

ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ ПОВІТРЯНИЙ РЕКУПЕРАТОР ТЕПЛОТИ З ПОВЕРХНЕВОЮ ВОДЯНОЮ ПЛІВКОЮ

О. С. Ступак^{1, а}, А. А. Халатов^{1,2}, М. С. Гришук³, О. І. Галака³

¹Інститут технічної теплофізики НАН України

²Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Фізико-технічний інститут

³ПАТ «Бротен-Еко»

Анотація

У даній статті описано принцип роботи вискоефективного повітряного рекуператора теплоти, який принцип роботи якого полягає у цикла Майсоценка. Дана установка призначена для систем повітряного опалення приміщень, вентиляції житлових, громадських та промислових будівель. Розглянуто цикл, за яким працює рекуператор, тепломасообмінні процеси в апараті, його застосування та результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: рекуператор теплоти, опалення, вентиляція, кондиціонування, цикл Майсоценка

Вступ

Опалення, вентиляція та, кондиціонування є одними з найважливіших питань світової енергетики, які постійно потребує вдосконалення та інновацій через постійно зростаючі світові екологічні проблеми та через дуже швидке вичерпання природних ресурсів.

Вентиляція та кондиціонування необхідні в багатьох галузях промисловості та сферах побуту, починаючи від сфери обслуговування, офісів, та закінчуючи аграрною промисловістю та тяжкою енергетикою. А опалення є взагалі невід'ємним аспектом комфортного життя в країнах з холодним кліматом. Практично всі відомі методи опалення пов'язані з використанням органічного палива і з цієї причини характеризуються високою питомою вартістю. Якісним шляхом вирішення цієї проблеми є розвиток нетрадиційних джерел енергії та відновлювальної енергетики [1].

Системи повітряного опалення в Україні дещо не популярні, але в межах світу повітряне опалення часто застосовується в Європі та США. І одним з найважливіших аспектів припливно-витяжних систем вентиляції, а також систем повітряного опалення та вентиляції є саме рекуперація теплоти, тобто утилізація тепла витяжного повітря для підігрівання припливного [2].

Особливістю даного рекуператора є застосування тепломасообмінного апарату з системою сухих каналів і каналів з водяною плівкою на їх поверхні. Також унікальність даного методу рекуперації теплоти полягає у не адіабатному протіканню процесу випаровування водяної плівки з поверхні стінки вологого каналу, а також додаткової рекуперації теплоти завдяки конденсації водяних парів у потоці повітря з вищим потенціалом. При чому ефективна робота

рекуператора зберігається і при температурах нижче нуля.

Експериментальні дослідження проведено на тепломасообмінному апараті для рекуперації повітря системи повітряного опалення приміщень, що реалізує термодинамічний цикл Майсоценка.

1. Теоретичні основи циклу Майсоценка

Принцип роботи циклу Майсоценка полягає у використанні психрометричної різниці температур, тобто різниці температур атмосферного повітря і повітря, що контактує з водою, яка випаровується. Цикл Майсоценка легко можна описати на прикладі елементарної чарунки протитечійного тепломасообмінного апарату з двома незалежними потоками повітря (рис. 1) і дискретним подаванням охолодженого повітря. Зовнішній потік, потрапляючи в сухий робочий канал, охолоджується внаслідок контакту із внутрішньою поверхнею вологого робочого каналу, де відбувається випаровування води.

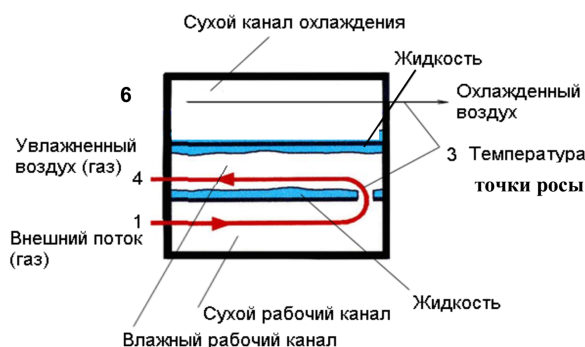


Рис. 1. Схема елементарної комірки тепломасообмінного апарату Майсоценка. Рисунок з роботи [3].

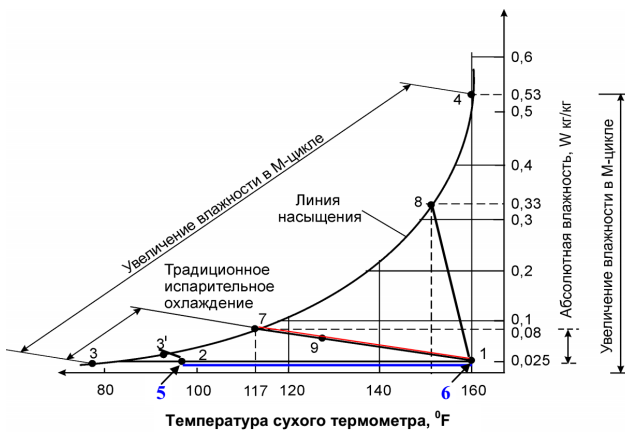


Рис. 2. Цикл Майсоценко на на психрометричній діаграмі. Рисунок з роботи [3].

В ідеальних умовах на вході у вологий робочий канал повітря досягає насиченого стану, а його температура – температури точки роси (рис. 2). Під час випаровування води у вологому робочому каналі температура повітря, що контактує з вологою стінкою, поступово знижується, оскільки на випаровування витрачається власна енергія повітря, що відповідає прихованій теплоті випаровування.

Практичне використання М-циклу охоплює багато енергетичних тепломасообмінних технологій: кондиціонери, градирні, опріснювачі, утилізатори теплоти, системи опалення, ексергетична башта, та інші [3].

2. Фізика процесу рекуперації теплоти

Особливістю даного повітряного рекуператора теплоти полягає в застосування тепломасообмінного апарату з системою сухих каналів і каналів з водяною плівкою на їх поверхні. Важливо розуміти, що процес теплопередачі протікає не від одного потоку повітря до іншого через стінку, а від потоку теплоти до стінки, і вже від стінки в тонку водяну плівку на поверхні каналу за рахунок чого температурний напір не обмежується перепадом температур між потоками повітря. Також унікальність даного методу рекуперації теплоти полягає у не адіабатному протіканню процесу випаровування водяної плівки з поверхні стінки вологого каналу, а також додаткової рекуперації теплоти завдяки конденсації водяних парів у потоці повітря з вищим потенціалом. При чому ефективна робота рекуператора зберігається і при температурах нижче нуля, за рахунок інтенсивного і ефективного протікання процесу тепломасообміну. Також додатковою особливістю апарату є наявність сухого каналу, в якому потік повітря попередньо охолоджується перед нагрівом, за рахунок чого ще більшим стає температурний напір при рекуперації теплоти.

3. Експериментальні дослідження та аналіз отриманих даних

Експериментальні дослідження даного апарату проводилися в якості рекуператора повітря системи повітряного опалення приміщень за схемою (рис. 3).

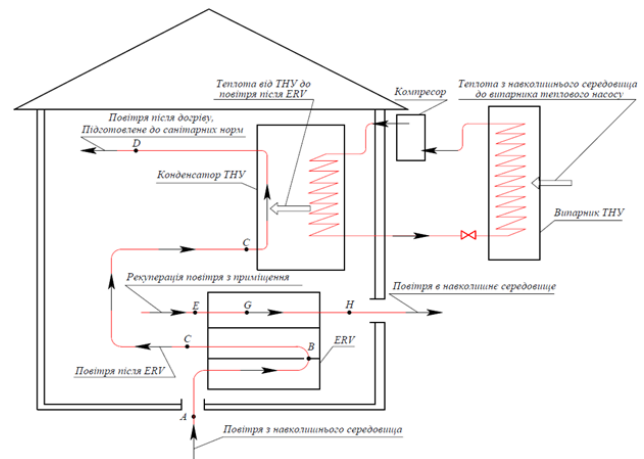


Рис. 3. Загальна схема повітряного опалення з рекуператором та повітряним тепловим насосом.

Представлена схема нагріву і зволоження атмосферного повітря задовольняє санітарним умовам по температурі і вологості повітря, прийнятим у США. Поступаюче ззовні повітря **точка А** надходить у тепломасообмінний апарат, де послідовно проходить робочий сухий канал, робочий вологий канал **точка В**). Оскільки це повітря насичене і його температура нижче санітарної норми, то воно догрівається додатковим джерелом теплоти, на даній схемі догрів проводиться традиційним повітряним тепловим насосом, при постійному вологовмісті так, щоб кінцева **точка С** процесу по температурі повітря опинилася в зоні санітарної норми. Повітря з приміщення (**точка D**) надходить в сухий канал охолодження тепломасообмінного апарату, де він при постійній вологості охолоджується до температури конденсації **точка G**, і далі знижує свою температуру до **точки E**, рухаючись по лінії насичення. Завдяки тому що при утилізації теплоти з потоку повітря, що видаляється конденсуються водяні пари і досягається вища ефективність рекуперації.

Ефективність рекуператора обчислювалася за класичною формулою:

$$\eta^t = \frac{t_D + t_E}{t_D + t_A}$$

Але так як даний рекуператор безпосередньо залежить від зміни фазового стану водяних парів у повітрі, тому ефективність також обраховується і за ентальпією повітря.

$$\eta^h = \frac{h_D + h_E}{h_D + h_A}$$

У результаті проведених експериментів ефективність роботи тепломасообмінного апарату даного типу для потреб рекуперації повітря на базі системи повітряного опалення приміщень спостерігалася на рівні 85 % за температурою, та близько 75 % за ентальпією.

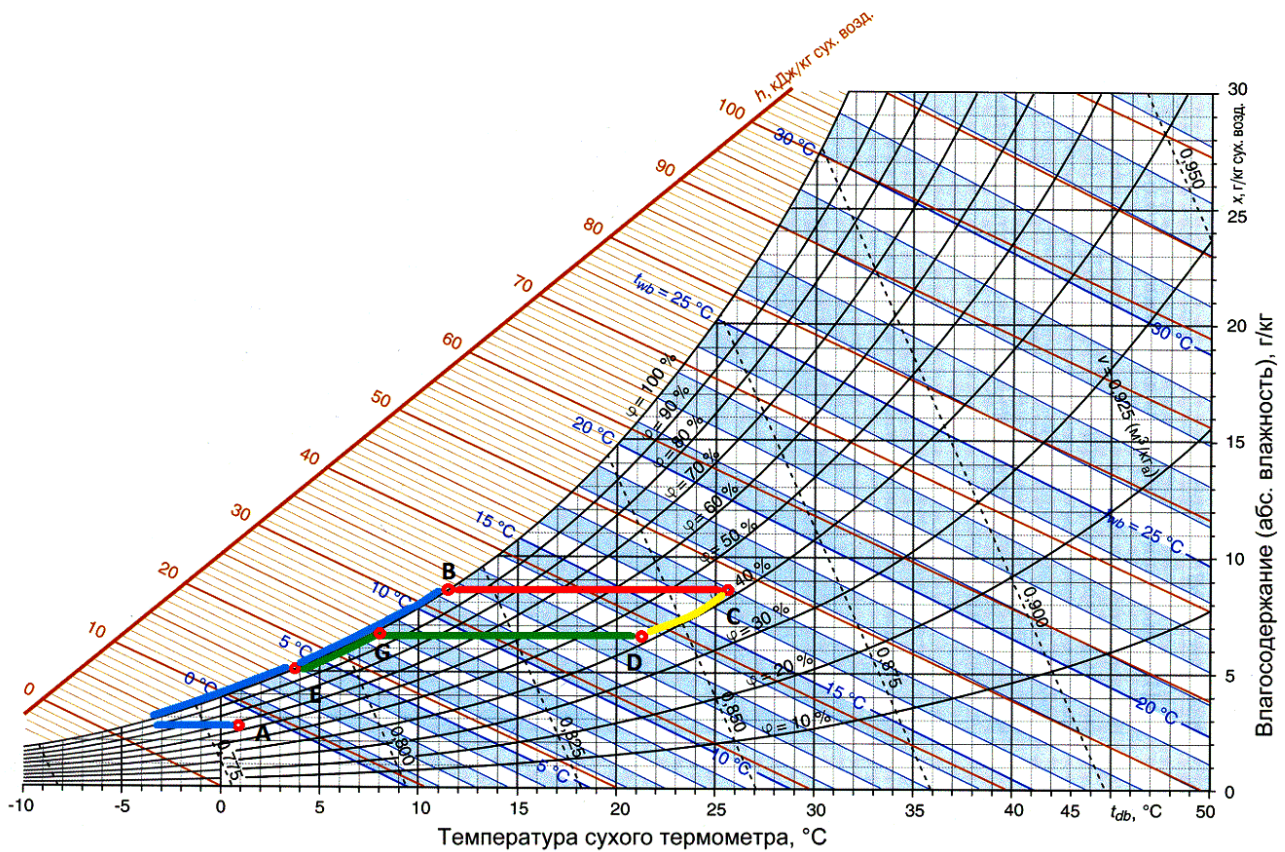


Рис. 4. Реальний цикл Майсоценко для опалення приміщень на психрометричній діаграмі.

Висновки

Результати експериментальних досліджень показали що повітряний рекуператор теплоти з поверхневою водяною плівкою більш ефективний на відміну від інших рекуператорів, ефективність яких зберігається на рівні 50 – 60 % у сухих рекуператорів, та до 80 % у вологих.

Ефективність роботи апарата зростає при кращих умовах протікання процесу конденсації у каналі утилізації, теоретично повітря у такому апараті може охолодитися нижче температури навколишнього середовища, тобто ККД рекуператора може стати вище 100 %.

Окрім того такий спосіб рекуперації теплоти дозволяє експлуатувати системи повітряного опалення без підмішування вторинного повітря, що позитив-

но впливає як на мікроклімат приміщення, так і на здоров'я людини. А також додатково дозволяє зволожувати повітря що підігрівається для потреб опалення, та осушувати повітря при кондиціонуванні без додаткових приладів та пристроїв.

Перелік використаних джерел

1. Куделя П. П. Низькоенергетичні опалювальні системи — 2015. — 153 с.
2. Безродний М. К. Теплові насоси та їх використання — 2013. — 312 с.
3. Халатов А. А. Термодинамический цикл Майсоценко и перспективы его применения в энергетических, тепло- и массообменных технологиях. — 2012. — 44 с.