

## ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВИСОКОЕФЕКТИВНОЇ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІЮВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ З РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ХОЛОДУ

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

### Анотація

*У роботі аналізується енергоефективність підтримання температурних і вологісних умов у виробничому приміщенні в теплий період року за допомогою теплонасосної системи вентиляції та кондиціювання повітря з рециркуляцією холоду в залежності від параметрів зовнішнього повітря. Розроблено теоретичну модель цієї системи та виконано числовий аналіз її термодинамічної ефективності. Встановлено, що дана модель може застосовуватись в країнах з помірним континентальним кліматом в усьому діапазоні параметрів навколишнього середовища, коли об'єктом вентиляції є приміщення з невисокою кратністю повітрообміну.*

**Ключові слова:** теплонасосно-рекуператорна схема, повітряний тепловий насос, вентиляція та кондиціювання, холодильний коефіцієнт, рециркуляція.

### Abstract

*The work analyses energy efficiency of maintaining temperature and humidity conditions in the production area during warm season using a heat pump ventilation and air conditioning system with recirculation of generated cold depending on the outside air parameters. A theoretical model of this system has been developed and a numerical analysis of its thermodynamic efficiency has been performed. It is established that this model can be used in countries with a temperate continental climate in the whole range of environmental parameters, when the object of ventilation is an area with a low rate of air exchange.*

**Keywords:** heat pump-recuperator system, air heat pump, ventilation and conditioning, refrigeration coefficient, recirculation.

### Вступ

За підсумками Рамкової конвенції ООН 2015 року в Парижі Європейський Союз встановив мету до 2050 р. скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 80 % [1]. Для досягнення цілей було запропоновано використання відновлюваних джерел енергії та електроенергії замість викопного палива для цілей теплопостачання та генерації холоду. На сьогодні застосування теплових насосів (ТН) продовжує зростати, оскільки дана технологія пропонує можливість забезпечення вентиляції та кондиціювання в будівлях, зменшуючи споживання первинної енергії по відношенню до традиційних систем [2]. Повітряні ТН є особливо ефективними в системах кондиціювання та вентиляції житлових та виробничих приміщень. Проте питання їх правильної інтеграції та підвищення продуктивності досі мають велике значення для економії енергії.

У даній роботі пропонується схема з високою ефективністю в усьому діапазоні температури та відносної вологості навколишнього середовища за рахунок високого коефіцієнта рециркуляції вентиляційного повітря. Ефективність зростає за рахунок більшої частки повітря з приміщення, яка в суміші зі свіжим повітрям надходить до випарника ТН. Тобто в умовах більшої рециркуляції холоду, який генерується системою.

Метою роботи є аналіз енергоефективності підтримання теплового та вологісного режиму у виробничому приміщенні в теплий період року за рахунок теплонасосної установки (ТНУ) вентиляції та кондиціювання повітря з максимально допустимим коефіцієнтом рециркуляції в залежності від параметрів зовнішнього повітря, а також геометричних і теплофізичних характеристик будівлі, кратності повітрообміну об'єкта кондиціювання та внутрішніх тепловиділень (величина  $K$ ). Результатом дослідження є оцінка енергетичної ефективності (холодильні коефіцієнти ТН і ТНУ) та параметрів повітря у вузлових точках даної системи.

## Результати дослідження

На рис. 1 зображена принципова схема вентиляції та кондиціювання з рециркуляцією відпрацьованого повітря та зі змінною часткою свіжого зовнішнього повітря. Принцип роботи схеми: два потоки свіжого зовнішнього повітря з температурою  $t_0$ , вологовмістом  $d_0$  і масовими витратами  $G_p$  та  $G_0$  поступають до першої та другої камер змішування відповідно (КЗ1 і КЗ2), де змішуються з двома потоками відпрацьованого повітря з приміщення за температури  $t_2$ , вологовмісту  $d_2$  і з масовими витратами  $G_0$  та  $G_p$  відповідно. Таким чином, на виході з КЗ отримуються суміші повітря з однаковими масовими витратами, які рівні необхідній витраті повітря для задоволення потреб вентиляції  $G_{zag}$ . Суміш повітря після КЗ1 за температури  $t_{c1}$  і вологовмісту  $d_{c1}$  надходить до конденсатора ТН, де нагрівається і на виході має температуру  $t_k$  за постійного вологовмісту. Суміш повітря після КЗ2 за температури  $t_{c2}$  і вологовмісту  $d_{c2}$  надходить до випарника ТН, де охолоджується з частковою конденсацією водяної пари до температури  $t_b$  та заданого технологічними умовами вологовмісту  $d_1$ . Обидва потоки спрямовуються до рекуператора, у якому відбувається нагрівання потоку повітря після випарника до заданої температури  $t_1$  за рахунок теплоти повітря, нагрітого в конденсаторі ТН. Процес теплообміну проходить за постійних вологовмістів обох повітряних потоків. Нагріта суміш повітря ( $t_1$ ,  $d_1$ ,  $G_{zag}$ ) після рекуператора спрямовується до виробничого приміщення для цілей вентиляції та кондиціювання (для компенсації надходжень теплоти через огороження та внутрішніх тепло- і вологовиділень).

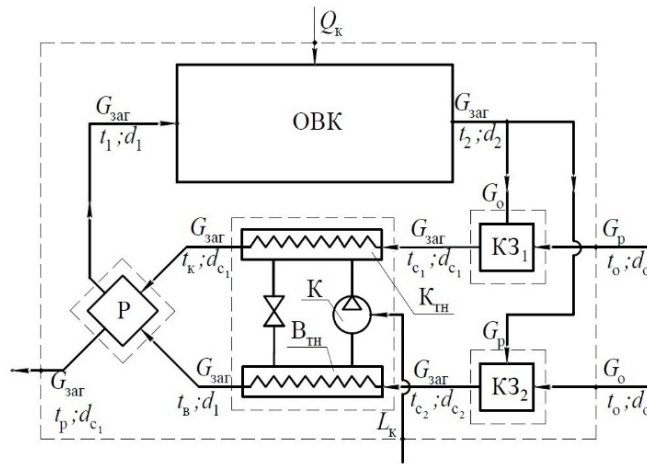


Рис. 1. Принципова ТНУ вентиляції та кондиціювання повітря в приміщенні: К<sub>ТН</sub> – конденсатор ТН; В<sub>ТН</sub> – випарник ТН; К – компресор; КЗ1 – перша камера змішування; КЗ2 – друга камера змішування; Р – рекуператор; ОВК – об’єкт вентиляції та кондиціювання повітря.

Розрахунковий аналіз параметрів ТНУ вентиляції та кондиціювання повітря виконано для типового виробничого приміщення з вологовиділенням. Як прототип був обраний виробничий цех кондитерської фабрики «Рошен» в Київській області [3]. Для забезпечення комфортних умов роботи в приміщенні цеху були встановлені наступні параметри внутрішнього повітря [4]: температура в приміщенні  $t_2 = 18$  °С; відносна вологість повітря в приміщенні  $\varphi_2 = 50$  %. На рис. 2 побудовано графічні залежності холодильних коефіцієнтів ТН та ТНУ вентиляції та кондиціювання від температури  $t_0$  та відносної вологості  $\varphi_0$  навколишнього середовища. Випадок, коли  $K_p = 0$ , описує відсутність рециркуляції повітря та вказує на різке погіршення температурного режиму роботи ТНУ.

## Висновки

Аналіз даної ТНУ вентиляції та кондиціювання показав вагомість рециркуляції холоду для забезпечення високої ефективності роботи схеми в широкому діапазоні температур і відносних вологостей навколишнього середовища. Збільшення теплових притоків зумовлює до ще більш ефективної рециркуляції холоду, так як для кондиювання потребується більш низька температура припливного повітря. Дана теоретична модель ТНУ може бути придатною для застосування як в країнах з помірним сухим континентальним кліматом, так і з вологим тропічним кліматом в усьому діапазоні температур навколишнього середовища, коли об’єктом вентиляції виступає виробниче приміщення з невисокою кратністю повітрообміну (цех, склад, машинне відділення).

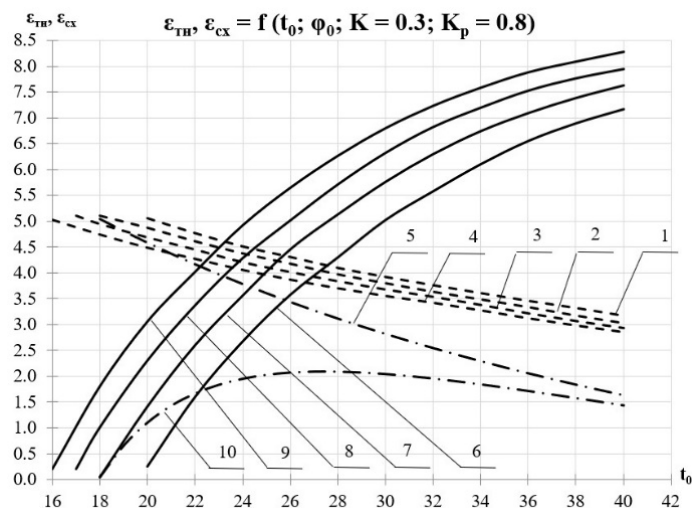


Рис. 2. Залежності холодильних коефіцієнтів ТН та схеми в цілому від температури та відносної вологості навколишнього середовища, величини  $K$  і коефіцієнта рециркуляції  $K_p = 0,8$ ;  $K = 0,3$ : 1-4 ( $\epsilon_{ТН}$ ), 6-9 ( $\epsilon_{СХ}$ ) –  $\phi_0 = 40\%$ ;  $50\%$ ;  $60\%$ ;  $70\%$ ; 5 ( $\epsilon_{ТН}$ ), 10 ( $\epsilon_{СХ}$ ) –  $K_p = 0$ .

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. F. Aguilar, D. Crespi-Llorens, P.V. Quiles, "Techno-economic analysis of an air conditioning heat pump powered by photovoltaic panels and the grid", *Solar Energy*, vol. 180, pp. 648-663, 2019.
2. Domenico Mazzeo. "Solar and wind assisted heat pump to meet the building air conditioning and electric energy demand in the presence of an electric vehicle charging station and battery storage", *Journal of Cleaner Production*, vol. 213, pp. 1228-1250, 2019.
3. М. К. Безродний, Н. О. Притула, М. О. Цветкова, «Термодинамічний аналіз теплонасосної системи вентиляції для підтримання комфортних умов в виробничих приміщеннях з вологовиділенням», *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ"*, №13, с. 77-82. 2018.
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.

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

**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)

**Misiura Tymofii O.** — postgraduate, 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).

Supervisor: **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