УДК 621.577 + 644.652 + 697

**М. К. Безродний**

**Н. О. Притула**

**С. О. Ословський**

**Аналіз ефективності теплонасосної схеми опалення з використанням теплоти атмосферного повітря та стічних вод будинку**

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Анотація**

*Проведено термодинамічний аналіз схеми опалення, в якому отримано залежність для визначення відношення теплового потоку, що вноситься в випарник з атмосферним повітрям до сумарних затрат теплоти на опалення.*

*Показано, що схема теплонасосної системи опалення з використанням додаткової теплоти стічних вод ефективніша ніж вихідна схема опалення.*

*Отримано співвідношення для визначення сумарних питомих затрат зовнішньої енергії на систему теплонасосного опалення з використанням теплоти атмосферного повітря та стічних вод.*

*Визначено, що при використанні даної схеми на стадії проектування системи теплонасосного опалення можливо суттєво знизити капітальні та експлуатаційні затрати. Використання отриманих залежностей в розробці систем теплонасосного опалення забезпечить максимальну енергоефективність їх роботи.*

**Ключові слова:** тепловий насос, атмосферне повітря, джерело теплоти, стічні води, сумарні питомі затрати зовнішньої енергії, низькотемпературна система опалення.

**Abstract**

*A thermodynamic analysis of the heating circuit was made, in which a dependence was obtained for determining the ratio of the thermal flow introduced into the evaporator with atmospheric air to the total heat consumption for heating.*

*It is shown that the scheme of heat pump system with the use of additional heat of sewage is more effective than the initial heating scheme.*

*The correlation for determining the total specific energy expenditure for the heat pump system using the heat of atmospheric air and sewage is obtained.*

*It is determined that when using this scheme at the stage of design of the system of heat pump heating it is possible to significantly reduce capital and operating costs. The use of obtained dependencies in the development of heat pump systems will ensure the maximum energy efficiency of their operation..*

**Keywords:** heat pump, atmospheric air, source of heat, sewage, total specific costs of external energy, low-temperature heating system.

На даний час теплонасосні технології, що набули широкого розповсюдження у світі, являють собою один із найбільш перспективних напрямків у вирішенні проблем енергозбереження як у сфері виробництва енергії, так і в технологічних процесах. Застосування теплових насосів в системах теплопостачання сприяє ефективному використанню енергії довкілля і характеризується вражаючими темпами росту діючих установок в багатьох країнах світу. При цьому найбільшого поширення в країнах Європи (біля 50 %) набули теплонасосні системи теплопостачання з використанням теплоти атмосферного повітря [1]. Цьому сприяє необмеженість та широка доступність цього джерела теплоти, відносно низька вартість монтажних робіт та стартових капіталовкладень порівняно, наприклад, з ґрунтовими тепловими насосами.

На жаль, рівень використання теплонасосних систем в Україні, в тому числі і систем з використання теплоти атмосферного повітря, з цілого ряду причин остається незадовільним і однією з таких причин є несприятливі кліматичні умови. За даними гідрометеорологічного аналізу, який був проведений за участю авторів цієї статті, було з’ясовано, що температура від -10 до -15 ºС припадає на 40 % часу опалювального періоду. В цих умовах використання повітряних теплових насосів характеризується низькою енергетичною ефективністю [1], що для задоволення потреб теплопостачання потребує додаткових джерел енергії.

В зв’язку з викладеним набуває актуальності розробка і дослідження термодинамічної або енергетичної ефективності комбінованих теплонасосних систем теплопостачання з використанням декількох низькотемпературних джерел енергії. В рамках даної статті запропонована комбінована теплонасосна схема низькотемпературного опалення, виконана на основі повітряного теплового насосу з використанням, як додаткового джерела теплоти, умовно-чистих стічних вод. Проведено термодинамічний аналіз такої схеми, на основі якого зроблені висновки щодо покращення умов роботи повітряних теплових насосів та зменшення питомих затрат зовнішньої енергії на вироблення теплоти в системі опалення.

Принципова схема комбінованої теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з використанням теплоти атмосферного повітря та стічних вод зображена на рис. 1. Особливістю даної схеми в порівнянні з вихідною [2] є додаткове встановлення теплообмінника, в якому теплота відбирається від умовно-чистих стічних вод будівлі і передається теплоносію нижнього контуру ТНС опалення (повітрю). Таким чином, за рахунок викидної теплоти можна підвищити термодинамічну ефективність даної схеми.

По металевому або пластиковому коробу атмосферне повітря подається в схему за допомогою вентилятора. Для підвищення ефективності роботи схеми точку відбору атмосферного повітря необхідно захистити від замерзення.

Атмосферне повітря з температурою ** й об’ємною витратою ** вентилятором системи з навколишнього середовища подається у теплообмінник стічних вод (ТОсв). У даному теплообміннику теплоносій підігрівається до температури , відбираючи від стічних вод теплоту ** і подається до випарника ТН, в якому повітря охолоджується та на виході його температура становить **. Опалюване приміщення має теплові втрати в навколишнє середовище **. Для їхньої компенсації використовується тепловий потік від конденсатора теплового насоса ** з температурою теплоносія ** на вході в систему опалення.



Рис. 1. Принципова схема комбінованої теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з використанням теплоти атмосферного повітря та стічних вод: ОП – опалюване приміщення, ТН – тепловий насос, Ктн – конденсатор ТН, Втн – випарник ТН, К – компресор, Н – насос, ТОсв – теплообмінник стічних вод, – робота приводу компресора ТН,  – робота приводу насоса, – робота вентилятора.

.

Проаналізувавши дану схему визначено, що зі збільшенням опору випарник ТН температура на вході до випарника збільшується. Також можна прослідкувати підвищення t1 зі збільшенням відносної частки теплоти стічних вод в загальній витраті теплоти на опалення, що суттєво покращує умови експлуатації даної схеми опалення при від’ємних температурах атмосферного повітря.

Також можна чітко прослідкувати, що при збільшенні аеродинамічного опору випарника ТН [3], та частки додаткового джерела теплоти відносна частка теплоти атмосферного повітря в загальній витраті теплоти на опалення суттєво знижується, тоді як доля теплоти на опалення за рахунок теплоти стічних вод остається незмінною.

З результатів аналізу видно, що питомі затрати зовнішньої енергії на ТН систему опалення суттєво збільшуються зі зниженням температури атмосферного повітря та зі збільшенням аеродинамічного опору випарника ТН, а також дещо зменшуються при збільшенні частки додаткового джерела, тобто при зростанні співвідношення теплоти, що відбирається від стічних вод та теплоти на опалення об’єкту. Також слід зазначити, що перевага використання даної схеми, а саме зниження сумарних затрат енергії на опалення, майже не прослідковується при малих значеннях комплексу аеродинамічного опору випарника, тоді як при збільшенні цього показника це явище прослідковується більш чітко.

 Використання додаткового джерела теплоти для ТН схеми теплопостачання з використанням атмосферного повітря як нижнього джерела суттєво покращує умови експлуатації всієї системи, збільшуючи температуру теплоносія на вході до випарника ТН, в деяких випадках з від’ємного до додатного значення, що є суттєвою перевагою для використання ТН в умовах українського клімату. При залученні додаткового джерела – теплоти стічних вод – дана система опалення використовує температурний потенціал, який раніше скидався в навколишнє середовище. Використання такого підходу є кроком до безвідходності та енергоефективності системи. Використання даного підходу в ТН схемам опалення суттєво знижує сумарні питомі затрати зовнішньої енергії, за рахунок чого можна зменшити як стартові капітальні затрати на систему ТН опалення, так і експлуатаційні затрати протягом використання даної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гершкович, В. Ф. Особенности проектирования систем теплоснабжения зданий с тепловыми насосами [Текст] / В. Ф. Гершкович. – К.: Украинская Академия Архитектуры ЧП “Энергоминимум”, 2009. – 60 с.

2. Безродний М. К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія / М. К. Безродний, Н. О. Притула. – К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 272с.

3. Безродний М. К. Теплові насоси та їх використання [Текст] : навч. посіб. / М. К. Безродний, І. І. Пуховий, Д. С. Кутра. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 312 с.

***Безродний Михайло Костянтинович***, д-р. техн. наук, проф., професор кафедри теоретичної та промислової теплотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, m.bezrodny@kpi.ua.

***Притула Наталя Олександрівна***, канд. техн. наук, асист., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, npritula@ukr.net.

***Ословський Сергій Олексійович***, студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, work.oslovskiy@gmail.com.

***Bezrodny Mykhailo K.*** — doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: m.bezrodny@kpi.ua

***Prytula Natalia О.*** — candidate of technical sciences, assistant of the Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: npritula@ukr.net

***Oslovskiy Sergiy О.*** — student, Faculty of Heat and Power Engineering, Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: work.oslovskiy@gmail.com.