

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ОПЕРАЦІЙНИХ ЧИСТИХ КІМНАТ

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

У статті наведений аналіз ексергоефективності впровадженної центральної прямотечійної системи кондиціювання повітря (СКП) операційних чистих кімнат, отриманий на її інноваційній математичній дослідницькій моделі залежно від різних факторів, що впливають на її роботу, та запропоновані шляхи енергозбереження для цієї СКП.

Вступ. В останні десятиріччя за кордоном з метою заощадження енергетичних ресурсів ведуться фундаментальні дослідження діяльності ряду галузей, виробництв і технологій із позицій ексергетичної методології [2–5]. Ця методологія була обґрунтована у роботах Р. К. Клаузіуса, Дж. В. Гіббса, Ж. Гюї, А. Стодоли, Я. Шаргута та Р. Петели. Величина, що визначає придатність до дії (працездатність) ресурсів речовини та енергії, була названа ексергією, а функції, що визначають її значення, – ексергетичними.

Ексергія не тільки кількісно характеризує енергію будь-якого виду, а й дозволяє оцінити її якісний стан. Вона визначає перетворюваність, придатність енергії для технічного використання в будь-яких заданих умовах.

Оскільки ексергія є єдиною мірою працездатності, придатності енергетичних ресурсів, її застосування дає змогу дати об'єктивну оцінку енергетичних ресурсів будь-якого виду. Отже, ексергія є деякою універсальною мірою енергетичних ресурсів. А ексергетичний баланс, на підставі якого встановлюється масштаб використання енергетичних ресурсів, вказує на можливість підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) процесу.

Нині вартісні оцінки не можуть служити єдиною мірою ефективності енергетичного обладнання, які переробляють енергоресурси. Ексергія є фізичним, а не економічним критерієм і визначає незалежність цього параметра від кон'юнктурних коливань цін. В той самий час вартісні показники не дозволяють здійснити довгострокове прогнозування. Визначати мінімум необхідно не грошовими витратами, а витратами ексергії на одиницю виданої теплоти.

У сучасних технологіях, пов'язаних з перетворенням енергії, а саме у системах кондиціювання повітря, важливе місце займають обладнання і процеси, об'єктивна оцінка ступеня енергетичної досконалості яких може бути встановлена тільки на основі аналізу їх ексергоефективності.

Отже, зменшення затрат енергії, споживаної системами кондиціювання повітря, диктує необхідність їх оптимізації, що найповніше може бути досягнуто на основі ексергетичного аналізу, який враховує не тільки кількість, але й якість затраченої енергії [2 – 5].

Описання об'єкту аналізу та його роботи. Для операційних чистих кімнат нами застосовано центральну прямотечіну СКП, схематично зображену на рис. 1. У теплий період року (ТТР) зовнішнє повітря через клапан 11 забирається центральним кондиціонером, очищається у фільтрі 10, далі проходить через повітрянагрівник 9, охолоджується та осушується за політропою у повітроохолоднику 8, сепарується у крапельловнику 7, а відтак вентиляторним агрегатом 6 подається через фільтр кондиціонера 5 і фільтри 3 на вході у чисті операційні кімнати. Видаляється відпрацьоване повітря з операційних чистих приміщень з верхньої і нижньої зон витяжною установкою через її клапан 17 витяжним вентилятором 18.

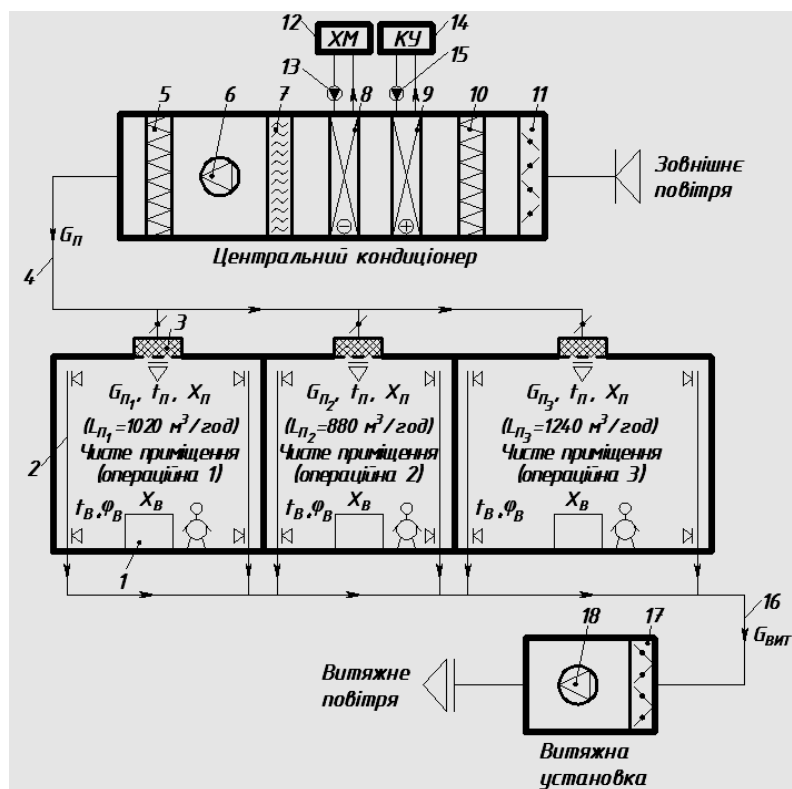


Рис. 1. Принципова схема впровадженої центральної прямотечіної системи кондиціонування повітря діючих кардіологічних операційних

Завданням даної роботи було провести дослідження ексергоефективності впровадженої прямотечіної системи кондиціонування повітря операційних чистих кімнат, отриманий на її інноваційній математичній дослідницькій моделі [5] залежно від різних факторів, що впливають на її роботу, та запропонувати шляхи енергозбереження для цієї СКП. В цій моделі складались матеріальний, тепловий (енергетичний) та ексергетичний баланси даної системи, які враховували всі можливі варіанти її роботи в реальних умовах.

Для оцінки ексергоефективності вказаної СКП користувались поняттям ексергетичного ККД, який визначався як відношення приросту ексергії повітря у кондиціонованому приміщенні $E_{\text{вих}}$ до ексергії приводу СКП $E_{\text{вх}}$, яка витрачалась на підтримання процесу [5]:

$$\eta_e = \frac{E_{\text{ВИХ}}}{E_{\text{ВХ}}} \quad (1)$$

Результати дослідницької роботи. Завдяки розрахунково-кількісним експериментам, проведеним на інноваційній математичній дослідницькій моделі описаної центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря операційних чистих кімнат, отримані значення ексергетичного ККД η_e залежно від різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям Δt_n , температури t_b внутрішнього повітря і коефіцієнта трансформації EER холодильної машини, та подані у вигляді відповідних залежностей ексергетичного ККД η_e (рис. 2, 3) і на цій основі зроблений аналіз. Разом з тим нами було встановлено незначний вплив на ексергетичний ККД η_e відносних вологостей зовнішнього φ_3 , внутрішнього φ_b і припливного φ_n повітря (максимально у межах 10%).

Результати дослідницької роботи кінцево було вирішено подати у вигляді такої узагальненої степеневі залежності:

$$\eta_e = C \cdot (\Delta t_n / t_b)^\alpha \cdot EER^\beta \quad (2)$$

Показники степеня α і β у рівнянні (2) отримані з результатів досліджень, поданих нами на рис. 2 і 3.

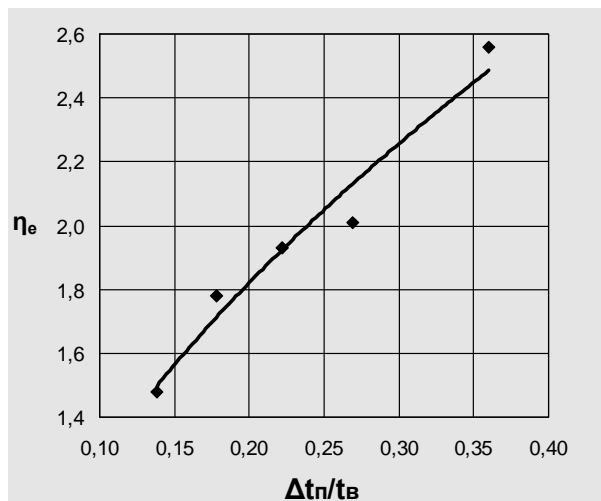


Рис. 2. Залежність ексергетичного ККД η_e

впровадженої центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря операційних чистих кімнат від відношення різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям Δt_n до температури t_b внутрішнього повітря $\Delta t_n / t_b$ і умов проведення досліджень:

$$G_n = 4300 \text{ кг/год}; \Delta t_n = 4,0-9,0^\circ\text{C}; t_b = 29-25^\circ\text{C}; EER = 2,574; t_3 = 40-30^\circ\text{C}; \\ \varphi_b = 64-54\%; \varphi_3 = 36-44\%; \varphi_n = 79-92\%$$

Тоді залежність ексергетичного ККД η_a впровадженої центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря операційних чистих кімнат від відношення різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям до

температури внутрішнього повітря $\Delta t_{\text{п}}/t_{\text{в}}$ можна подати такою степеневою залежністю:

$$\eta_e = 4,27 \cdot (\Delta t_{\text{п}}/t_{\text{в}})^{0,53}. \quad (3)$$

Максимальна похибка розрахунків за формулою (3) становить 6,0%.

Отже, на основі залежності (рис. 2, формула (3)) знайдено значення показника степеня α , який для нашого випадку становить 0,53.

Аналізуючи отримані дані досліджень на рис. 2, можна дійти таких висновків. Загальне зростання відношення різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям до температури внутрішнього повітря $\Delta t_{\text{п}}/t_{\text{в}}$ від 0,14 до 0,36, тобто в 2,57 рази, призводить до значного зростання значення ексергетичного ККД η_e від 1,48 до 2,56, тобто в 1,73 рази або на 73%. Варто також зауважити (рис. 2), що найбільше зростання ексергетичного ККД відбувається за різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям $\Delta t_{\text{п}} = 9,0^\circ\text{C}$. Тому з метою енергозбереження впроваджену систему кондиціонування повітря потрібно використовувати за вищої різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям, а саме, наприклад $\Delta t_{\text{п}} = 9,0^\circ\text{C}$ (за будь-якої температури внутрішнього повітря), що дасть можливість отримати найвищий ексергетичний ККД η_e , а значить отримати енергоощадний варіант використання впровадженої системи кондиціонування повітря.

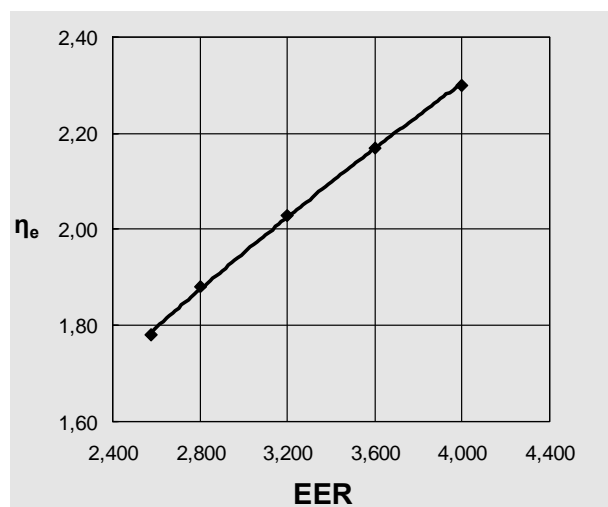


Рис. 3. Залежність ексергетичного ККД η_e

впровадженої центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря операційних чистих кімнат від коефіцієнта трансформації EER холодильної машини і умов проведення досліджень:

$$G_{\text{I}} = 4300 \text{ кг/год}; \Delta t_{\text{п}} = 5,0^\circ\text{C}; t_{\text{в}} = 28^\circ\text{C}; \Delta t_{\text{п}}/t_{\text{в}} = 0,18; t_3 = 38^\circ\text{C};$$

$$\varphi_{\text{в}} = 64\%; \varphi_3 = 38\%; \varphi_{\text{п}} = 84\%$$

Тоді залежність ексергетичного ККД η_e впровадженої центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення від коефіцієнта трансформації EER холодильної машини можна подати такою степеневою залежністю:

$$\eta_e = 1,034 \cdot EER^{0,58} . \quad (4)$$

Максимальна похибка розрахунків за формулою (4) становить 0,5%.

Отже, на основі залежності (рис. 3, формула (4)) знайдено значення показника степеня β , який для нашого випадку становить 0,58.

Аналізуючи отримані дані досліджень на рис. 3, можна дійти таких висновків. Загальне зростання відношення коефіцієнта трансформації EER холодильної машини від 2,574 до 4,0, тобто в 1,554 рази, призводить до зростання значення ексергетичного ККД η_e від 1,78 до 2,30, тобто в 1,29 рази або на 29%. Варто також зауважити (рис. 3), що найбільше зростання ексергетичного ККД відбувається за коефіцієнта трансформації холодильної машини $EER = 4,0$. Тому з метою енергозбереження впроваджену систему кондиціонування повітря бажано використовувати за вищого коефіцієнта трансформації холодильної машини, а саме, наприклад $EER = 4,0$, що дасть можливість отримати вищий ексергетичний ККД η_e , а значить отримати енергоощадний варіант використання впровадженої системи кондиціонування повітря.

Остаточо визначаємо, що коефіцієнт $C = 2,53$, та отримуємо узагальнену степеневу залежність для впровадженої центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря операційних чистих кімнат:

$$\eta_e = 2,53 \cdot (\Delta t_n / t_b)^{0,53} \cdot EER^{0,58} . \quad (5)$$

Максимальна похибка розрахунків за формулою (5) становить 8,7%.

Висновки. Отримано узагальнену степеневу залежність ексергетичного ККД η_e впровадженої центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря операційних чистих кімнат від відношення різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям до температури внутрішнього повітря $\Delta t_n / t_b$ та коефіцієнта трансформації EER холодильної машини. Показано, що з метою енергозбереження впроваджену систему кондиціонування повітря бажано використовувати за вищої різниці температур між внутрішнім і припливним повітрям, а саме, наприклад $\Delta t_n = 9,0^\circ\text{C}$ (за будь-якої температури внутрішнього повітря), та за вищого коефіцієнта трансформації холодильної машини, а саме, наприклад $EER = 4,0$, що дасть можливість отримати найвищий ексергетичний ККД η_e , а значить отримати енергоощадний варіант використання впровадженої системи кондиціонування повітря.

Література

1. Федотов А. Е. Чистые помещения / А. Е. Федотов // Второе изд., перераб. и доп. – М. : АСИНКОМ, 2003. – 576 с.
2. Шаргут Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. – М. : Энергия, 1968. – 280 с.
3. Эксергетические расчеты технических систем: справ. пособие / [В.М. Бродянский, Г. П. Верхивкер, Я. Я. Карчев и др.]; под ред. А. А. Долинского,

В. М. Бродянского; Ин-т технической теплофизики АН УССР. – Киев : Наук. думка, 1991. – 360 с.

4. *Бродянский В. М.* Эксергетический метод термодинамического анализа / *В.М. Бродянский*. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.

5. *Лабай В. Й.* Залежність ексергетичного ККД системи кондиціонування повітря операційних чистих кімнат від коефіцієнта трансформації холодильної машини / *В. Й. Лабай, Д. І. Гарасим* // Науково-технічний журнал «Холодильна техніка і технологія», т. 51, вип. 3. – Одеса : ОНАХТ, 2015. – С. 14–21.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ОПЕРАЦИОННЫХ ЧИСТЫХ КОМНАТ

Гарасим Д. И., Лабай В. И.

В статье приведенный анализ эксергоэффективности внедренной центральной приточной системы кондиционирования воздуха (СКВ) операционных чистых комнат, полученный на ее инновационной математической исследовательской модели в зависимости от разных факторов, какие влияют на ее работу, и предложены пути энергосбережения для этой СКВ.

ENERGYSAVING IN AIR CONDITIONING SYSTEM OF OPERATING CLEANROOMS

D. Harasym, V. Labay

The analysis of exergy effectiveness of implemented central straight flow air conditioning system (ACS) for operating cleanrooms which was obtained on its innovative mathematical research model depending on different factors that have influence on its work was presented in this article, and ways of energy saving for this ACS was proposed. It was found that the biggest impact on exergy output-input ratio of its air conditioning system have the temperature difference between inside and supplied air in a room, temperature of inside air which is depends on temperature of outside air, and coefficient of transformation EER of chosen refrigeration machine of air conditioning system.