / І.В. Сліпець // Нова тема. – 2008. – №4. – С.50 – 51.
8. Зубков В.А. Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения / В.А. Зубков // Теплоэнергетика. – 1996. - №2. – С.17 – 20.
9. Eric Granryd. Refrigerating Engineering: Part I // Publishing of Department of Energy Technology, Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration, Royal Institute of Technology, Stockholm. – 2005.
10. Принцип роботи геотермального теплового насосу / О.В.Кучерук // ТОВ “Теплові насоси”. – К.: –2009. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://teplonasos.com/tehnogiua.html>.
11. Никифорович Є.І. Перспективи використання теплових насосів для утилізації низько потенційного тепла на прикладі ТЕЦ-5 м. Києва /Є.І. Никифорович, Ю.М. Литвинюк // Нова тема. – 2008. – №4. – С.13 – 16.
12. Долинский А.А. Альтернативное теплоснабжение на базе тепловых насосов: критерии оценки/ А.А. Долинский, Б.Х. Драганов, Т.В. Морозюк // Промышленная теплотехника. – 2007. – №6. – С.67 – 71.
13. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы / Под ред. Т.В. Морозюк. – Одесса: Негоциант. – 2002.

*Стаття надійшла до редакції 24.03.2015 р.*