

КОМБІНОВАНА ТЕПЛОНАСОСНА СХЕМА ОПАЛЕННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ З РЕКУПЕРАТОРОМ ТЕПЛОТИ ТА ЧАСТКОВОЮ РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ПОВІТРЯ

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Технологічний прогрес зумовлює зростання потреби в енергії, що призводить до створення нових технологій чи удосконалення існуючих. Виконано термодинамічний та числовий аналіз енергетичної ефективності теплонасосної системи повітряного опалення та вентиляції з рекуператором теплоти та рециркуляцією відпрацьованого повітря. Проведено аналіз існуючих теплонасосних систем та удосконалено компоновку допоміжного обладнання теплонасосної системи. Отримано комплекс рівнянь, що характеризують термодинамічний стан теплонасосної системи та питомі затрати зовнішньої енергії на опалення і вентиляцію. Показано, що комбінована теплонасосна схема опалення та вентиляції з рекуператором-утилізатором теплоти та частковою рециркуляцією відпрацьованого вентиляційного повітря має максимальний енергетичний ефект при розміщенні камери змішування потоків відпрацьованого та свіжого повітря перед конденсатором теплового насоса.

Ключові слова: теплонасосна система опалення та вентиляції; повітряний тепловий насос; рекуператор; рециркуляція відпрацьованого повітря .

Вступ

На даний час ми спостерігаємо збільшення попиту та потреби у використанні відновлювальних джерел теплоти, оскільки природні запаси первинних джерел теплоти вичерпні. Найбільш реальний спосіб використання вторинних енергоресурсів є утилізація теплоти повітря, що викидається в атмосферу вентиляційними системами [1]. Перспективним напрямом використання вторинних енергоресурсів є застосування теплонасосних систем (ТНС), але використання простих схемних рішень є недоцільним при низьких температурах навколишнього середовища [2]. Таким чином, виникає необхідність в більш складних ТНС, які можна реалізувати за рахунок поєднання теплового насоса (ТН) з наступними способами утилізації теплоти вентиляційних викидів, а саме: рециркуляцією частини витяжного повітря та застосуванням рекуператорів-утилізаторів теплоти [3].

В даній роботі розглянута теплонасосно-рекуператорна система повітряного опалення та вентиляції з частковою рециркуляцією відпрацьованого повітря та розміщенням камери змішування перед конденсатором ТН. Така схема не потребує перегріву повітря після конденсатора відносно заданої температури на вході в приміщення і, таким чином, покращує умови роботи ТН.

Метою роботи є проведення термодинамічного аналізу комбінованої ТНС повітряного опалення і вентиляції з рекуператором та частковою рециркуляцією відпрацьованого повітря при розміщенні камери змішування перед конденсатором ТН, встановлення ефективності вказаної схеми за певних заданих умов навколишнього середовища, умов роботи обладнання та інших параметрів, які характеризують об'єкт опалення та вентиляції.

Результати дослідження

На рис. 1 зображена схема, для якої проведено аналітичний аналіз. В схемі передбачена утилізація відпрацьованого повітря двома шляхами: шляхом часткової рециркуляції і рекуперації в теплообміннику-утилізаторі. Загальний потік відпрацьованого вентиляційного повітря з параметрами t_2 , G після об'єкту опалення та вентиляції розділяється на два потоки. Перший потік з масовою витратою $G_{рек}$ направляється до теплообмінного апарату (рекуператора-утилізатора), у якому повітря з навколишнього

середовища з температурою t_0 нагрівається до температури t_n за рахунок охолодження відпрацьованого повітря до тем-

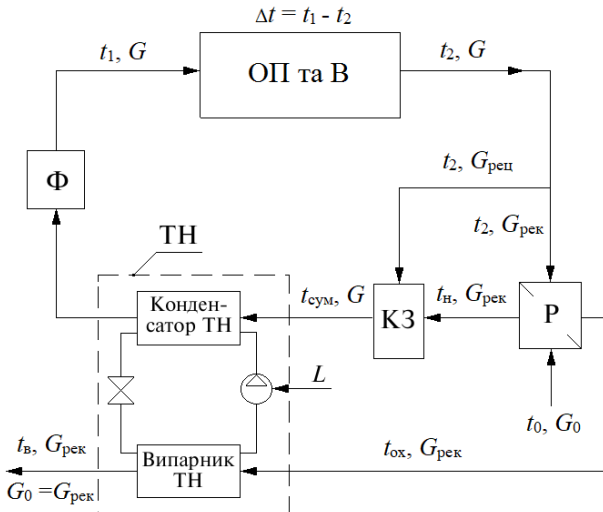


Рис. 1 Теплонасосна система повітряного опалення та вентиляції з використанням рекуператора теплоти та рециркуляцією відпрацьованого повітря: ОП та В – об’єкт опалення та вентиляції; Р – рекуператор; Ф – фільтр; КЗ – камера змішування; ТН – тепловий насос.

$$l_{\text{оп+вент}} = \frac{L}{Q_{\text{оп+вент}}}, \quad (1)$$

де L – потужність компресора ТН, кВт; $Q_{\text{оп+вент}}$ – тепловий потік, підведений до приміщення для задоволення потреб опалення та вентиляції, кВт.

Тоді, на підставі рівнянь термодинамічного опису системи та перетворень, можна отримати вираз для коефіцієнта використання зовнішньої енергії на ТНС повітряного опалення та вентиляції з використанням рекуператора теплоти та рециркуляцією відпрацьованого повітря

$$l_{\text{оп+вент}} = \frac{(1 - K_{\text{рец}})(t_{\text{ох}} - t_{\text{в}})}{(\varphi - 1)(t_1 - t_0)}, \quad (2)$$

де $K_{\text{рец}}$ – коефіцієнт рециркуляції відпрацьованого повітря; t_0 – температура навколишнього середовища, °С; $t_{\text{ох}}$ – температури охолодженого відпрацьованого повітря, °С; t_1 – температура повітря на вході в приміщення, °С; φ – коефіцієнт трансформації теплового насоса; $t_{\text{в}}$ – температура відпрацьованого повітря на виході з випарника ТН, °С.

Розглянуто два режими роботи комбінованої ТНС: перший – з рециркуляцією відпрацьованого повітря, а другий – з рекуператором. В результаті порівняння двох шляхів визначено, що питомі затрати зовнішньої енергії суттєво зменшуються зі збільшенням коефіцієнтів як рециркуляції відпрацьованого повітря, так і рекуперації. Встановлено, що схема з рекуперацією, хоча і має нижчі значення питомих затрат зовнішньої енергії, але загальний ефект такої схеми незначний, що пояснюється додатковими затратами енергії на підвищення потенціалу всього потоку відпрацьованого повітря у випарнику ТН. Тому має сенс розглянути ефективність схеми з одночасним застосуванням як часткової рециркуляції відпрацьованого повітря, так і рекуперації теплоти в теплообміннику-утилізаторі.

Отримано характеристики наведеної схеми у вигляді співставлення основних параметрів комбінованої схеми (з рекуперацією та рециркуляцією) та схеми тільки з рекуперацією (без рециркуляції). При цьому в комбінованій схемі прийнято максимальне вище встановлене значення коефіцієнта рециркуляції на рівні $K_{\text{рец}}=0,6$. Визначено, що додаткове застосування рециркуляції, не зважаючи на пониження температури повітря на виході з випарника ТН та коефіцієнта трансформації ТН, що спричиняє погіршення умов роботи ТН, приводить до зменшення питомих затрат енергії, тобто має позитивний ефект. Разом з тим, слід відмітити, що застосування рециркуляції має значний вплив на питомі затрати енергії тільки при невисоких значеннях коефіцієнта рекуперації. При збільшенні коефіцієнта рекуперації цей вплив зменшується, але все ж таки залишається позитивним навіть при високих значеннях на відміну від раніше дослідженої в [4] схеми з розміщенням камери змішування

ператури $t_{\text{ох}}$. Другий потік направляється у камеру змішування, де змішується зі свіжим повітрям. Після чого повітря з температурою $t_{\text{сум}}$ направляються до конденсатора ТН. Охоложене відпрацьоване повітря після рекуператора спрямовується до випарника ТН, де воно охолоджується і на виході має температуру $t_{\text{в}}$. При такому компонуванні обладнання суміш повітря нагрівається у конденсаторі ТН до заданої температури t_1 і після очищення у фільтрі подається до приміщення.

Енергетичну ефективність ТНС повітряного опалення та вентиляції, зображеної на рис. 1, можна охарактеризувати коефіцієнтом використання зовнішньої енергії, який являє собою відношення затраченої зовнішньої енергії на одиницю отриманої теплоти для задоволення потреб повітряного опалення та вентиляції

потоків повітря після конденсатора ТН. Таким чином, схема з розміщенням камери змішування перед конденсатором ТН (рис.1) забезпечує покращення умов роботи ТН і є більш енергетично ефективною.

Висновки

1. При порівнянні двох способів утилізації теплоти відпрацьованого вентиляційного повітря (шляхом рециркуляції і рекуперації) перевагу слід віддавати рекуперації, оскільки вона створює більш сприятливі умови для роботи теплового насоса і забезпечує більш високу енергетичну ефективність всієї теплонасосної схеми повітряного опалення та вентиляції.

2. Додаткове застосування рециркуляції в теплонасосно-рекуператорній схемі опалення та вентиляції дає значний позитивний енергетичний ефект тільки при невисоких значеннях коефіцієнта рекуперації, зі збільшенням якого енергетичний ефект зменшується.

3. Теплонасосно-рекуператорна схема опалення та вентиляції з рециркуляцією відпрацьованого повітря має максимальний енергетичний ефект при розміщенні камери змішування потоків відпрацьованого та свіжого повітря перед конденсатором теплового насоса.

4. Подальші дослідження і розробка подібних теплонасосних схем будуть направлені на підвищення їх енергоефективності шляхом комбінованого використання різних відновлюваних джерел енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] J. – С. Nadorn (Editor), “Solar and Heat Pump Systems for Residential Buildings”, London, 2015, 274 pp.
[2] Б. Х. Драганов, А. А. Долінський, А. В. Міщенко, Є. М. Письменний, *Теплотехніка*, Київ, 2005, 504 с.
[3] М. К. Безродний, Н. О. Притула, *Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання*, Київ: НТУУ «КПІ», 2016, 272 с.
[4] М. К. Безродний, М. А. Галан, *Термодинамічна ефективність теплонасосних систем повітряного опалення та вентиляції з рекуператором теплоти та рециркуляцією відпрацьованого повітря*, Київ, 2012, Наукові Вісті «КПІ» № 1, 15-25 с.
Рекомендована кафедрою теоретичної і промислової теплотехніки Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Стаття надійшла до редакції ____2019

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

Притула Наталя Олександрівна — канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної і промислової теплотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, prytula@ukr.net.

Опанасюк Ірина Юрївна — студентка кафедри теоретичної і промислової теплотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, iraopanasuk97@gmail.com.

M. K. Bezrodny¹
N. O. Prytula¹
I.Yu. Opanasiuk¹

Combined heat pump scheme for heating and ventilation with heat recuperator and partial recirculation of exhaust ventilation air

¹National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Technological progress leads to an increase in the need for energy which leads to the creation of new technologies or the improvement of existing ones. a thermodynamic and numerical analysis of the energy efficiency of the heat pump system of air heating and ventilation with the heat recuperator and the recirculation of exhaust air was carried out. The analysis of existing heat pump systems was carried out and the complex of the auxiliary equipment of the heat pump system was improved. A complex of equations describing the thermodynamic state of the heat pump system and the specific energy consumption of heating and ventilation are obtained. It has been shown that the combined heat pump heating and ventilation system with heat recuperator and partial recirculation of ex-

haust ventilation air has the maximum energy effect when placing the mixing chamber of exhaust and fresh air flows in front of the condenser of the heat pump.

Keywords: heat pump system of heating and ventilation; air heat pump; recuperator; recirculation of exhaust air.

Bezrodnyy Mikhail Konstantinovich — 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 Alexandrovna — candidate of technical sciences, docent 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;

Opanasiuk Irina Yurievna — student of the Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: iraopanasuk97@gmail.com.

М.К. Безродный¹
Н.А. Пritула¹
И.Ю. Опанасюк¹

Комбинированная теплонасосная схема отопления и вентиляции с рекуператором теплоты и частичной рециркуляцией отработанного вентиляционного воздуха

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Технологический прогресс вызывает рост потребности в энергии, тепловой или электрической, что приводит к созданию новых технологий или усовершенствования существующих. Проведен термодинамический и численный анализ энергетической эффективности теплонасосной системы воздушного отопления и вентиляции с рекуператором теплоты и рециркуляцией отработанного воздуха. Проведен анализ существующих теплонасосных систем и усовершенствована компоновка вспомогательного оборудования теплонасосной системы. Получено комплекс уравнений, характеризующих термодинамическое состояние теплонасосной системы, и удельные затраты внешней энергии на отопление и вентиляцию. Показано, что комбинированная теплонасосная схема отопления и вентиляции с рекуператором-утилизатором теплоты и частичной рециркуляцией отработанного вентиляционного воздуха имеет максимальный энергетический эффект при размещении камеры смешивания потоков отработанного и свежего воздуха перед конденсатором теплового насоса.

Ключевые слова: теплонасосная система отопления и вентиляции; воздушный тепловой насос; рекуператор; рециркуляция отработанного воздуха.

Безродный Михаил Константинович — д-р. техн. наук, проф., профессор кафедры теоретической и промышленной теплотехники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, m.bezrodny@kpi.ua.

Пritула Наталья Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической и промышленной теплотехники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, npritula@ukr.net.

Опанасюк Ирина Юрьевна — студентка кафедры теоретической и промышленной теплотехники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, iraopanasuk97@gmail.com.