

## **Термодинамічний аналіз теплонасосно-рекуператорної схеми опалення та вентиляції з використанням теплоти вентиляційного і атмосферного повітря**

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

### **Анотація**

*Проаналізовано ефективність теплонасосно-рекуператорної схеми опалення та вентиляції з використанням теплоти вентиляційного і атмосферного повітря. Розроблено теоретичну модель цієї системи та виконано числовий аналіз її термодинамічної ефективності. Встановлено, що застосування даної системи дозволяє зменшити сумарні питомі затрати зовнішньої енергії на опалення та вентиляцію в порівнянні з системою без використання атмосферного повітря за низьких значень коефіцієнта рекуперації та відносного потоку теплоти на вентиляцію. Отримано графічні залежності з зображенням оптимальних режимів роботи теплонасосної системи.*

**Ключові слова:** теплонасосно-рекуператорна схема опалення та вентиляції, повітряний тепловий насос, сумарні питомі затрати зовнішньої енергії.

### **Abstract**

*In this article the efficiency of a heat pump recuperative heating and ventilation system with use of heat of ventilation and atmospheric air is analysed. A theoretical model of the system has been developed and a numerical analysis of its thermodynamic efficiency was conducted. It was found that the use of this system makes it possible to provide more favourable temperature conditions for the operation of a heat pump in the cold period of year, to reduce total specific costs of external energy for heating and ventilation in comparison with the system without utilizing of atmospheric air for low values of the coefficient of recovery and the ventilation relative flow of heat. Graphic dependences were obtained with the image of optimal operating conditions of the heat pump system.*

**Keywords:** heat pump recuperative heating and ventilation system, air heat pump, total specific costs of external energy.

Зростання потреби в енергії, тепловій чи електричній, є безперервною та закономірною тенденцією, що обумовлена стрімким технологічним прогресом людства. Більша частина цієї енергії отримується шляхом спалювання первинних енергоресурсів, що з ексергетичної точки зору, хоч і не є ефективним, проте залишається єдиним способом реалізації хімічної енергії палива. Запаси корисних копалин, як відомо, не є невичерпними і тому економія енергоресурсів в усіх галузях економіки є глобальною проблемою сучасності.

Важливе місце в вирішенні цієї загальної проблеми посідає необхідність у підвищенні ефективності використання енергії в житлово-комунальному секторі. Адже на його потреби в світі використовується більше третини первинних енергоресурсів. У кліматичних умовах України на забезпечення опалення виробничих, адміністративних і житлових будівель використовуються близько 40 % паливно-енергетичних ресурсів, що споживається в країні [1]. Житлово-комунальне господарство України є одним із найбільш енергоємних в світі, що свідчить про низьку ефективність та застарілість наявного теплогенеруючого обладнання. Тому пошук ефективних шляхів зменшення енергоємності теплоенергетичного обладнання у цій галузі є актуальним питанням.

Одним із таких шляхів, який набув широкого розповсюдження в світовій практиці, є використання альтернативних низькопотенційних джерел енергії з застосуванням теплових насосів. При цьому особливо широкого застосування набули теплові насоси з використанням теплоти атмосферного повітря через низькі капіталовкладення в порівнянні з іншими джерелами енергії, необмеженість та доступність джерела теплоти. Проте їх значним недоліком є втрата потужності та ефективності зі зниженням температури повітря [2], що в умовах України ускладнює ефективне

використання відповідної теплонасосної системи для цілей опалення та вентиляції протягом усього холодного періоду року. Адже при зниженні температури атмосферного повітря нижче 5...10 °С коефіцієнти трансформації теплового насоса зменшуються до рівня, що нижче загальноприйнятих енергоефективних значень [2].

Тому для забезпечення роботи теплового насоса протягом усього опалювального періоду виникає потреба у розробці та дослідженні комбінованих теплонасосних систем для забезпечення потреб як опалення, так і вентиляції, а також з використанням додаткових джерел теплоти для підвищення ефективності їх роботи при використанні повітряних теплових насосів. Як показано в [3], ефективність роботи таких систем зростає при їх застосуванні в громадських будівлях (школи, дитсадки, лікарні, торгово-розважальні центри і т. п.) з постійним перебуванням людей, де вимагається досить велика кратність повітрообміну повітря. Витрати теплоти на вентиляцію в приміщеннях таких будівель можуть багаторазово перевищувати витрати теплоти на опалення і тому має місце додаткове джерело теплоти у вигляді вентиляційних викидів, що може бути використано в комбінації з атмосферним повітрям. Подальше підвищення ефективності системи теплопостачання може бути досягнуто за рахунок поєднання повітряних теплових насосів з рекуператором теплоти для попереднього підігріву припливного повітря.

У зв'язку з цим авторами запропонована та проаналізована принципова теплонасосно-рекуператорна схема опалення та вентиляції з використанням теплоти вентиляційного і атмосферного повітря.

На рис. 1 зображена принципова теплонасосно-рекуператорна схема опалення та вентиляції з використанням теплоти вентиляційного і атмосферного повітря. Принцип роботи схеми: зовнішнє повітря з температурою  $t_0$  і масовою витратою  $G_B$  подається в рекуператор, де відбувається його нагрів до температури  $t_n$  за рахунок теплоти відпрацьованого повітря, відведеного з приміщення за температури  $t_n$ . Після цього повітря за температури  $t_n$  прямує в підігрівник повітря, до якого підводиться тепловий потік на вентиляцію  $Q_{\text{вент}}$ , і догрівається до температури  $t_n$ . Зовнішнє повітря з температурою  $t_0$  і масовою витратою  $G_A$  подається в камеру змішування, де підігрівається за рахунок змішування з охолодженим відпрацьованим повітрям після рекуператора за температури  $t_{\text{ок}}$  і з масовою витратою  $G_B$ . Отримана суміш повітря ( $t_{\text{сум}}$ ,  $G_{\text{сум}}$ ) після камери змішування спрямовується у випарник ТН, де повітря охолоджується і на виході має температуру  $t_k$ . Для компенсації витрат теплоти на опалення та вентиляцію використовується тепловий потік від конденсатора ТН  $Q_{\text{оп+вент}}$  з температурою теплоносія  $t_k$  на вході в систему опалення та вентиляції.

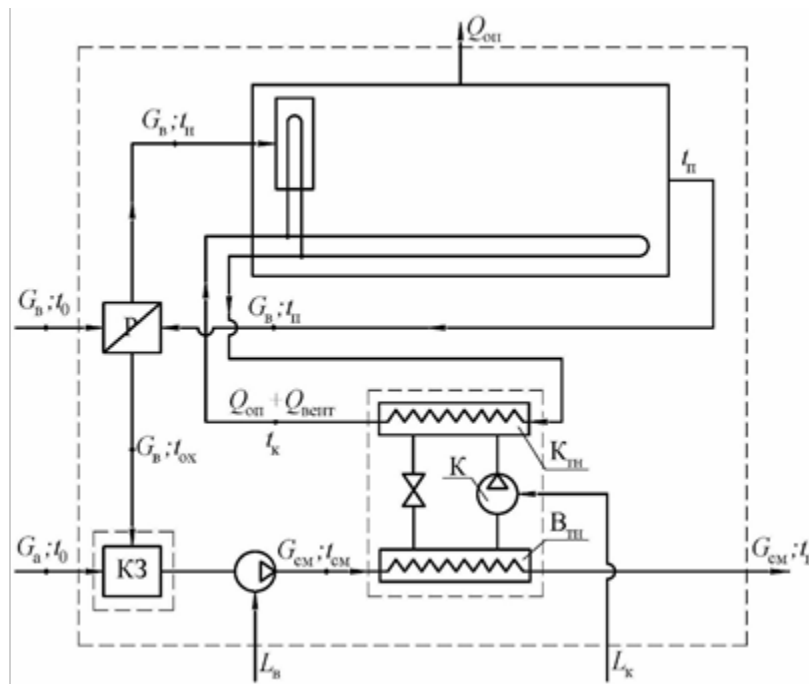


Рис. 1. Принципова теплонасосно-рекуператорна схема опалення та вентиляції з використанням теплоти вентиляційного і атмосферного повітря: К<sub>тн</sub> – конденсатор ТН; В<sub>тн</sub> – випарник ТН; К – компресор; В – вентилятор; КЗ – камера змішування; Р – рекуператор.

Розроблено теоретичну модель теплонасосно-рекуператорної схеми опалення та вентиляції та виконано числовий аналіз її термодинамічної ефективності. Аналіз даної схеми показав, що за рахунок рекуперації теплоти вентиляційного повітря сумарні питомі затрати зовнішньої енергії на опалення та вентиляцію зменшуються у порівнянні зі схемами, джерелами яких є лише атмосферне або вентиляційне повітря. Були отримані графічні залежності з зображенням оптимальних режимів роботи теплонасосної системи. Ефективність роботи теплонасосно-рекуператорної схеми опалення та вентиляції з урахуванням затрат енергії на привід компресора ТН і вентилятора, що нагнітає суміш повітря через випарник ТН, можна охарактеризувати величиною питомих затрат зовнішньої енергії на опалення та вентиляцію, яка являє собою відношення затраченої зовнішньої енергії на одиницю отриманої теплоти для задоволення потреб опалення та вентиляції. Встановлено, що за значень параметра  $m = 1,5 - 2$  (відношення потоку теплоти на вентиляцію  $Q_{\text{вент}}$  до потоку теплоти на опалення  $Q_{\text{оп}}$ ) питомі затрати зовнішньої енергії у досліджуваній схемі на 50 – 55% менші, ніж у схемі з утилізацією тільки теплоти атмосферного повітря (за розрахункової температури  $-20^{\circ}\text{C}$ ).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Куделя П.П. Низькоексергетичні опалювальні системи. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 153 с.
2. Гершкович, В.Ф. Особенности проектирования систем теплоснабжения зданий с тепловыми насосами [Текст]. – К.: Украинская Академия Архитектуры ЧП “Энергоминимум”, 2009. – 60 с.
3. Yu-Yuan Hsieh, Yi-Hung Chuang, Tung-Fu Hou, Bin-Juine Huang. "A study of heat-pump fresh air exchanger", Applied Thermal Engineering, Vol. 132, no. 5., pp. 708–718, 2018.

**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](mailto: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](mailto:npritula@ukr.net).

**Місюра Тимофій Олексійович**, студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, [Sconosciuto.T@gmail.com](mailto:Sconosciuto.T@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](mailto:m.bezrodny@kpi.ua)

**Prytula Natalia O.** — 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](mailto:npritula@ukr.net)

**Misiura Tymofii O.** — 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: [Sconosciuto.T@gmail.com](mailto:Sconosciuto.T@gmail.com).