

УДК 697.94.(075)

В.Й. Лабай, к.т.н.,
Й.С. Мисак, д.т.н.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВТРАТ ЕКСЕРГІЇ У КОМПРЕСОРИ SPLIT-КОНДИЦІОНЕРІВ ВІД ПОВІТРЯНИХ ПОТОКІВ У ВИПАРНИКУ І КОНДЕНСАТОРІ

Національний університет «Львівська політехніка»

Встановлено залежність втрат ексергії у компресорі split-кондиціонера фірми "Sanyo" холодопродуктивністю 2020 Вт від повітряних потоків у випарнику і конденсаторі за стандартних умов функціонування. Запропоновані оптимальні витрати повітря у випарнику та конденсаторі цього кондиціонера.

Вступ

Ексергетичний метод термодинамічного аналізу, заснований на широкому використанні поняття ексергії (технічно придатної енергії), є узагальненим способом термодинамічного дослідження різних процесів перетворення енергії [1, 2, 3]. Цей метод знаходить широке застосування для аналізу холодильних машин split-кондиціонерів. Він дозволяє з достатньою науковою точністю і разом з тим дуже наочно визначити ступінь досконалості і джерела втрат в установках та їх елементах і, зрештою, знаходити шляхи їх вдосконалення.

Постановка задачі

Відомо [4], що температури випаровування $t_{\text{вип}}$ і конденсації $t_{\text{к}}$ визначають внутрішній температурний режим роботи для певної холодильної машини split-кондиціонера і зумовлені не тільки зовнішнім температурним режимом, але й відповідними витратами повітря у його випарнику $L_{\text{вип}}$ і конденсаторі $L_{\text{к}}$.

Мета роботи

Визначення залежності втрат ексергії у компресорі холодильних машин split-кондиціонерів від витрат повітря у їх випарнику і конденсаторі та оптимальних значень цих витрат повітря.

Результати досліджень

Для виконання мети роботи авторами удосконалений відомий ексергетичний метод аналізу для оцінки роботи одноступеневих хладонових холодильних машин (без ефективного охолодження компресора) [1], який використаний для split-кондиціонерів і докладно описаний у роботах [4, 5]. У цій методиці використана принципова схема холодильної машини наведена на рис. 1, а і відповідна побудова процесів її роботи на p,i-діаграмі – на рис. 1, б та холодильний агент хладон-22 (R22) [6].

Ексергетичний аналіз виконаний для split-кондиціонера фірми „Sanyo” холодопродуктивністю 2020 Вт за стандартного зовнішнього температурного режиму, для якого температура зовнішнього повітря $t_{H_1} = 35^\circ\text{C}$ для охолодження конденсатора холодильної машини кондиціонера, і внутрішнього повітря $t_{C_1} = 27^\circ\text{C}$, яке охолоджується у випарнику холодильної машини кондиціонера [7].

Результатом аналізу було складання ексергетичного балансу холодильної машини кондиціонера:

$$e_{\text{вх}} = e_{\text{вих}} + \Sigma d, \text{ кДж/кг}; \quad (1)$$

$$E_{\text{вх}} = E_{\text{вих}} + \Sigma D, \%, \quad (2)$$

де $e_{\text{вх}}$ – питома ексергія, яка вводиться у холодильну машину у вигляді електричної енергії, підведеної до електродвигуна компресора, кДж/кг; $e_{\text{вих}}$ – питома ексергія, яка відводиться від випарника кондиціонера у вигляді ексергетичної холодопродуктивності, кДж/кг; Σd – загальні втрати питомої ексергії у всіх елементах холодильної машини кондиціонера, кДж/кг; $E_{\text{вх}}$, $E_{\text{вих}}$, ΣD – відповідно, відносна ексергія, яка вводиться у холодильну машину; ексергія, яка відводиться від випарника кондиціонера, та загальні втрати ексергії у відсотках від ексергії, яка вводиться у холодильну машину.

Втрати ексергії у холодильній машині кондиціонера складаються з втрат ексергії у компресорі, конденсаторі, капілярній трубці (дроселі) і випарнику, тобто:

$$\Sigma d = d_{\text{компр}} + d_k + d_{\text{др}} + d_{\text{вип}}, \text{ кДж/кг}; \quad (3)$$

$$\Sigma D = D_{\text{компр}} + D_k + D_{\text{др}} + D_{\text{вип}}, \%. \quad (4)$$

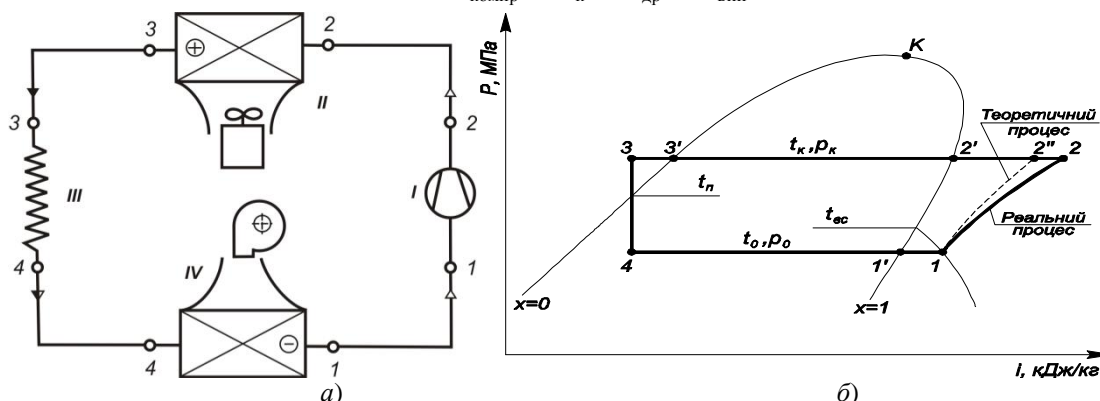


Рис. 1. Принципова схема (а) та побудова процесу роботи на p, i – діаграмі (б) холодильної машини split-кондиціонера: I – компресор; II – конденсатор; III – капілярна трубка (дросель); IV – випарник; 1, 2, 3, 4 – характерні точки термодинамічного циклу

Втрати ексергії в компресорі та окремих апаратах холодильної машини знаходили за формулами:

$$d_{\text{компр}} = e_{\text{вх}} + e_{\text{поч}} - e_{\text{кін}}; \quad d = e_{\text{поч}} - e_{\text{кін}}, \text{ кДж/кг}, \quad (5)$$

або у відсотках від ексергії, яка вводиться в холодильну машину:

$$D_{\text{компр}} = \frac{e_{\text{вх}} + e_{\text{поч}} - e_{\text{кін}}}{e_{\text{вх}}} \cdot 100; \quad D = \frac{e_{\text{поч}} - e_{\text{кін}}}{e_{\text{вх}}} \cdot 100, \%, \quad (6)$$

де $e_{\text{поч}}$ і $e_{\text{кін}}$ – відповідно, питома ексергія на вході і виході з окремого апарату холодильної машини кондиціонера, кДж/кг.

Результати розрахунково-кількісних експериментів зводимо у табл. 1 (курсивом відзначені технічні характеристики кондиціонера для стандартних витрат повітря у випарнику і конденсаторі, а жирно – технічні характеристики кондиціонера для запропонованих оптимальних витрат повітря у випарнику і конденсаторі), а на рис. 2 наводимо ексергетичну діаграму потоків холодильної машини Грассмана для стандартних витрат повітря у випарнику і конденсаторі кондиціонера ($E_{\text{вх}} = E^+$; $D_{\text{вип}} = D_{\text{вип}}^{\text{н.т}}$; $E_{\text{вих}} = Q_{\text{вип}}^{\text{с}}$).

Таблиця 1

Результати досліджень втрат ексергії та ексергетичного ККД split-кондиціонера “Sanyo” стандартної холодопродуктивності 2020 Вт залежно від витрати повітря у випарнику і конденсаторі

$L_{\text{вип}}$, М ³ /год	L_k , М ³ /год	$t_0 = t_{\text{вип}}$, °C	t_k , °C	$\frac{d_{\text{компр}}}{D_{\text{компр}}}$, кДж/кг %	$\frac{d_k}{D_k}$, кДж/кг %	$\frac{d_{\text{др}}}{D_{\text{др}}}$, кДж/кг %	$\frac{d_{\text{вип}}}{D_{\text{вип}}}$, кДж/кг %	η_e
300	1360	10,4	45,0	8,05/23,8	9,67/28,6	2,05/6,0	5,63/16,6	0,250
400	1360	13,8	45,0	7,21/24,0	9,35/31,1	2,05/6,8	3,92/13,1	0,250
600	1360	17,3	45,0	6,40/24,4	9,03/34,3	2,05/7,8	2,28/8,7	0,248
800	1360	19,0	45,0	6,00/24,6	8,87/36,3	2,05/8,4	1,49/6,1	0,247
1000	1360	20,1	45,0	5,77/24,7	8,77/37,6	2,05/8,8	1,03/4,4	0,246
450	500	15,0	55,0	8,29/21,9	16,39/43,3	2,12/5,6	4,45/11,8	0,174
450	1000	15,0	47,1	7,24/23,6	10,72/35,0	2,06/6,7	3,58/11,7	0,230
450	3000	15,0	41,8	6,46/25,0	6,99/27,0	2,02/7,8	3,07/11,9	0,284
450	5000	15,0	40,8	6,30/25,3	6,24/25,0	2,02/8,1	2,98/12,0	0,297
450	7000	15,0	40,3	6,23/25,4	5,91/24,1	2,01/8,2	2,95/12,0	0,303
450	1360	15,0	45,0	6,94/24,1	9,24/32,1	2,05/7,1	3,37/11,7	0,249
375	3100	13,2	41,8	6,90/24,8	7,08/25,4	2,02/7,3	3,94/14,2	0,283

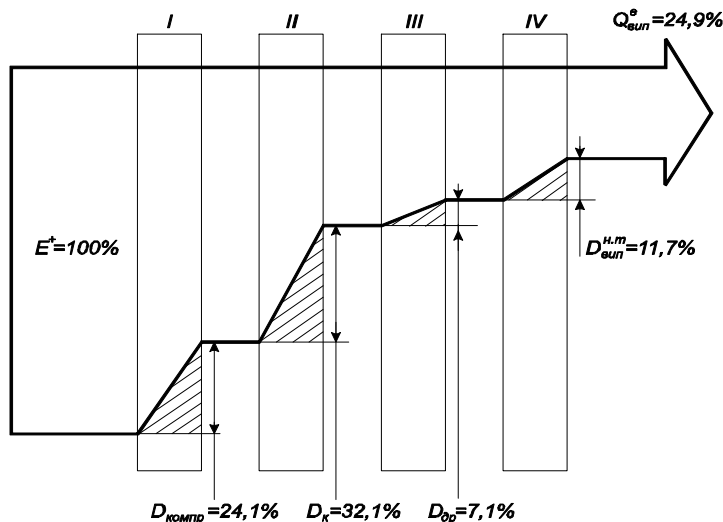


Рис. 2. Ексергетична діаграма потоків Грассмана холодильної машини split-кондиціонера фірми «Sanyo» зі стандартною холодопродуктивністю 2020 Вт (за $t_{H1} = 35^{\circ}\text{C}$ і $t_{C1} = 27^{\circ}\text{C}$ та $L_{\text{вип}} = 450 \text{ м}^3/\text{год}$ і $L_{\text{к}} = 1360 \text{ м}^3/\text{год}$): I – компресор; II – конденсатор; III – капілярна трубка (дрозель); IV – випарник

Вочевидь (табл. 1), що завдяки запропонованим оптимальним витратам повітря у випарнику і конденсаторі вибраного кондиціонера його ексергетичний ККД зростає на $(0,283 - 0,249) \cdot 100 / 0,249 = 13,7\%$, за незначного зростання відносних втрат ексергії у компресорі на $(24,8 - 24,1) \cdot 100 / 24,1 = 2,9\%$.

Залежність втрат ексергії у компресорі split-кондиціонера «Sanyo» стандартної холодопродуктивності 2020 Вт залежно від витрати повітря у випарнику та конденсаторі кондиціонера наведені на рис. 3 і 4.

Результати досліджень питомої втрати ексергії у компресорі $d_{\text{компр}}$ (кДж/кг) та відносної втрати ексергії у компресорі $D_{\text{компр}}$ (%)

split-кондиціонера «Sanyo» стандартної холодопродуктивності 2020 Вт залежно від витрати повітря відповідно у випарнику $L_{\text{вип}} = 300 \dots 1000 \text{ м}^3/\text{год}$ та конденсаторі $L_{\text{к}} = 500 \dots 7000 \text{ м}^3/\text{год}$ кондиціонера апроксимовані такими формулами:

$$d_{\text{компр}} = 3,86 + 999 \cdot L_{\text{вип}}^{-1} + 1195 \cdot L_{\text{к}}^{-1}, \text{ кДж/кг}; \quad (7)$$

$$D_{\text{компр}} = 27,1 - 583 \cdot L_{\text{вип}}^{-1} - 2369 \cdot L_{\text{к}}^{-1} + 184692 \cdot L_{\text{вип}}^{-1} \cdot L_{\text{к}}^{-1}, \%. \quad (8)$$

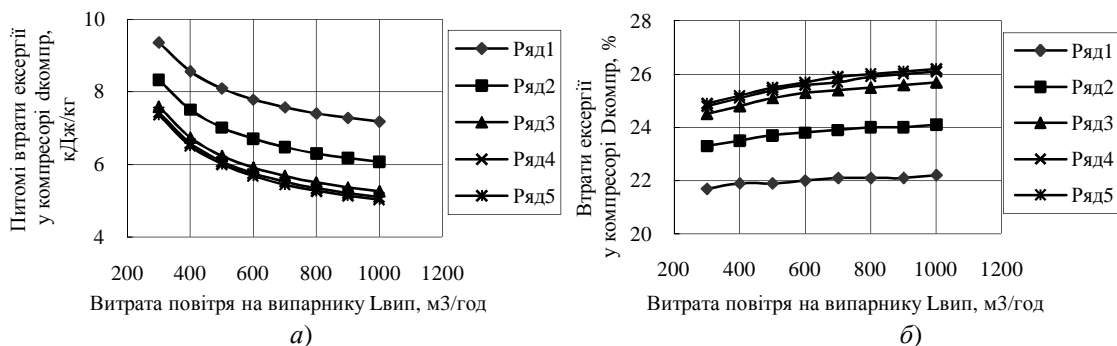


Рис. 3. Залежність питомої втрати (а) та відносної втрати (б) ексергії у компресорі split-кондиціонера «Sanyo» стандартної холодопродуктивності 2020 Вт від витрат повітря на випарнику і конденсаторі:
1 ряд – $L_{\text{к}} = 500 \text{ м}^3/\text{год}$; 2 ряд – 1000; 3 ряд – 3000; 4 ряд – 5000; 5 ряд – 7000

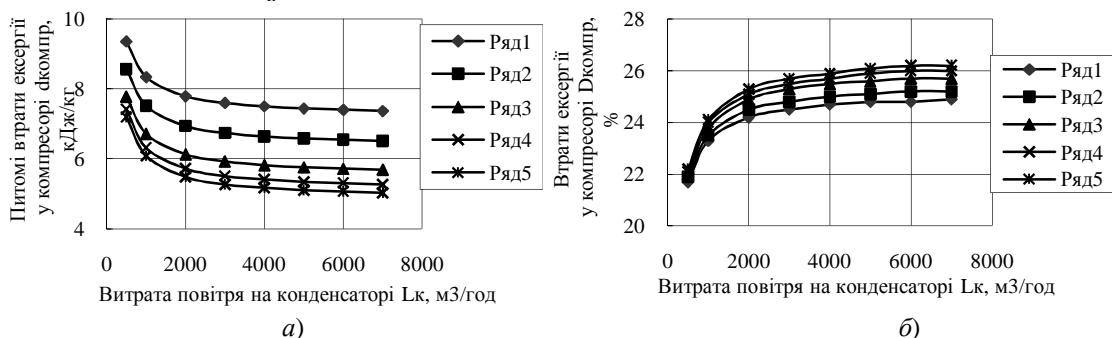


Рис. 4. Залежність питомої втрати (а) та відносної втрати (б) ексергії у компресорі split-кондиціонера «Sanyo» стандартної холодопродуктивності 2020 Вт від витрат повітря у конденсаторі і випарнику:
1 ряд – $L_{\text{вип}} = 300 \text{ м}^3/\text{год}$; 2 ряд – 400; 3 ряд – 600; 4 ряд – 800; 5 ряд – 1000

Максимальна похибка розрахунків за формулою (7) становить 2,2%, а за формулою (8) – 1,1%.

Висновки

Аналізуючи отримані дані в табл. 1 та на рис. 3 і 4, можна дійти таких висновків.

1. Зростання витрати повітря у випарнику холодильної машини вибраного кондиціонера $L_{\text{вип}}$ від 300 до 1000 м³/год (на 233%) практично не впливає на зміну значення ексергетичного ККД η_e (зменшується на 1,6%), але незначно збільшує відносні втрати ексергії у компресорі $D_{\text{компр}}$ (на 3,8%), що є негативним, але незначним. Тому у випарнику кондиціонера бажано використовувати витрату повітря $L_{\text{вип}}$, наприклад, 375 м³/год, тобто якомога найменшою.

2. Разом з тим зростання витрати повітря у конденсаторі холодильної машини вибраного кондиціонера L_k від 500 до 2000 м³/год (на 300%) призводить до значного зростання значення ексергетичного ККД η_e (на 55%), що є позитивним, але водночас за зростання відносної втрати ексергії у компресорі $D_{\text{компр}}$ (на 12,3%), що є негативним. За подальшого зростання витрати повітря у конденсаторі L_k від 2000 до 7000 м³/год (на 250%) значення ексергетичного ККД η_e зростає відносно незначно (на 12,6%) за незначного зростання відносної втрати ексергії у компресорі $D_{\text{компр}}$ (на 3,8%). Тому на конденсаторі кондиціонера бажано використовувати витрату повітря L_k дещо вищою за 2000 м³/год (наприклад, 3100 м³/год), але незначно.

3. За результатами аналізу отриманих даних запропоновані оптимальні витрати повітря у випарнику і конденсаторі холодильної машини split-кондиціонера “Sanyo” стандартної холодопродуктивності 2020 Вт, а саме: у випарнику – $L_{\text{вип}} = 375$ м³/год, у конденсаторі – $L_k = 3100$ м³/год. Слід зауважити, що під час цього зростання відносної втрати ексергії у компресорі $D_{\text{компр}}$ (на 2,9%) є незначним за значного зростання ексергетичного ККД (на 13,7%).

4. Отже, удосконалена авторами методика термодинамічного ексергетичного аналізу дає можливість визначення ексергетичного ККД холодильної машини split-кондиціонера, а також втрат ексергії у всіх елементах холодильної машини кондиціонера з метою подальшого вдосконалення кондиціонера в цілому та окремих його елементів.

Список літературних джерел

1. Соколов Е.Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: учеб. пособие для вузов.- 2-е изд., перераб. / Е.Я. Соколов, В.М. Бродянский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
2. Шаргут Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. – М.: Энергия, 1968. – 280 с.
3. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В.М. Бродянский. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.
4. Лабай В.Й. Залежність ексергетичного ККД split-кондиціонерів від їх продуктивності за повітрям на випарнику і конденсаторі / В.Й. Лабай // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2006. – Вип. 10. – С. 80–88.
5. Лабай В.Й. Залежність температурного режиму split-кондиціонерів від їх продуктивності за повітрям на випарнику і конденсаторі / В.Й. Лабай, О.В. Омельчук // Вісник нац. унів. «Львівська політехніка». – 2006. – № 561: Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. – С. 20–25.
6. Богданов С.Н. Холодильная техника. Свойства веществ: справочник, изд. 3-е / С.Н. Богданов, О.П. Иванов, А.В. Куприянова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 208 с.
7. Sanyo, Technical data, W-Eco Multi. G0900.