

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦІЇ, КОНДИЦІЮВАННЯ ТА ОСУШЕННЯ ПОВІТРЯ У ВИРОБНИЧОМУ ПРИМІЩЕННІ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ ВИТЯЖНОГО ПОВІТРЯ

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

## Анотація

У роботі викладено результати термодинамічного аналізу теоретичної моделі теплонасосної системи вентиляції, кондиціювання та осушення виробничого приміщення за змінних величин внутрішніх надходжень вологи та теплоти у період перехідної та теплої пори року. Встановлено теоретичну холодильну ефективність даної системи та показано переваги рекуперації енергії для зниження енергозатрат на роботу системи. Дану модель можна застосувати для проектування припливно-витяжних установок із встановленим контуром теплового насоса.

**Ключові слова:** тепловий насос, холодильний коефіцієнт, рекуператор, вентиляція, кондиціювання, відновлювані джерела енергії, осушення, припливно-витяжна установка.

## Abstract

The article presents the results of thermodynamic analysis of the theoretical model of the heat pump system of ventilation, air conditioning and dehumidification of the production room with variable values of internal moisture and heat generation during the transition and warm seasons. The theoretical refrigeration efficiency of this system was established and the benefits of energy recovery to reduce energy consumption for the system were shown. This model can be used for the design of air handling units with a set heat pump circuit.

**Keywords:** heat pump, refrigerant efficiency, recuperator, ventilation, air conditioning, renewable sources of energy, dehumidification, air-handling unit.

## Вступ

Надлишкова волога є однією з головних причин пошкодження і руйнування будівель, особливо в українських умовах, коли вологі стіни під дією низьких температур замерзають, у результаті чого бетон і цегляна кладка схильні до розтріскування, що призводить до передчасного виходу споруд з ладу [1].

Осушення повітря шляхом конденсації є одним із найбільш поширених методів в припливно-витяжних установках, оскільки є відносно простим у виконанні та обслуговуванні, не потребує регенерації або заміни сорбентів та дозволяє досягати високої енергоефективності за рахунок встановленого контуру теплового насоса (ТН) [2].

У роботі розглядається ТНУ вентиляції та кондиціювання виробничого приміщення з рекуперацією вентиляційного повітря. Її компоновка є типовою та використовується багатьма виробниками ТНУ у тому числі для цілей осушення. Принцип та перевага даної схеми полягає в тому, що виконуються умови збереження постійних параметрів припливного повітря як по температурі, так і по вологості, у той час як в реальній практиці тільки один із параметрів є цільовим (найчастіше температура) [3]. Даний принцип реалізується спеціальною організацією повітряних потоків таким чином, щоб досягалась максимально ефективна утилізація енергії, яка була згенерована в системі.

У даному дослідженні було проаналізовано роботу даної системи та визначено її енергоефективність не тільки для вентиляції та кондиціювання, але і для осушення виробничих приміщень, де є внутрішні надходження вологи.

## Результати дослідження

На рис. 1 зображена принципова схема вентиляції, кондиціювання та осушення з рекуперацією відпрацьованого повітря та зі змінною часткою свіжого зовнішнього повітря. Принцип роботи схеми:

свіже зовнішнє повітря з температурою  $t_0$ , вологовмістом  $d_0$  і масовою витратою  $G_0$  поступає до рекуператора, де охолоджується за постійного вологовмісту до температури  $t_{ox}$  за рахунок холоду вентиляційних викидів з приміщення з температурою  $t_2$ , вологовмістом  $d_2$  і масовою витратою  $G_{заг}$ . Охолоджене зовнішнє повітря направляється до випарника ТН, де охолоджується з частковою конденсацією водяної пари до температури  $t_B$  та вологовмісту  $d_B$ . Підігріте відпрацьоване повітря після рекуператора за температури  $t_n$  та сталого вологовмісту надходить до конденсатора ТН, де нагрівається і на виході має температуру  $t_k$  з незмінним вологовмістом  $d_2$ . Нагріте відпрацьоване повітря розділяється на два потоки: один потік з масовою витратою  $G_0$  скидається в навколишнє середовище; другий потік подається до камери змішування, де змішується з охолодженим зовнішнім повітрям після випарника ТН. Отримана суміш повітря ( $t_1, d_1, G_{заг}$ ) після камери змішування спрямовується до виробничого приміщення для цілей вентиляції, кондиціонування (для компенсації надходжень теплоти через огороження та внутрішніх тепловиділень) та видалення зайвої вологи з приміщення.

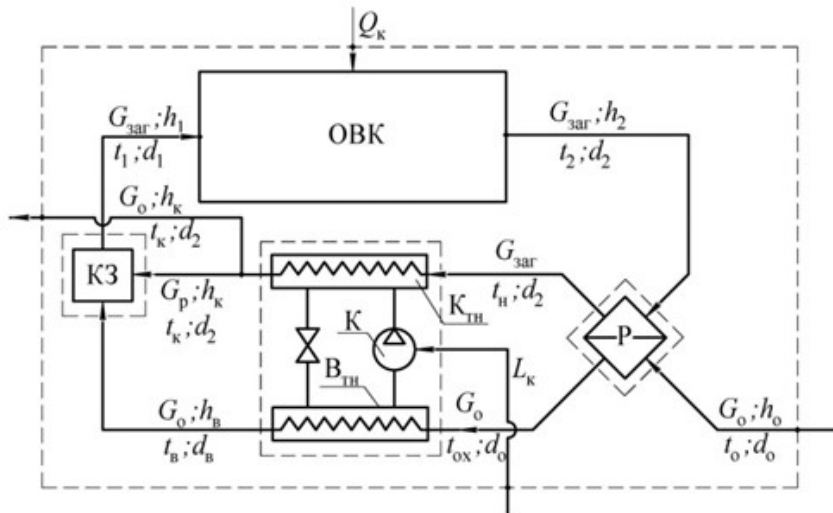


Рис. 1. Принципова ТНУ вентиляції, кондиціонування та осушення повітря в приміщенні з рекуперацією вентиляційного повітря: К<sub>ТН</sub> – конденсатор ТН; В<sub>ТН</sub> – випарник ТН; К – компресор; КЗ – камера змішування; Р – рекуператор; ОБК – об’єкт вентиляції та кондиціонування повітря

Розрахунковий аналіз параметрів ТНУ виконано для типового виробничого приміщення з заданим технологічним режимом. Як прототип обрано ковальський цех одного з підприємств в Київській області. Для забезпечення комфортних умов роботи в приміщенні цеху були встановлені наступні параметри внутрішнього повітря [4]: температура в приміщенні  $t_2 = 19 \text{ }^\circ\text{C}$ ; відносна вологість повітря в приміщенні  $\varphi_2 = 50 \%$ ; за кількістю вологи, що виділяється в цеху, та витратою повітря був визначений діапазон зміни приросту вологовмісту повітря  $\Delta d = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 \text{ г/кг}_{\text{с.п.}}$ . З графіків на рис. 2 видно, що енергоефективність даної ТНУ досягає найбільших значень також в зоні відносно низьких температур довкілля і значною мірою залежить від відносної вологості атмосферного повітря, ефективності процесу рекуперації та потреби в осушенні приміщення. Значення холодильних коефіцієнтів схеми мало залежать від характеристики приміщення, тобто величини  $K$ , в усьому діапазоні температур  $t_0$ .

### Висновки

1. Аналіз даної ТНУ вентиляції, кондиціонування та осушення показав переваги рекуперації холоду для забезпечення вищого холодильного коефіцієнта схеми в робочому діапазоні температур навколишнього середовища за розглянутих значень відносної вологості зовнішнього повітря та величини приросту вологовмісту повітря.

2. Розглянута система вентиляції, кондиціонування та осушення в приміщеннях, де потребується підтримання технологічного режиму (температури та вологовмісту) в теплий період року, може ефективно працювати до деяких помірних значень параметрів зовнішнього середовища, подальше збільшення яких обмежується максимальною температурою скидного повітря після конденсатора ТН.

3. Дана схема є найбільш ефективною для використання у країнах з помірним континентальним кліматом, якому притаманні низькі відносні вологості повітря (40 %) та невисокі розрахункові значення температур (34 °С).

4. Застосування ТН для осушення приміщень, де наявні виділення вологи, є енергоефективним та екологічним заходом, який дозволяє економити первинні енергоресурси.

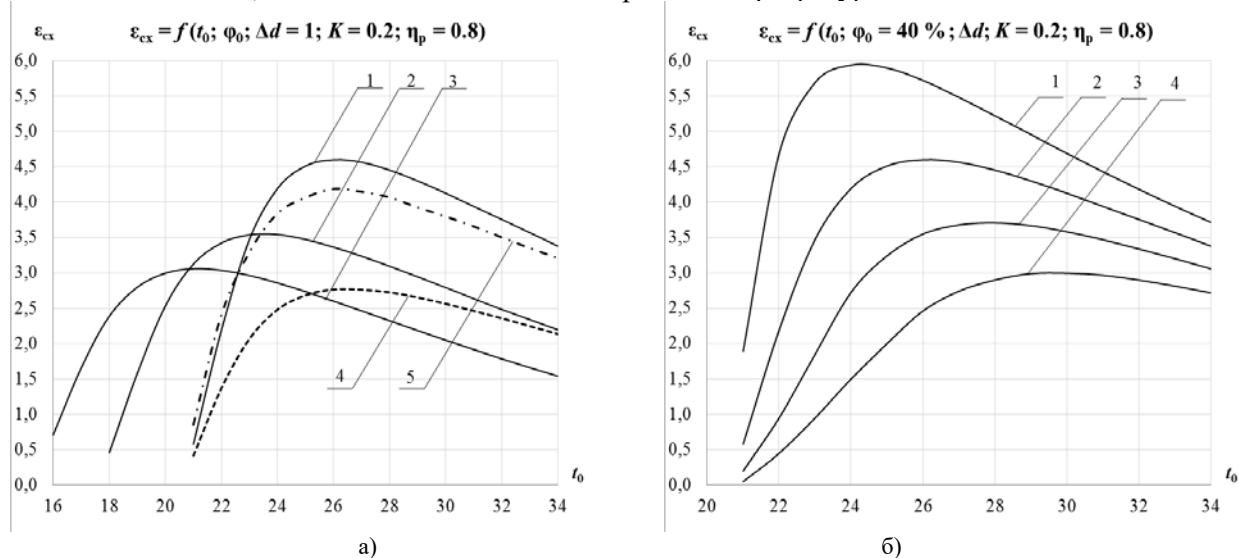


Рис. 2. Залежності холодильного коефіцієнта всієї схеми від температури та відносної вологості зовнішнього повітря (а), величини приросту вологовмісту повітря  $\Delta d$  (б): а)  $\Delta d = 1$  г/кг с.п.,  $K = 0.2$  і  $\eta_p = 0.8$ : 1-3 –  $\varphi_0 = 40\% - 80\%$ ; 4 –  $\varphi_0 = 40\%$  і  $\eta_p = 0$ ; 5 –  $\varphi_0 = 40\%$  і  $K = 0.4$ ; б)  $\varphi_0 = 40\%$ ,  $K = 0.2$  і  $\eta_p = 0.8$ : 1-4 –  $\Delta d = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$  г/кг с.п..

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. В. Г. Гагарин, «Комментарии к статье "Влага в зданиях"», *АВОК*, №6, С. 36-38. 2002.
2. A. Picallo-Perez, J. M. Sala-Lizarranga, M. Odriozola-Maritorena, "Ventilation of buildings with heat recovery systems: Thorough energy and exergy analysis for indoor thermal wellness", *Journal of Building Engineering*. vol. 39, pp. 56-71, 2021. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102255
3. S. Rotger-Griful, "Demand Response Potential of Ventilation Systems in Residential Buildings. Energy and Buildings". vol. 121, pp. 75-89, 2016. DOI:10.1016/j.enbuild.2016.03.061.
4. *Опалення, вентиляція та кондиціонування // Державні будівельні норми України ДБН В.2.5-67:2013*. Київ, Україна: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013, 149 с.

Кафедра технічної теплофізики та промислової теплоенергетики

**Безродний Михайло Костянтинович** — д-р. техн. наук, проф., професор кафедри теплоенергетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, [m.bezrodny@kpi.ua](mailto:m.bezrodny@kpi.ua).

**Місюра Тимофій Олексійович** — аспірант, теплоенергетичний факультет, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, [Sconosciuto.T@gmail.com](mailto:Sconosciuto.T@gmail.com).

Науковий керівник: **Безродний Михайло Костянтинович** — д-р. техн. наук, проф., професор кафедри теплоенергетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

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

**Misiura Tymofii O.** — postgraduate, Faculty of Heat and Power Engineering, Department of Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: [Sconosciuto.T@gmail.com](mailto:Sconosciuto.T@gmail.com).

Supervisor: **Bezrodny Mykhailo K.** — doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv