

УДК 697.94.(075)

ЛАБАЙ В.Й.

Національний університет "Львівська політехніка"

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ВИТРАТАМИ ПОВІТРЯ НА ВИПАРНИКУ І КОНДЕНСАТОРІ SPLIT-КОНДИЦІОНЕРІВ

Використано ексергетичний метод аналізу роботи одноступеневих хладонних холодильних машин місцевих автономних кондиціонерів. Встановлено співвідношення між витратами повітря на випарнику і конденсаторі split-кондиціонерів. Запропоновано енергоощадне співвідношення між витратами повітря на випарнику і конденсаторі для split-кондиціонера фірми "Sanyo" холодопродуктивністю 2020 Вт.

Использован эксергетический метод анализа работы одноступенчатых хладонных холодильных машин местных автономных кондиционеров. Установлено соотношение между расходами воздуха на испарителе и конденсаторе split-кондиционеров. Предложено энергоэкономное соотношение между расходами воздуха на испарителе и конденсаторе для split-кондиционера фирмы "Sanyo" холодопроизводительностью 2020 Вт.

We use the method of exergy analysis for one-step freon cooling engines of local autonomous air conditioners. We established a relation between air flowrates on the evaporator and condenser for air split-conditioners. An energy saving relation between air flowrates on the evaporator and condenser for an air split-conditioner of "Sanyo" firm at cooling capacity 2020 W is proposed.

 L – витрата повітря; N – потужність кондиціонера; Q_x – холодопродуктивність кондиціонера; t – температура повітря або холодоагента; W – вологість; Δ – кінцева різниця або різниця, або похибка; η – коефіцієнт корисної дії (ККД).**Індекси верхні:**

роб – робочі умови;

ст – стандартні умови;

розр – розрахунковий.

Індекси нижні: C_1 – повітря на вході у випарник; H_1 – повітря на вході у конденсатор;

вип – випарник кондиціонера;

е – ексергетичний кондиціонер;

ем – електромеханічний компресора;

і – індикаторний компресора;

к – конденсатор кондиціонера;

конд – конденсат на випарнику;

макс – максимальний;

перегр – перегрівання пари холодоагента;

переох – переохолодження рідкого холодоагента;

сп – споживаний;

х – холод;

 $1', 1, 2', 3', 3, 4$ – основні характерні точки холодильного циклу.**Постановка проблеми**

Холодильні машини, які застосовують в місцевих автономних кондиціонерах, потребують для зменшення енергозатрат вдосконалення, яке можливе з використанням сучасного методу термодинаміки – *ексергетичного* [1, 2, 3].

Ексергетичний аналіз дозволяє встановити максимальні термодинамічні можливості системи, визначити втрати ексергії в ній та обґрунтувати рекомендації з вдосконалення окремих її елементів.

Разом з тим автором помічено, що на значення ексергетичного ККД значний вплив має

співвідношення між витратами повітря на випарнику і конденсаторі split-кондиціонерів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Найдетальніше ексергетичний метод аналізу одноступеневих холодильних машин наведено в [1]. Він непристосований для холодильних машин місцевих автономних кондиціонерів, у яких випарник і конденсатор омиваються відповідним повітрям, а в контурі холодильної машини циркулює інший холодоагент. Також коротко цей метод аналізу висвітлений у [2, 3].

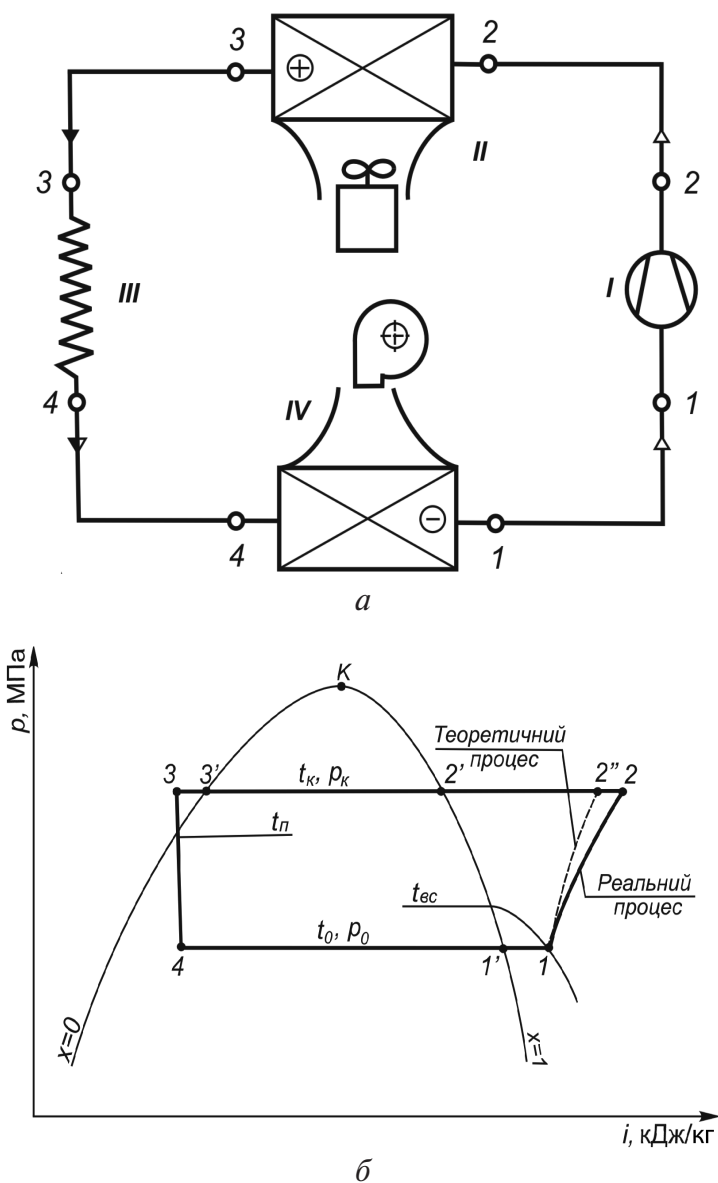


Рис. 1. Схема холодильної машини (а) та побудова процесів роботи на p, i -діаграмі (б): I – компресор; II – конденсатор; III – капілярна трубка (дрозель); IV – випарник.

Тому автором розроблено ексергетичний метод аналізу роботи одноступеневих хладонових холодильних машин (без ефективного охолодження компресора) для місцевих автономних кондиціонерів, докладно описаний у роботах [4–6]. У цій методиці використано схему холодильної машини, яка наведена на рис. 1, а, і відповідно побудова процесів її роботи на p, i -діаграмі – на рис. 1, б та холодильний агент хладон-22 (R22) [7]. Розрахунки проводились за допомо-

гою розробленої автором комп'ютерної програми в Excel.

Мета роботи

Визначення ексергетичного ККД при різному співвідношенні між витратами повітря на випарнику і конденсаторі split-кондиціонера. Для цього потрібно встановити:

- внутрішній температурний режим роботи холодильної машини split-кондиціонера, при якому стандартна і робоча холодопродуктивності кондиціонера будуть однакові за стандартного зовнішнього температурного режиму;
- оптимальне співвідношення між витратами повітря на випарнику і конденсаторі split-кондиціонера, для якого буде відносно високий ексергетичний ККД.

Виклад основного матеріалу

Спочатку ексергетичний аналіз роботи холодильної машини кондиціонера провели для split-кондиціонера „Sanyo” при стандартному зовнішньому температурному режимі, для якого стандартна холодопродуктивність $Q_x^{ct} = 2020$ Вт; стандартна споживана потужність $N_{сп}^{ct} = 610$ Вт; стандартне випадання конденсату на випарнику $W_{конд}^{ct} = 0,9$ л/год; стандартна витрата повітря у випарнику $L_{вип}^{ct} = 450$ м³/год; стандартна витрата повітря у конденсаторі $L_k^{ct} = 1360$ м³/год [6, 8].

Після цього на тому самому split-кондиціонері послідовно змінювали витрату повітря на випарнику $L_{вип} = 350...550$ м³/год і відповідно на конденсаторі $L_k = 6500...550$ м³/год так, щоб стандартна і робоча холодопродуктивності кондиціонера співпадали і для цих випадків встановлювали внутрішній температурний режим роботи холодильної машини split-кондиціонера та відповідний ексергетичний ККД.

Розрахунки проводили за таких умов:

- стандартної температури навколишнього середовища (зовнішнього повітря) $t_{H_1} = 35$ °С;
- стандартної температури внутрішнього (рециркуляційного) повітря відповідно до температури навколишнього середовища $t_{c_1} = 27$ °С;
- кінцевої різниці температур у випарнику

(внутрішнього повітря на виході з випарника і киплячого холодильного агента) $\Delta t_{\text{вип}} = 2,8 \text{ }^\circ\text{C}$;

– кінцевої різниці температур у конденсаторі (холодильного агента, який конденсується, і зовнішнього повітря на виході з конденсатора) $\Delta t_{\text{к}} = 4,2 \text{ }^\circ\text{C}$;

– різниці температур перегрівання у випарнику $\Delta t_{\text{перегр}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$;

– різниці температур переохолодження у конденсаторі $\Delta t_{\text{перех}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$;

– внутрішнього відносного (індикаторного) ККД компресора $\eta_i = 0,8$;

– електромеханічного ККД компресора $\eta_{\text{ем}} = 0,9$.

Стандартний зовнішній температурний режим визначається стандартною температурою навколишнього середовища (зовнішнього повітря) ($t_{\text{н}} = 35^\circ\text{C}$) і стандартною температурою внутрішнього (рециркуляційного) повітря відповідно до температури навколишнього середовища ($t_{\text{с}} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$) і для всіх розрахунків був однаковий.

Внутрішній температурний режим роботи холодильної машини split-кондиціонера визначався так:

– температура випаровування рідкого холодоагента у випарнику

$$t_1 = t_4 = t_0 = t_{\text{вип}} = t_{\text{с}} - \Delta t_{\text{вип}} - \frac{(0,01Q_x - 7,1W_{\text{конд}})(273 + t_{\text{с}})}{L_{\text{вип}}}; \quad (1)$$

– температура всмоктування пари холодоагента в компресор

$$t_1 = t_{\text{вс}} = t_{\text{вип}} + \Delta t_{\text{перегр}}; \quad (2)$$

– температура конденсації пари холодоагента у конденсаторі

$$t_2 = t_3 = t_{\text{к}} = t_{\text{н}} + \Delta t_{\text{к}} + \frac{(0,01Q_x + 0,009N_{\text{сп}})(273 + t_{\text{н}})}{L_{\text{к}}}; \quad (3)$$

– температура переохолодження рідкого холодоагента в конденсаторі

$$t_3 = t_{\text{п}} = t_{\text{к}} - \Delta t_{\text{перех}}. \quad (4)$$

Для вказаних умов маємо:

$$t_{\text{вип}} = 24,2 - \frac{4143}{L_{\text{вип}}}; \quad (5)$$

$$t_{\text{к}} = 39,2 + \frac{7913}{L_{\text{к}}}. \quad (6)$$

Робочі холодопродуктивність, споживану потужність та випадання конденсату у випарнику визначали за формулами [9]:

$$Q_x^{\text{роб}} = Q_x^{\text{ст}}(1 + (t_{\text{вип}} - 15)0,035 + (45 - t_{\text{к}})0,02), \text{ Вт}; \quad (7)$$

$$N_{\text{сп}}^{\text{роб}} = N_{\text{сп}}^{\text{ст}}(1 + (t_{\text{вип}} - 15)0,035 + (45 - t_{\text{к}})0,02), \text{ Вт}; \quad (8)$$

$$W_{\text{конд}}^{\text{роб}} = W_{\text{конд}}^{\text{ст}}(1 + (15 - t_{\text{вип}})0,035), \text{ л/год}, \quad (9)$$

де 15 і 45 – відповідно температура випаровування та температура конденсації при $L_{\text{вип}}^{\text{ст}} = 450 \text{ м}^3/\text{год}$ і $L_{\text{к}}^{\text{ст}} = 1360 \text{ м}^3/\text{год}$.

Результати розрахунків наведено у таблиці 1 (курсивом відзначено технічні характеристики кондиціонера за стандартних умов і витрат повітря на випарнику і конденсаторі, жирно – за стандартних умов і для запропонованих витрат повітря на випарнику і конденсаторі) та зображено графічно на рис. 2, 3 і 4, де η_e – ексергетичний ККД кондиціонера; $\eta_e^{\text{розр}}$ – ексергетичний ККД кондиціонера, порахований за формулою (12); Δ – похибка у визначенні ексергетичного ККД за формулою (12), %.

Залежність ексергетичного ККД кондиціонера η_e від витрати повітря на випарнику $L_{\text{вип}}$ апроксимована формулою

$$\eta_e = 0,2464 + 1,25L_{\text{вип}}^{-1}, \quad (10)$$

залежність ексергетичного ККД кондиціонера η_e від витрати повітря на конденсаторі $L_{\text{к}}$ – відповідно формулою

$$\eta_e = 0,3099 - 82,53L_{\text{к}}^{-1}, \quad (11)$$

та загальна залежність ексергетичного ККД кондиціонера η_e від витрати повітря на випарнику $L_{\text{вип}}$ і конденсаторі $L_{\text{к}}$ – відповідно формулою

$$\eta_e = 0,3071 + 1,25L_{\text{вип}}^{-1} - 82,53L_{\text{к}}^{-1}. \quad (12)$$

Максимальна похибка $\Delta_{\text{макс}}$ при розрахунку ексергетичного ККД $\eta_e^{\text{розр}}$ за формулами (10), (11) і (12), становить відповідно 0,08; 2,1 і 2,15%.

Таблиця. Результати розрахунку ексергетичного ККД та знаходження співвідношення між витратами повітря на випарнику і конденсаторі для split-кондиціонера фірми "Sanyo" холодопродуктивністю 2020 Вт за стандартних зовнішніх температурних умов

$L_{\text{вип}}$, м ³ /ГОД	$L_{\text{к}}$, м ³ /ГОД	$t_{\text{вип}}$, °С	$t_{\text{к}}$, °С	$Q_{\text{х}}^{\text{роб}}$, Вт	$N_{\text{сп}}^{\text{роб}}$, Вт	$W_{\text{конд}}^{\text{роб}}$, л/ГОД	$\eta_{\text{е}}$	$\eta_{\text{е}}^{\text{розр}}$	Δ , %
350	1360	12,4	45,0	1833	553	0,98	0,2499	0,2500	-0,04
375	1360	13,2	45,0	1889	570	0,96	0,2498	0,2497	0,02
400	1360	13,8	45,0	1937	585	0,94	0,2497	0,2495	0,06
425	1360	14,5	45,0	1981	598	0,92	0,2495	0,2494	0,06
450	1360	15,0	45,0	2019	610	0,90	0,2493	0,2492	0,04
500	1360	15,9	45,0	2084	629	0,87	0,2490	0,2489	0,03
550	1360	16,7	45,0	2137	645	0,85	0,2486	0,2487	-0,04
450	6500	15,0	40,4	2205	666	0,90	0,3020	0,2972	1,60
450	3100	15,0	41,8	2151	649	0,90	0,2850	0,2833	0,61
450	2080	15,0	43,0	2100	634	0,90	0,2700	0,2702	-0,07
450	1625	15,0	44,1	2057	621	0,90	0,2590	0,2591	-0,03
450	1360	15,0	45,0	2019	610	0,90	0,2493	0,2492	0,04
500	1075	15,0	46,6	1956	591	0,90	0,2350	0,2331	0,81
550	910	15,0	47,9	1903	575	0,90	0,2240	0,2192	2,15
350	6500	12,4	40,4	2019	610	0,98	0,2980	0,2980	0
375	3100	13,2	41,8	2021	610	0,96	0,2830	0,2838	-0,29
400	2080	13,8	43,0	2019	610	0,94	0,2700	0,2705	-0,20
425	1625	14,5	44,1	2019	610	0,92	0,2590	0,2593	-0,10
450	1360	15,0	45,0	2019	610	0,90	0,2493	0,2492	0,04
500	1075	15,9	46,6	2022	610	0,87	0,2340	0,2328	0,50
550	910	16,7	47,9	2021	610	0,85	0,2220	0,2187	1,50

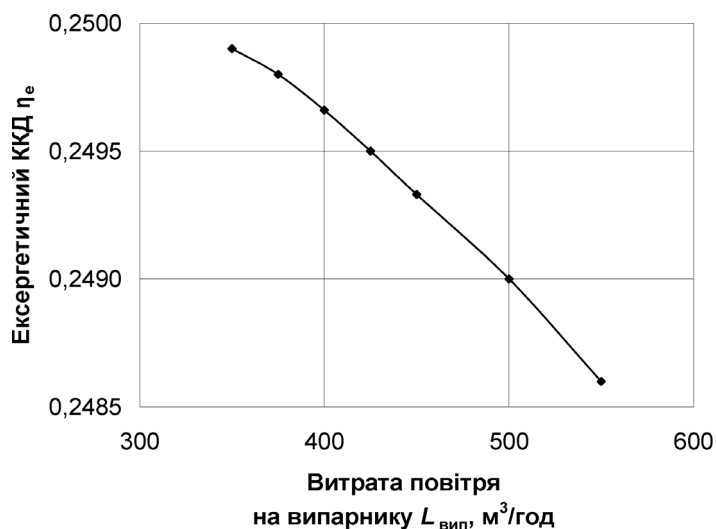


Рис. 2. Залежність ексергетичного ККД split-кондиціонера „Sanyo” холодопродуктивністю 2020 Вт за стандартних умов від витрати повітря на випарнику.

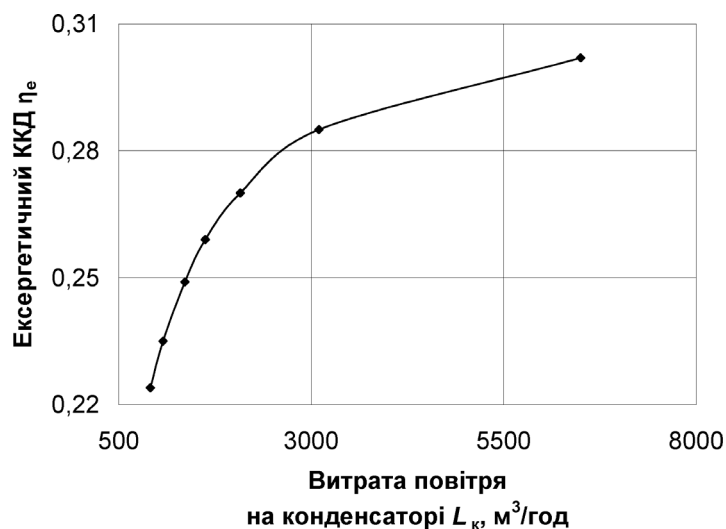


Рис. 3. Залежність ексергетичного ККД split-кондиціонера „Sanyo” холодопродуктивністю 2020 Вт за стандартних умов від витрати повітря на конденсаторі.

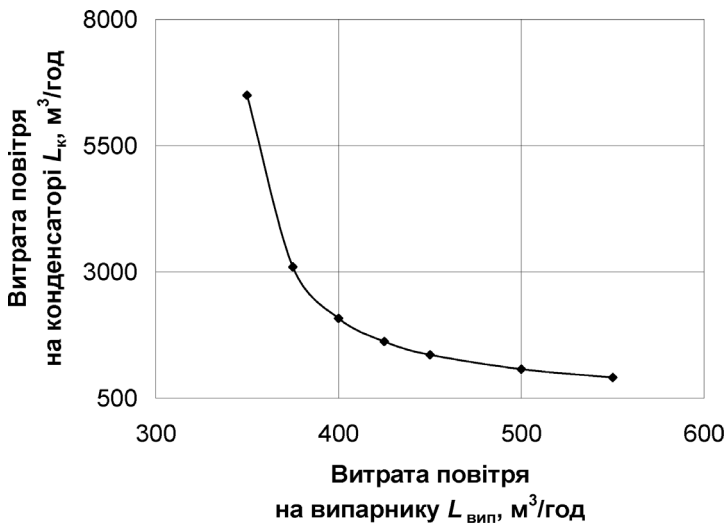


Рис. 4. Залежність витрати повітря на конденсаторі split-кондиціонера „Sanyo” холодопродуктивністю 2020 Вт за стандартних умов від витрати повітря на випарнику.

Залежність витрати повітря на конденсаторі кондиціонера $L_{\text{к}}$ від витрати повітря на випарнику $L_{\text{вип}}$ апроксимовано формулою

$$L_{\text{к}} = \frac{1}{0,002753 - 0,91L_{\text{вип}}^{-1}}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (13)$$

Максимальна похибка $\Delta_{\text{макс}}$ при розрахунку витрати повітря на конденсаторі кондиціонера $L_{\text{к}}$ за формулою (13) становить 1,2%.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено залежність ексергетичного ККД split-кондиціонера фірми „Sanyo” холодопродуктивністю 2020 Вт від витрати повітря на випарнику і конденсаторі. Зростання витрати повітря на випарнику кондиціонера веде до зменшення ексергетичного ККД, а зростання витрати повітря на конденсаторі кондиціонера – до його зростання.

2. Розроблено методику визначення співвідношення між витратами повітря на випарнику і конденсаторі для split-кондиціонерів. Отримано співвідношення між витратами повітря на випарнику і конденсаторі для split-кондиціонера фірми „Sanyo” холодопродуктивністю 2020 Вт. Запропоновано енергоощадне співвідношення між витратами повітря на випарнику і конденсаторі для split-кондиціонера фірми „Sanyo” холодо-

продуктивністю 2020 Вт за інших стандартних умов, а саме: $L_{\text{вип}} = 375 \text{ м}^3/\text{год}$, $L_{\text{к}} = 3100 \text{ м}^3/\text{год}$, для якого ексергетичний ККД $\eta_{\text{е}} = 0,2830$. Цей ексергетичний ККД на $(0,2830 - 0,2493)100/0,2493 = 13,5\%$ вищий, ніж за стандартних витрат повітря, а саме: $L_{\text{вип}}^{\text{ст}} = 450 \text{ м}^3/\text{год}$, $L_{\text{к}}^{\text{ст}} = 1360 \text{ м}^3/\text{год}$. Ведуться перемовини про впровадження результатів досліджень фірмою „Sanyo” та іншими фірмами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
2. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия. Перевод с польского под ред. В.М. Бродянского. – М.: Энергия, 1968. – 280 с.
3. Бродянский В.М., Верхивкер Г.П., Карчев Я.Я. и др. Эксергетические расчеты технических систем: Справ. пособие / Под ред. Долинского А.А., Бродянского В.М. АН УССР. Ин-т технической теплофизики. – К.: Наук. думка, 1991. – 360 с.
4. Лабай В.Й. Залежність ексергетичного ККД split-кондиціонерів від їх продуктивності за повітрям на випарнику і конденсаторі // Науково-технічний збірник КНУБА „Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання”, вип. 10. – Київ, КНУБА, 2006, С. 80–88.
5. Лабай В.Й., Омельчук О.В. Залежність температурного режиму split-кондиціонерів від їх продуктивності за повітрям на випарнику і конденсаторі // Вісник НУ „Львівська політехніка” № 561 „Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація”, 2006. – С. 20–25.
6. Лабай В.Й., Омельчук О.В. Ексергетична оцінка роботи місцевих автономних кондиціонерів” // Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. – Львів: НЛТУ України. – 2005, вип. 15.3. – С. 262–266.
7. Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Свойства веществ: Справочник, изд. 3-е. – М.: Агропромиздат, 1985. – 208 с.
8. Sanyo, Technical data, W-Eoo Multi. G0900.
9. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 367 с.

Получено 20.08.2008 г.