

УДК 62-683

**Задорожний Сергій Анатолійович**, асп. ас., +38 (063) 4701338, [seregadom@ukr.net](mailto:seregadom@ukr.net).

**Форсюк Андрій Васильович**, канд. техн. наук, доц.

**Потапов Станіслав Геннадійович**, ас.

Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна. Вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033, +38 (063) 4701338.

### ДОСЛІДНА УСТАНОВКА ПОВІТРЯНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРЕБ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

*Сформульовані проблеми розрахунку та вибору елементів повітряного теплового насоса.*

*Спроектована та виготовлена дослідна установка повітряного теплового насоса забезпечує потреби гарячого водопостачання їдальні навчального закладу протягом року. Установка оснащена датчиками температури, тиску, відносної вологості та струму, приєднаними до системи автоматичного контролю з частотою опитування не менше 1 с. Це дозволяє визначити режимні та витратні параметри роботи кожного елементу системи, енергетичні втрати та ефективність роботи установки.*

*Конструкція установки дозволяє варіювати тип компресора, вид холодильного агента та мастила.*

**Ключові слова:** повітряний тепловий насос, гаряче водопостачання, коефіцієнт COP, заощадження енергоресурсів, енергетична ефективність.

**Задорожний Сергей Анатольевич**, асп., ас., +38 (063) 4701338, [seregadom@ukr.net](mailto:seregadom@ukr.net)

**Форсюк Андрей Васильевич**, канд. техн. наук, доц.

**Потапов Станислав Геннадиевич**, ас.

Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина. Ул. Владимирская, 68, г. Київ, Украина, 01033, +38(063) 4701338.

*Сформулированы проблемы расчета и выбора элементов воздушного теплового насоса.*

*Спроектирована и изготовлена опытная установка воздушного теплового насоса обеспечивает потребности горячего водоснабжения столовой учебного заведения на протяжении года. Установка оснащена датчиками температуры, давления, относительной влажности и тока, присоединенными к системе автоматического контроля с частотой опроса не менее 1 с. Это позволяет определять режимные и расходные параметры работы каждого элемента системы, энергетические потери и эффективность работы установки.*

*Конструкция установки позволяет варьировать тип компрессора, вид холодильного агента и масла.*

**Ключевые слова:** воздушный тепловой насос, горячее водоснабжение, коэффициент COP, экономия энергоресурсов, энергетическая эффективность.

**Zadorozhnyi Sergey Anatolevich**, асп., ас., +38 (063) 4701338, [seregadom@ukr.net](mailto:seregadom@ukr.net).

**Forsyuk Andrey Vasilevich**, Cand. (Eng.) Sci., assosice prof.

**Potapov Stanislav Gennadievich**, ас.

National university of food technologies, Kiev, Ukraina, Vladimirska st., 68, м. Kiyv, Ukraina, 01033, +38(063) 4701338.

### RESEARCH INSTALLATION OF AIR HEAT PUMP FOR ENSURING HOT-WATER SUPPLY

*In this article formulated the problem of account and selection elements of air heat pump.*

*Experimental assembly of air heat pump has been designed and assembled. It provides hot water for the college canteen spread the year. Installation is equipped with sensors of temperature, pressure, relative humidity and current. They connected to the system of automatic control of discrete survey of 1 second. This allows to measure parameters of each elements of the system, determine energy losses and efficiency of the heat pump.*

*Construction of the installation allows to vary the type of compressor, sort of refrigerant and lubricant.*

**Keywords:** Air heat pump, hot water supply, coefficient COP, saving energy, energy efficiency.

#### Вступ

Постійне зростання вартості енергоресурсів сприяє розвитку енергоощадних технологічних процесів, установок та обладнання. Використання теплових насосів (ТН) є одним з перспективних напрямків заощадження енергоресурсів та збереження навколишнього середовища [1]

Отримання електроенергії на електростанціях супроводжується великими втратами та тепловим забрудненням навколишнього середовища. Максимальне значення коефіцієнта

корисної дії теплових електростанцій становить 38 %. Використання електроенергії для опалення будівель та гарячого водопостачання (ГВП) також супроводжується відповідними втратами. Однак використання для цих цілей ТН, що працюють за загальновідомими термодинамічними циклами, дозволяє суттєво економити електроенергію, яка використовується, в основному, для роботи компресора [2].

#### Основна частина

Проведений аналіз роботи теплових насосів різноманітної конструкції в системах теплозабезпечення показує, що вони стають ефективнішими від інших методів, у випадку коли коефіцієнт трансформації (COP) перевищує значення 2,6. В цьому випадку кількість теплоти витраченої на отримання 1 кВт·год електроенергії, буде рівною кількості теплоти отриманої з використанням ТН, компресор якого споживає 1 кВт·год електроенергії для здійснення роботи.

Використання ТН для опалення потрібно лише у холодну пору року, а ГВП – постійно. З цієї причини розрахункові параметри залежать від місця розташування споживачів. Наприклад у м. Києві, для систем опалення з використанням повітряних теплових насосів (ПТН), розрахункове значення температури навколишнього середовища –  $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; для систем ГВП –  $+7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , відповідно до ДСТУ-Н БВ.1-1-27:2010. Коефіцієнт трансформації ПТН, порахований для вказаних температур, буде складати 3,6 та 4,2 відповідно. Ці значення вказують на перспективність використання ПТН для систем теплопостачання.

Ефективність використання ПТН, в значній мірі, залежить від правильного розрахунку та вибору обладнання. Пропоновані на сьогодні методики розрахунку теплонасосного обладнання не враховують специфіку його роботи. Розрахунки та вибір обладнання для здійснення циклів холодильної машини та теплового насосу повинні ґрунтуватися на різних підходах, оскільки воно працює в різних температурних умовах, що впливає на загальну ефективність його роботи [3].

Для здійснення циклу теплового насосу, холодильна машина повинна мати у своєму складі чотири основні елементи. Для підвищення надійності та ефективності основних елементів застосовують допоміжні. Ефективність машини в цілому, визначається призначенням, конструктивними особливостями та економічними показниками роботи окремих складових [4].

У порівнянні з геотермальними тепловими насосами, в ПТН використовується простіше і дешевше обладнання, однак існує багато суто технічних факторів, характерних, в тому числі, для інших типів ТН, які впливають на ефективність та потребують вирішення:

- вибір оптимального типу компресора;
- питання розрахунку та вибору теплообмінного обладнання;
- схема організації термодинамічного циклу, за яким працює ТН;
- тип дросельного пристрою;
- компоновка елементів ТН та виключення пристроїв з негативним впливом на роботу установки;
- спосіб та режими відтаювання [5].

Розглянемо детальніше особливості роботи кожного елемента теплонасосної установки.

Визначальним елементом теплонасосної установки є компресор. Вибираючи компресор необхідно враховувати продуктивність, режимні параметри роботи, можливості регулювання продуктивності, рівень шуму, габарити і т. п., що має суттєвий вплив на його вартість, яка складає більше 45 % капітальних вкладень в ПТН. Вартість компресорів залежить від типу, фірми виробника та місця виробництва. Натепер в теплонасосних установках використовують компресори усіх відомих типів, однак у невеликих ТН переважають герметичні (поршневі, ротаційні, спіральні) та напівгерметичні (поршневі). Кожний тип компресорів має свої переваги та недоліки. При цьому треба враховувати, що на ринку компресорів для використання у теплових насосах є лише спеціальні спіральні компресори.

Використання інших типів потребує ретельного аналізу умов роботи та технічних

характеристик.

На рис. 1 представлено залежності вартості компресорів за умов однакової теплової продуктивності ТН; теплової продуктивності та температури конденсації за однакової вартості залежно від типу компресора.

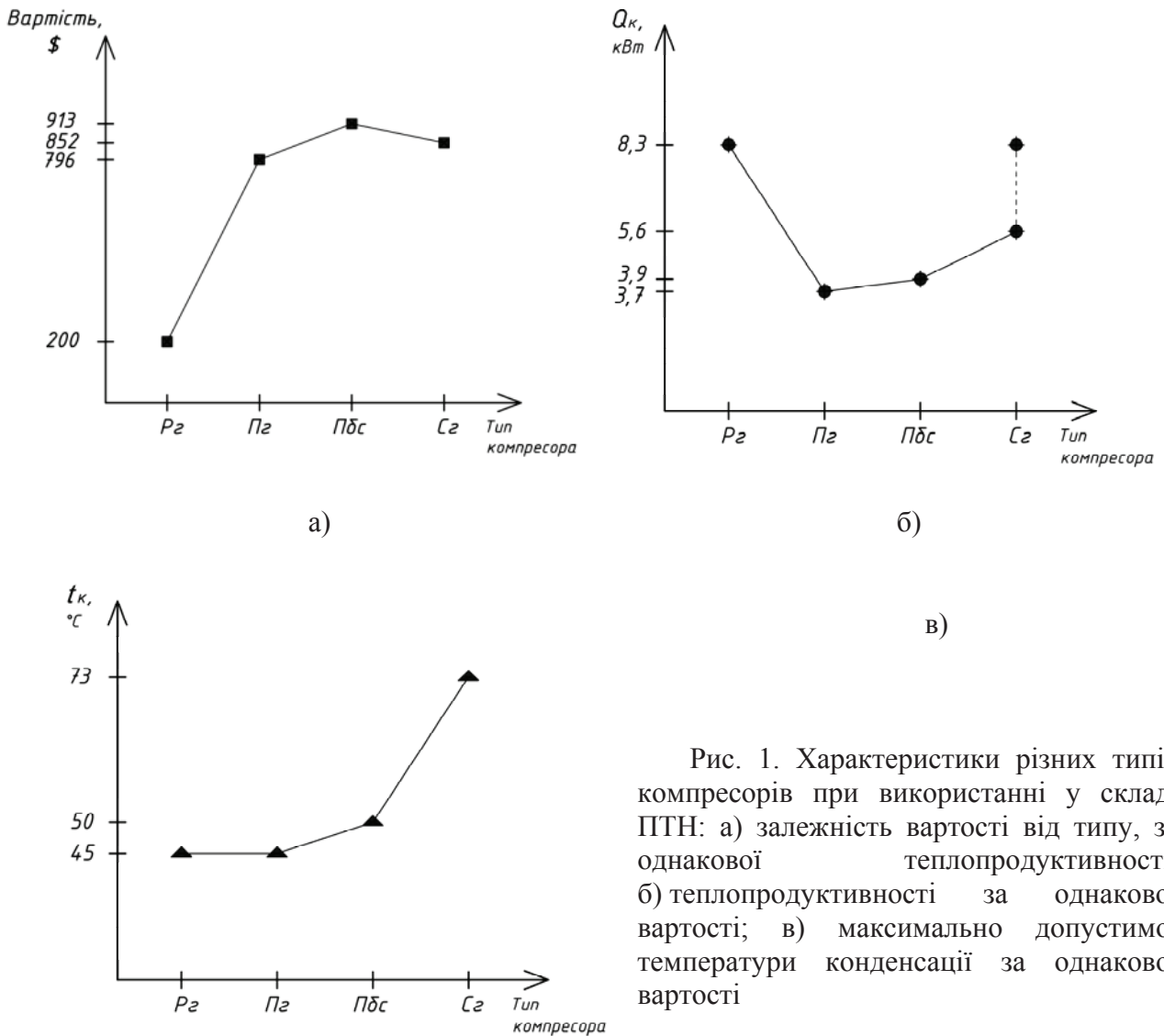


Рис. 1. Характеристики різних типів компресорів при використанні у складі ПТН: а) залежність вартості від типу, за однакової теплопродуктивності, б) теплопродуктивності за однакової вартості; в) максимально допустимої температури конденсації за однакової вартості

**Примітка:**  $Q_k$  – теплопродуктивність, кВт;  $t_k$  – температура конденсації, °C; Pz – ротаційний герметичний; Pz – поршневий герметичний; Pbc – поршневий напівгерметичний; Cz – спіральний герметичний (розрахункові умови: холодильний агент R407c,  $t_k = 45$  °C,  $t_0 = -20$  °C).

Ротаційні компресори за рахунок простоти конструкції мають найменшу вартість. Відповідно питома продуктивність на одиницю вартості для цього типу компресорів найбільша. Однак кінцева температура стискання і, відповідно температура теплоносія, що залишає ТН, обмежена. Причина конструктивна – гаряча пара холодильного агента після стискання омиває статор електродвигуна компресора.

Поршневі компресори значно дорожчі за ротаційні, однак дозволяють отримати вищу температуру конденсації. Не дивлячись на це, використання таких компресорів у ПТН обмежено низькими об'ємними коефіцієнтами (коефіцієнт подачі на 25–30 % менший ніж у ротаційних та спіральних компресорах).

Завдяки конструктивним особливостям (коефіцієнт подачі  $\lambda > 0,95$ , температура конденсації у спеціальних моделях може досягати 73 °C при  $t_0 = -25$  °C; змінна частота

обертання від 30 до 127 с<sup>-1</sup>), найкращими для використання у ПТН, бачаться спіральні компресори.

Вибір та експлуатація випарника ПТН має ряд особливостей. В звичайній холодильній машині випарник працює в умовах постійних: регульованих температур кипіння та відносної вологості повітря, що абсолютно не відповідає умовам роботи випарника ПТН. Крок оребрення випарника ТН повинен бути оптимальним з врахуванням коливань температур, відносної вологості та вартості. Випарник розрахований на температуру навколишнього середовища – -20 °С буде мати більшу вартість, ніж розрахований на температуру 0 °С. Однак, у випадку зростання температури навколишнього середовища, його ефективність буде суттєво зростати. Для випарника розрахованого на температуру 0 °С, будемо мати зворотні результати.

Використання регенеративного теплообмінника (РТО) в схемах холодильних машин зменшує необоротні втрати, та призводить до зростання ефективності циклу. В ПТН РТО може виконувати функції докипача, якщо організувати цикл таким чином, щоб з випарника виходила волога пара. В цьому випадку зростає ефективність теплообміну у випарнику (немає зони перегрівання пари) та значно знижується температура рідкого холодильного агента перед РВ.

Принцип роботи регульовального вентиля заснований на підтриманні температури кипіння, а для теплового насосу вкрай важливим є підтримання постійної температури конденсації. Для цього робота ТРВ мала б регулюватися саме за цією температурою. При цьому забезпечення ТРВ “сухого” ходу компресора, як основи безпечної і довговічної роботи обладнання, залишається. Вирішити ці завдання в необхідному обсязі, використовуючи пропорційний регулятор температури (механічне ТРВ), складно.

Зазначені завдання не вирішує, також, використання капілярної трубки: не можливо регулювати продуктивність та вирівнюються тиски в елементах машини при її зупинці. Останнє може призводити до “вологого” ходу компресора та додаткових витрат електроенергії в період пуску.

Вирішення завдання можливе за допомогою електромоторного або імпульсного РВ, який керується процесором, працює за програмою і може обчислювати необхідний алгоритм роботи, отримуючи сигнали з декількох давачів. Однак необхідно скласти алгоритм роботи РВ ПТН, визначити кількість, тип та місце встановлення давачів.

В процесі роботи ПТН виникає необхідність відтаювання випарника, що дозволяє підтримувати ефективність роботи на сталому високому рівні.

В існуючих схемах ПТН відтаювання реалізується через перемикання режиму ТН на ХМ за допомогою перемикача режиму. Не дивлячись на малі розміри пристрою, в ньому відбувається інтенсивний теплообмін гарячої пари після компресора і холодної пари після випарника. Завдяки непередбаченому додатковому перегріванню може зростати температура кінця стискання до значень, при яких можлива аварійна зупинка компресора. Тому виникає необхідність заміни цього пристрою на інший, або ж змінювати спосіб відтаювання, не знижуючи ефективність роботи ТН.

Розрахунок ефективності роботи ПТН і зокрема значення COP, залежать від вибору елементів системи, їх працездатності та режиму експлуатації. Коефіцієнт ефективності роботи бруто з урахуванням відтаювання та виходу на режим (для системи з капілярною трубкою) має вигляд

$$COP = \int \frac{Q_k^{rob} d\tau + Q_k^{sidm} d\tau}{N_{el}^{rob} d\tau + N_{el}^{sidm} d\tau}, \quad (1)$$

де  $Q_k^{rob}$  – кількість теплоти, отриманої при конденсації холодильного агента, Вт;  $Q_k^{sidm}$  – кількість теплоти, втраченої при відтаюванні установки, Вт;

$N_{el}^{rob}$  – потужність спожита ТН в робочому режимі, Вт;  $N_{el}^{sidm}$  – потужність спожита ТН в режимі відтаювання, Вт.

Значний вплив на ефективність роботи ПТН, має його холодопродуктивність в режимі

відтаювання, коли теплота відбирається від теплоносія. Величина значень  $Q_k^{відм}$  залежить від тривалості режиму відтаювання та його частоти процесу в робочому циклі ТН [6]. Правильний вибір способу та оптимальне регулювання процесу відтаювання забезпечить високу ефективність роботи ПТН.

За теоретичними розрахунками, різні режими роботи установки ПТН, мають різні значення COP [6]. Однак реальні значення показників ефективності можна отримати, провівши дослідження та визначивши теплову продуктивність, теплові втрати, споживання електроенергії за показниками вимірювальних пристроїв.

Для вирішення описаних вище задач, дослідження особливостей роботи, визначення ефективності роботи кожного елемента та установки в цілому, визначення втрат на різних ділянках та техніко-економічного обґрунтування критеріїв розрахунку та вибору елементів ТН спроектовано та виготовлено експериментальну установку ПТН. Принципова схема установки та схема автоматизації зображена на рис. 2.

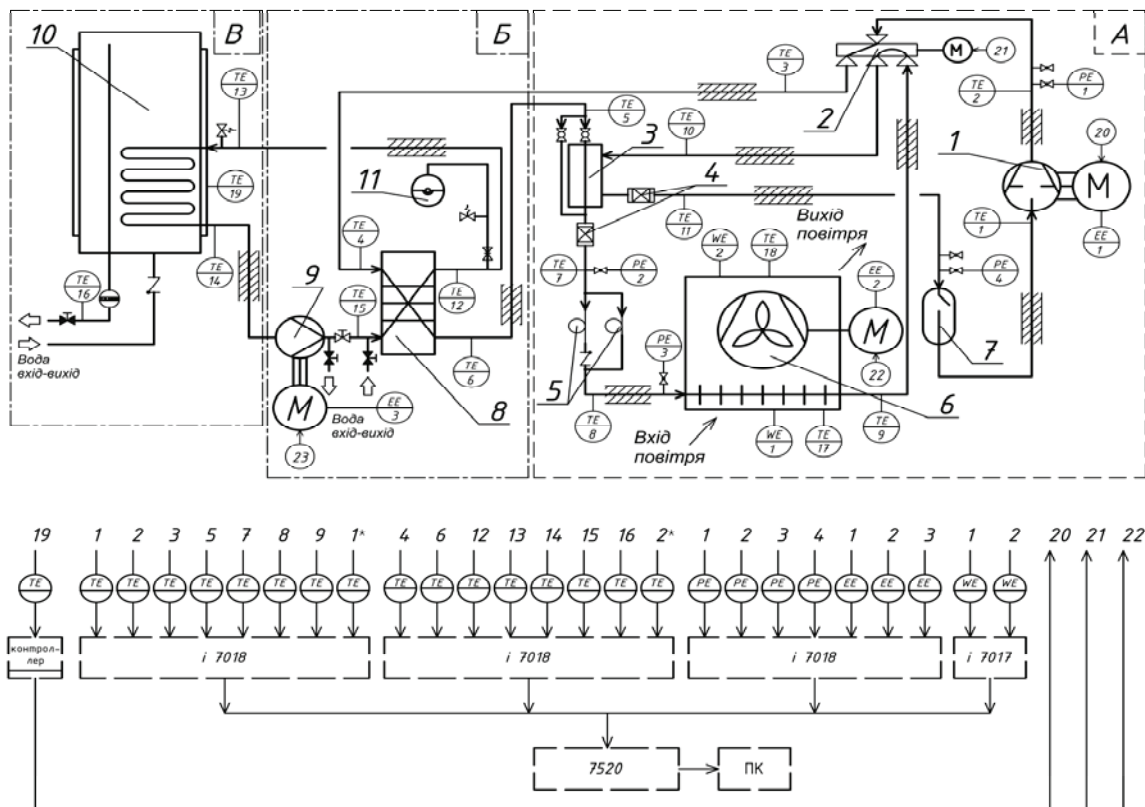


Рис. 2. Принципова схема дослідної установки та схема автоматизації установки:  
 А – зовнішній блок; Б – внутрішній блок нагріву теплоносія; В – внутрішній блок нагріву води для ГВП: 1 – ротаційний компресор, 2 – перемикач режимів, 3 – РТО, 4 – фільтр, 5 – капілярна трубка, 6 – зовнішній теплообмінник, 7 – докипач, 8 – пластинчастий теплообмінник, 9 – насос, 10 – бак з водою, 11 – розширювальний бак

Експериментальна установка дозволяє: досліджувати роботу ТН при використанні різних холодильних агентів та мастила; працювати з використанням РТО або без нього; змінювати продуктивність РТО від 0 до 100 %; задавати різну кінцеву температуру теплоносія (води системи ГВП); працювати в широких межах зміни параметрів зовнішнього повітря; задавати різну величину нагрівання теплоносія; змінювати режими і методи відтаювання.

Установка обладнана вимірювальними приладами: давачами температури (16 шт.), тиску (4 шт.), струму (3 шт.) та відносної вологості (2 шт.), які дозволяють контролювати роботу кожного елемента та отримувати дані для подальшого аналізу та розрахунків.

Всі давачі підключено до аналогово-цифрових перетворювачів ICP CON типу i7018 та

i7017, далі через перетворювач протоколу RS 232/ RS 495 типу i7520 – підключені до ПК. На ПК встановлено безкоштовну програму EZDatalogger, за допомогою якого здійснюється автоматичний і цілодобовий запис і збереження даних з частотою опитування не менше 1 с.

Монтаж установки проведено в їдальні Коледжу ресторанного господарства НУХТ (рис. 3), що дозволило створити реальні умови роботи та теплове навантаження. Установка пройшла випробування на герметичність (азот, 30 бар) та працездатність (48 годин безперервної роботи).

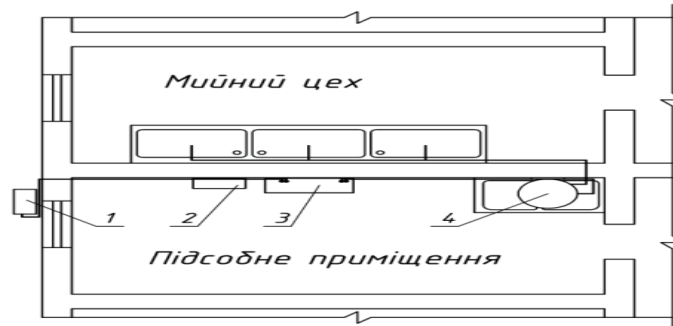


Рис. 3. Місце встановлення дослідної установки: 1 – зовнішній блок; 2 – електрощит і пристрої автоматичного контролю; 3 – внутрішній блок підігріву теплоносія; 4 – бак з гарячою водою

### Висновок

Запропонована установка може використовуватись для дослідження ефективності роботи ПТН протягом року в умовах реального споживання гарячої води.

Кількість встановлених датчиків та дискретність їх опитування дозволяє дослідити роботу окремих елементів системи при коливаннях навантаження та різних режимах роботи.

Конструктивне рішення дослідної установки дозволяють варіювати тип компресора, холодильний агент, мастило та змінювати схему за якою вона працює.

### Список використаної літератури:

1. Жовтянський В. А., Кулик М. М., Стогній Б. С. Стратегія енергозбереження в Україні: аналіт. довід. матеріали – К.: Академперіодика. – Т. 1. – 2006.
2. Колесниченко Н. В., Константинов Т.Е., Дмитренко М.А. Оценка целесообразности использования тепловых насосов в Украине // Промышленная теплотехника. – 2011. – № 5.
3. Шерстюк В. Г. Производство холода и теплоты в системах энергетического взаимодействия холодильных и теплонасосных установок // Коммунальное хозяйство городов. – К.: 2006. – Вып. 7.
4. Хайнрих Г., Найрок Х., Нестлер В. Тепловые установки для отопления и горячего водоснабжения М.: Стройиздат, 1985.
5. Амерханов Р. А. Тепловые насосы. – М.: Энергоатомиздат, 2005.
6. Потاپов С. Г., Задорожний С.А. Дослідження ефективності роботи повітряного теплового насосу / Матеріали міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. – К.: частина 2, 10–11 квітня 2014 р.

### References:

1. Zhovtianskyi V.A., Kulyk M.M., Stognii B.S. Strategy of saving energy in Ukraine: analytic manual stuff [Strategiya energozberezhenia v Ukraine: analit. dovid. materialy]. – К.: Akademperiodyka. – Т.1. – 2006.
2. Kolesnechenko N. V., Konstantinov T. E., Dmitrenko M. A. Valuation reasonability of use heat pump in Ukraine [Ozenka zelesoobraznosni ispolzovania teplovykh nasosov v Ukraine] // Promyshlennaia teplotehnika. – 2011. – № 5.
3. Sherstiuk V.G. Production cold and heat in the system of energy interaction refrigeration and heat pumps installations [Proizvodstvo holoda i teploty v sistemakh energeticheskogo vzaimodeystviya holodilnykh i teplonasosnykh ustanovok] // Komunalnoe hoziastvo gorodov. – К.: 2006 – issue 7.
4. Hainrih G., Nairok H., Nestler V. Heat installations for heating and hot-water supply [Teplovye ustanovki dla otopleniya i goryachego vodosnabzhenia]. – М.: Stroiiizdat, 1985.
5. Amerhanov R.A. Heat pumps [Teplovye nasosy] – М.: Energoatomizdat, 2005.
6. Potapov S.G., Zadorozhnyi S.A. Investigation efficiency of air heat pump [Doslidzhennia efektyvnosti roboty povitriannogo teploвого nasosu] / Materials of international scientific conference young scientist, postgraduate student and student. – К.: part 2, 10-11 april 2014.

Поступила в редакцию 06.04 2015 г