

УДК 621.56:697.1:620.91(477)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ
ДЛЯ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ УКРАЇНИ**

Асп. М. С. Корчагін

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF HEAT PUMPS FOR THE CLIMATIC
CONDITIONS OF UKRAINE**

Postgraduate student M. S. Korchahin

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.211.2025.327121>



***Анотація.** У статті проведено аналіз температурних режимів роботи сучасної теплонасосної техніки. Виконано порівняння температурних режимів роботи сучасних теплових насосів з температурними графіками роботи систем опалення різного типу. Сформульовано шляхи розширення температурного діапазону роботи теплових насосів. Запропоновано модифікацію конструкції теплового насосу з метою використання стандартних акумуляторів тепла/холоду з фазовим переходом «вода – крига».*

***Ключові слова:** акумулятор тепла, компресор, система опалення, тепловий насос, теплоносії, фазовий перехід, холодоагент.*

Abstract. *The article analyzes the temperature modes of operation of modern heat pump equipment.*

The temperature range of the outside air, at which heat pumps of the most common classes work effectively, is limited. It is important to modernize the design of heat pump equipment in order to expand the limits of its application. Air-to-water heat pumps are most suitable for use as heat sources for heating residential, office and administrative buildings. At the same time, the energy efficiency class of buildings must not be lower than "C".

The amplitude of outdoor air temperatures in the cold period of the year goes beyond the operational capabilities of standard models, limiting their effectiveness.

In order to increase the energy and economic attractiveness of the use of heat pumps in heating systems, it is necessary to expand the temperature limits of their use. The temperature mode of operation of heat pumps must correspond to the temperature schedule of the heating system. To do this, it is proposed to reduce the temperature difference of freon and air, increase the amount of air passing through the installation, and use intermediate vapor injection technologies and smooth inverter control technology to increase the cooling coefficient. In addition, the possibility of using a heat/cold accumulator based on the "water-ice" phase transition is considered to provide low-temperature heat during periods when the external temperature exceeds the temperature limits of the heat pump operation.

A correlation of the temperature capabilities of modern heat pump technology with the requirements for the temperature parameters of the coolant of various types of heating systems was obtained. It is shown that there are quite noticeable restrictions on the use of one or another compressor-type heat pump in relation to the type of devices used in heating systems.

Formulated measures with the help of which it is possible to expand the temperature range of operation of heat pumps.

A modification of the heat pump design is proposed in order to use standard heat/cold accumulators with a phase transition

Keywords: *heat accumulator, compressor, heating system, heat pump, coolant, phase transition, refrigerant*

Вступ. Теплові насоси різноманітних класів та потужностей отримали значне розповсюдження в Україні та інших країнах світу [1]. Вони використовуються у найрізноманітніших сферах діяльності людини – від побутових потреб до забезпечення потреб сільського господарства і промислового виробництва [2]. Наймасовіший приклад застосування теплових насосів – це побутові спліт-системи кондиціонування повітря (кондиціонери). На відміну від попередніх часів, коли випускалися моделі, що працювали тільки на охолодження або дворезимні моделі (охолодження/тепловий насос), на сьогодні вони майже на 100 % випускаються всіма відомими світовими виробниками у версії тільки з тепловим насосом. Існує широкий вибір інших

теплових насосів для використання у самих різних галузях промисловості та житлово-комунального господарства.

Діапазон температури зовнішнього повітря, за якого використовується найбільш вживані моделі теплонасосного обладнання, обмежений, тому важливим є модернізація конструктивного рішення обладнання з метою розширення меж його застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спектр теплонасосної техніки досить великий [3], тому треба окреслити деякі умови використання теплових насосів у тій чи іншій сфері.

З огляду на сучасну ситуацію в Україні з економічної точки зору одним з наймасовіших сегментів, де можуть застосовуватися теплові насоси, є

використання їх як джерел тепла для систем опалення різноманітних будівель – житла, офісних чи адміністративних. Зі свого боку, з чотирьох основних типів теплових насосів за джерелами тепла («повітря – повітря», «повітря – вода», «вода – вода» та «вода – повітря») у переважній кількості випадків для такого типу будинків найбільше будуть підходити системи з джерелом низькопотенційного тепла «повітря» та приймачем тепла «вода», тобто системи «повітря – вода» [4]. Повітря, як джерело низькопотенційного тепла, досить просте у застосуванні та не потребує ніяких додаткових технічних систем щоб його використовувати. Низькопотенційне джерело «вода», по-перше, має досить умовну назву, яка містить у собі будь-які рідинні теплоносії, а по-друге, майже усі системи, що класифікуються як «грунтові» (по типу низькопотенційного джерела тепла) входять у цю групу, бо тепло від ґрунту до теплонасосної системи переноситься все одно теплоносієм. У сучасних містах з досить щільною забудовою, з великою кількістю комунікацій складно знайти умови для надійного застосування теплових насосів з низькопотенційним джерелом «грунт», або «вода» [5]. На практиці таких систем мало і перспектив їхнього розвитку не передбачається. Хоча такі системи при виробництві тепла майже не залежать від температури зовнішнього повітря та мають стабільні теплові характеристики, досить часто з різних причин деградують з часом за здібностями низькопотенційного джерела тепла віддавати тепло. Повітря, як джерело низькопотенційного тепла, не має таких проблем з деградацією, але має іншу проблему, для постійної стабільної роботи теплонасосного обладнання як джерела тепла для будівлі – амплітуда температури зовнішнього повітря в опалювальний період в Україні (яка становить більше 30 °С за опалювальний період) досить велика [6, 7]. Деякі піки цих температур зовнішнього повітря виходять за експлуатаційні

спроможності умовно «стандартних» теплових насосів, які масово випускає світова промисловість. Цей факт не дає змоги використати ТН такого, по суті, наймасовішого типу як основного джерела тепла для систем опалення чи теплопостачання будівель – тільки як додатковий [8].

Експлуатаційні обмеження на використання теплового насосу типу «повітря – вода», який масово випускається світовою промисловістю, зараз у середньому має такі значення:

- за температурою зовнішнього повітря – не нижче -15...-20 °С;
- за температурою теплоносія – не вище +65 °С.

Крім цього, крайні значення цих температур не можуть бути забезпечені одночасно – в подальшому розглянемо цей аспект трохи детальніше.

Вищезгадані обмеження насамперед визначені об'ємами ринків збуту, на які теплові насоси такого типу спрямовуються. Конструкції та технічні характеристики масових серій розробляються з урахуванням кліматичних умов центральної Європи, або більш південніших регіонів. Так звані «скандинавські» версії теплонасосного обладнання зазвичай не дуже часто зустрічаються на нашому ринку і мають велику вартість. Тому для нинішніх, як кліматичних так і економічних умов України, є сенс шукати засоби покращити та розширити роботу стандартного теплонасосного обладнання, що вироблене для більш м'яких кліматичних умов.

Визначення мети та завдання дослідження. Основним завданням проведених досліджень є пошук і теоретичне обґрунтування розширення функціоналу, застосування пристроїв для розширення меж використання стандартного теплонасосного обладнання, призначеного для менш суворих кліматичних умов. Одним із можливих напрямків є адаптація наявного обладнання до українських умов, враховуючи їхню специфіку та вимоги ринку.

Основна частина дослідження.

Отже, ми окреслили, з огляду на одну з найбільших областей використання теплових насосів (далі – ТН), кордони тих систем, які цікаві для подальшого розгляду, – теплові насоси типу «повітря – вода» для житлових та адміністративних будівель.

Намагання застосувати ТН для потреб наявних систем опалення усіх будівель в умовах їхнього поточного технічного стану не завжди можливе. Спадок житлово-комунального господарства України, який залишився від СРСР, – високотемпературні системи опалення (більшість систем у нашому регіоні були розраховані на температурний графік теплоносія $+90/+70$ °С) – унеможливує пряме застосування відносно низькотемпературних ТН стандартних серій, у яких в середньому температури теплоносія, що вони можуть згенерувати, лежать у діапазоні $+65\dots+30$ °С. Без істотного нарощування площ поверхонь опалювальних приладів система опалення не зможе забезпечити необхідну теплову потужність при роботі від ТН. Слід зазначити, що кліматичні зміни (потепління клімату) трохи нівелюють цю проблему, але не вирішують. Тому найвірогідніші шляхи для застосування такої теплонасосної техніки – це нове будівництво, та реконструкція старих будівель зі зміною системи опалення та доведенням рівня опору теплопередаванню огорожувальних конструкцій будівель до нормативних показників теплозахисту згідно з чинними нормативами ДБН [9]. У цих випадках також вирішується друга особливість створення систем опалення на основі ТН – невеликий, близько 5 °С (проти, зазвичай, 20 °С у старих системах), перепад температур теплоносія між поданням та зворотним потоком, що генерує ТН. Як наслідок цього явища, створюється значно більша витрата теплоносія при циркуляції води в системі.

Отже, можемо сформулювати ще деякі межі ефективного використання ТН типу «повітря – вода» для систем опалення

будівель різноманітного призначення з достатнім рівнем теплозахисту (класи А, Б або С) [10]:

- нове будівництво;
- реконструкція наявних будівель.

З огляду на вищезазначене, сформулюємо вимоги до технічних параметрів ТН «повітря – вода» при застосуванні їх як джерела тепла для систем опалення та теплопостачання найбільшої кількості будівель.

ТН з джерелом низькопотенційного тепла «повітря» має відповідати вимогам до основного джерела тепла і мати змогу генерувати тепло при будь-яких температурах зовнішнього повітря [11]. Тобто, згідно з чинними ДБН України [7], з урахуванням усієї території, робота ТН на тепло має забезпечуватися за температури зовнішнього повітря до -31 °С.

Щодо іншого важливого температурного параметру – температури теплоносія – питання ширше, тому розглянемо його окремо.

Варто зазначити, що за типом конвективної складової передання теплоти до приміщення існує два основні типи опалювальних приладів – з примусовою циркуляцією повітря та з природною конвекцією.

До першого типу – з примусовою конвекцією – відносяться вентиляційні конвектори (фанкойли) та повітро-опалювальні агрегати. Їхня конструкція дуже схожа принципово, це зазвичай ребристотрубний теплообмінник і вентилятор в одному корпусі. Існує багато різновидів компоновок і характеристик цих двох основних компонентів опалювального приладу. Цей тип опалювальних приладів має досить високий коефіцієнт теплопередавання від своїх поверхонь до повітря, тому має змогу використовувати відносно низькотемпературний теплоносій. При правильному підборі таких приладів використовують значення температур теплоносія на вході в прибори від $+40$ °С до $+50$ °С. Однак у них є певна особливість – це

шум від роботи вентилятора і цей факт гальмує масове використання фенкойлів у житлових приміщеннях. Наразі масове використання фенкойлів для опалення (та кондиціонування за потреби) зафіксоване переважно для офісних, адміністративних та промислових будівель.

Другий тип приладів опалення – з природною конвекцією та частковою радіаційною складовою – має набагато (в декілька разів) менший коефіцієнт теплопередавання та при однакових температурних умовах теплоносія та внутрішнього повітря потребує великої площини поверхні теплообміну порівняно з приладами першого типу. Щоб компенсувати збільшення площини поверхні теплообміну, та, як наслідок, збільшення геометричних розмірів, намагаються збільшити різницю температур між внутрішнім повітрям та теплоносієм. З огляду на цей факт, в практиці використання обладнання середні значення температур теплоносія для систем з радіаторів, конвекторів, панелей на вході в прилад складають $+50\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +65\text{ }^{\circ}\text{C}$, за умови збільшення опору теплопередавання оболонки будівлі при поточному ремонті чи реконструкції до нормативних вимог. Цей тип приладів широко використовують для житла, хоча вони також активно використовуються і в будь-яких інших типах будівель, особливо якщо ті не обладнані центральними системами кондиціонування. Слід зазначити, що у таких системах досить часто немає індивідуальних приладів регулювання температури внутрішнього повітря у приміщеннях і регулювання цієї температури здійснюється за рахунок зміни температури теплоносія – нижчої при відносно високих температурах зовнішнього повітря у холодну пору року, та на $20 \dots 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ вищої від початкової температури теплоносія при максимальних похолодань.

З іншого боку, для можливості роботи у складі комплексних теплових пунктів, які

також готують воду для системи гарячого водопостачання за будь-яких погодних умов треба мати теплоносії не нижче $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Підсумовуючи потреби до температури теплоносія у системах опалення з використанням теплового насосу класу «повітря – вода», нанесемо їх на графіки температурних меж роботи різних типів ТН (рис. 1). Далі проведемо аналіз відповідності наявних температурних характеристик ТН вимогам до систем будівель, провівши огляд можливостей сучасної теплонасосної техніки.

Виконаємо огляд серійних зразків теплонасосної техніки з урахуванням потреб систем опалення.

Як було зазначено вище, теплові насоси типу «повітря – вода» мають певні обмеження за температурними діапазонами їх використання як за повітрям, так і за водою. Для наочності зведемо ці показники на графік (рис. 1) та усереднимо інформацію з наявних температур від декількох виробників. Також покажемо залежність температурних обмежень від типу компресору, який було використано в тепловому насосі. З метою демонстрації потенціалу сучасних компресорів порівняно з їхніми попередниками, було проаналізовано кілька грандових європейських виробників теплових насосів (Hidros, Clivet, Alpentia, Nitema). Усі дані були зведені на один графік продуктивності. Для спрощення сприймання інформації на рис. 1 розглядаємо тільки картину з використанням фреону R410a. За використання інших фреонів картина приблизно така ж, але значення температур дещо інші. В поточному стані ринку теплових насосів фреон R410a має найширше використання.

Тепер продемонструємо рис. 2, на якому зведено температурні можливості сучасної стандартної теплонасосної техніки з потребами з температурних параметрів систем опалення різного типу, які ми розглядали вище. На ньому добре видно, що є досить відчутні обмеження з використання

того чи іншого ТН за типом компресора порівняно з типом приладів, що використовуються в системах опалення чи теплопостачання. Для збільшення енергетичної (а, в наслідок, і економічної) привабливості

використання ТН в системах опалення потрібно шукати шляхи розширення меж температурних обмежень ТН та максимальної відповідності діапазону роботи ТН до потреб систем опалення з температури.

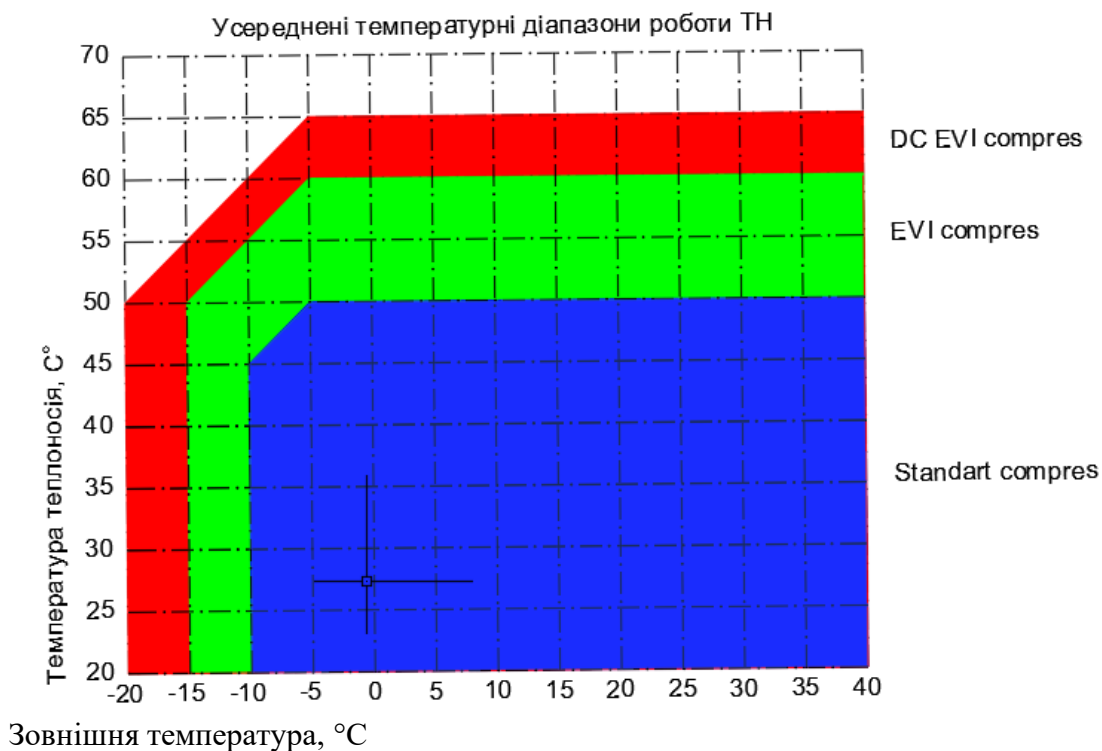


Рис. 1. Обмеження за температурними діапазонами використання теплових насосів типу «повітря – вода»

Визначимо шляхи розширення температурного діапазону роботи ТН. Наразі відбувається процес поступового покращення характеристик ТН за багатьма показниками. Перерахуємо основні:

- зменшення перепаду температур фреону та повітря;
- збільшення кількості повітря, що проходить крізь установку;
- збільшення площі поверхні теплообмінників;
- збільшення холодильного коефіцієнта за рахунок технології (EVI);
- збільшення холодильного коефіцієнта за рахунок плавного керування потужністю компресора (DC);

- збільшення холодильного коефіцієнта за рахунок об'єднання цих технологій (EVI) і (DC);

- пошук холодоагентів з кращими показниками для використання в циклі ТН.

Технологія (EVI) – це технологія проміжного впорскування холодного фреону, що дає змогу переохолоджувати холодоагент, а також охолоджує компресор, що розширює температурний діапазон роботи ТН [12].

Технологія (DC) дає змогу регулювати потужність компресора і вентиляторів за допомогою зміни величини струму і напруги [13].

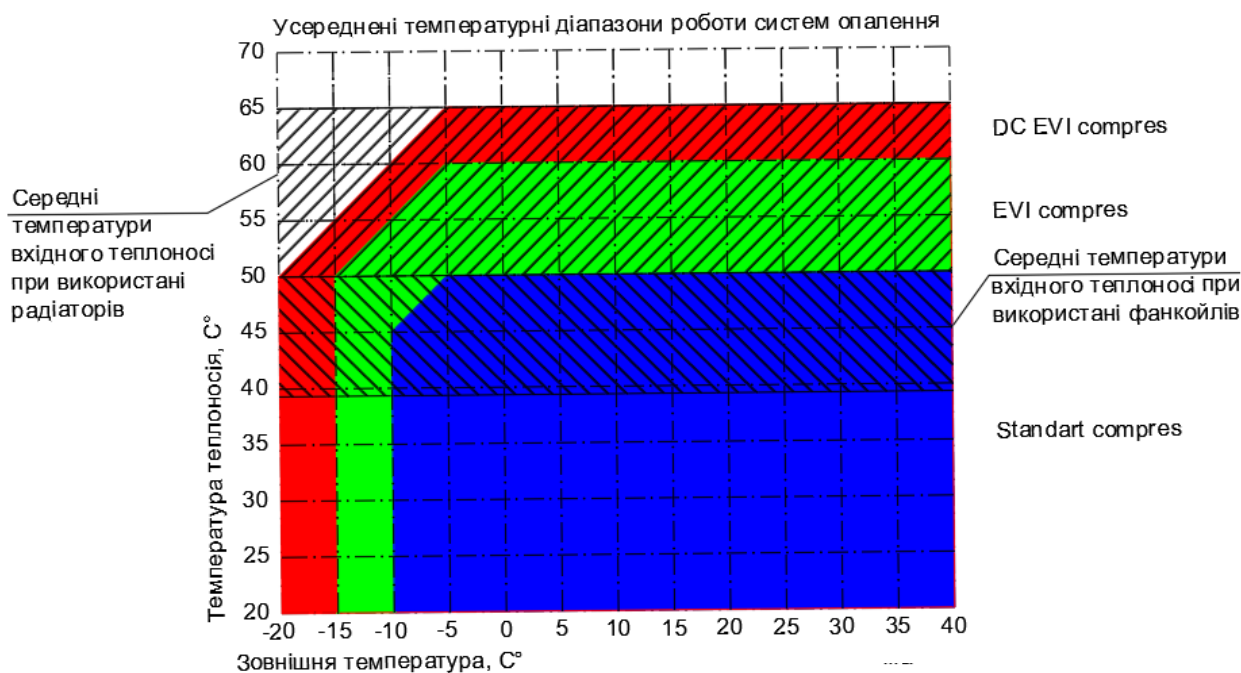


Рис. 2. Зіставлення температурних можливостей сучасної теплонасосної техніки з потребами за температурними параметрами систем опалення

Окремо від прямих конструктивних покращень для пари «ТН – система опалення» розглядаються різні можливості з акумуляції тепла [14].

З огляду на перераховані можливі шляхи підвищення ефективності ТН та розширення температурних діапазонів їхнього використання запропонуємо ще один шлях. Його суть полягає у використанні акумулятора тепла/холоду на основі фазового переходу «вода – крига» для отримання низькопотенційного тепла для роботи ТН у періоди, коли зовнішні температури будуть виходити за границі обмежень, що диктуються стандартною конструкцією ТН.

Пропонується модифікувати конструкцію ТН так, щоб мати змогу використовувати стандартні акумулятори тепла/холоду з фазовим переходом «вода – крига». Більшість таких акумуляторів для своєї роботи потребує холодоносії з температурами $-10\text{ }^{\circ}\text{C}/-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Щоб отримати холодоносії з такими

температурами, потрібно включити в склад ТН ще один теплообмінник «фреон – рідина» та дати йому змогу працювати в режимі випарника.

Цей режим необхідно використовувати тоді, коли зовнішня температура повітря не дає змоги працювати ТН через його конструктивні обмеження – тобто зовнішня температура повітря занизька для роботи ТН, або потреба в нагріві теплоносія для системи опалення не може бути задоволена.

Використання акумулятора тепла/холоду на основі фазового переходу «вода – крига» дає змогу проходити періоди, що виходять за температурні обмеження роботи ТН без перемикання систем опалення та теплопостачання на інші джерела тепла. З огляду на значне пом'якшення клімату, є розуміння, що проходження піку стояння від'ємних температур у холодну пору року з зовнішніми температурами повітря нижче, припустимо $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, не буде перевищувати

декількох діб. Це питання потребує окремого розгляду та вивчення насамперед для розуміння того, якої ємності акумулятор тепла/холоду необхідно мати для проходження піку холоду і мати змогу розрахувати оптимальні параметри системи опалення та ТН для кожного типу будівель.

У подальшому, після проходження піку холоду, система має повернути акумулятор у первісний рідкий стан при настанні сприятливих зовнішніх умов і достатньому запасу потужності. Цей алгоритм реалізується відповідними контролерами.

Окремо слід зазначити, що акумуляція тепла за рахунок фазового переходу «вода – крига» має досить високі питомі показники щодо об'єму, який займає ця система порівняно з іншими нескладними та екологічними системами. Крім того, температура випаровування холодоагенту, потрібна для підтримки процесу фазового переходу, якщо порівняти її з повітряним

теплообмінником, буде відповідати температурі зовнішнього повітря на рівні $-7\dots-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, що підвищить холодильний (а як наслідок і тепловий) коефіцієнт роботи ТН. Сумарний сезонний коефіцієнт перетворення тепла у такої системи буде відчутно кращий ніж у систем без застосування акумулятора тепла.

Висновки. Отримано кореляцію температурних можливостей сучасної теплонасосної техніки з вимогами до температурних параметрів теплоносія систем опалення різного типу. Показано, що є досить відчутні обмеження з використання того чи іншого ТН за типом компресора щодо типу приладів, які використовуються в системах опалення.

Сформульовані шляхи розширення температурного діапазону роботи ТН.

Запропонована модифікація конструкції ТН з метою використання стандартних акумуляторів тепла/холоду з фазовим переходом «вода – крига».

Список використаних джерел

1. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Анохіна К. В. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання: навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2010. 170 с.
2. Низькопотенційна енергетика: навч. посіб. / А. О. Редько та ін.; за ред. А. А. Долинського. Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2016. 412 с.
3. Annex 35/13 (2014) Application of Industrial Heat Pumps: IEA Industrial Energy-related Systems and Technologies Annex 13, IEA Heat Pump Programme Annex 35. Final Report, Hannover.
4. Безродний М. К., Галан М. А. Термодинамічна ефективність теплонасосних систем повітряного опалення та вентиляції з рекуператором теплоти та рециркуляцією відпрацьованого повітря. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. Київ: КПІ. 2012. № 1. С. 15-25.
5. Sharma V. M., Shena B.-J., Keinathb C. F. *Reports at the 12th IEA Heat Pump Conference*. Rotterdam. 2017. Pp. 29-80.
6. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії України / НАН України, Інститут відновлюваної енергетики, Держ. ком. України з енергозбереження. Київ, 2005. 45 с.
7. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [Чинний з 01.11.2011]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26655 (дата звернення 02.01.2024).

8. Шубенко В. О., Кухарець С. М. Використання низькотемпературних джерел енергії та їх перетворювачів. *Житомир: «ЖНАУ»*. 2014. 240-261 с.

9. ДБН ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Затв. Наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 30.12.2021 № 366. [Чинний з 01.09.2022]. URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=47699 (дата звернення 02.01.2024).

10. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року: розпорядження КМУ від 21.04.2023 р. № 373-р Офіційний вісник України. 2023.16.05. (№ 47). С. 156. [Чинний з 21.04.2023]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80/print> (дата звернення 02.01.2024).

11. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. Затв. Наказом Міністерства регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України від 25.01.2013 № 24. [Чинний з 01.01.2014]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50154 (дата звернення 02.01.2024).

12. Enhanced vapour injection (evi) for zh copeland™ scroll compressors. Technical Information. URL: <https://www.copeland.com/documents/enhanced-vapour-injection-for-zh-copeland-scroll-compressors-technical-information-en-gb-4215484.pdf> (дата звернення 02.01.2024).

13. Refrigeration and air conditioning technology Technical Information. URL: https://gunt.de/images/download/Cat3a_english.pdf (дата звернення 02.01.2024).

14. Будлянський С. В., Редько О. Ф., Чайка Ю. І. Порівняння теплоакумулюючих матеріалів з фазовим переходом для систем сонячного теплопостачання. *Енергозберігаючі технології теплогазопостачання, будівництва та муніципальної інфраструктури. Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. 2013. Вип. № 1 (83), С. 143 -146.

Корчагін Михайло Сергійович, аспірант кафедри теплогазопостачання і вентиляції, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. ID ORCID: 0009-0005-2840-0211. Тел. +38 (057) 707-31-09. E-mail: mykhailo.korchahin@kname.edu.ua.

Korchagin Mykhailo, postgraduate graduate student of the department of heat and gas supply and ventilation, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. ID ORCID: 0000-0003-1021-4662. Tel.: +38 (057) 707-31-09. E-mail: valentina.belyaeva@kname.edu.ua

Статтю прийнято 27.03.2025 р.