

ЕКСЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН SPLIT-КОНДИЦІОНЕРІВ ФІРМИ “LG”

© Лабай В.Й., Мисак Й.С., 2012

Використано розроблений ексергетичний метод аналізу роботи одноступеневих хладонових холодильних машин split-кондиціонерів. Встановлено ексергетичний ККД та втрати ексергії для split-кондиціонерів фірми “LG” різної холодопродуктивності.

Ключові слова: холодильні машини, split-кондиціонери, ефективність.

The elaborating method of the exergetic analysis of air split-conditioners one-step freon refrigeration machines was used in this article. Exergetic output-input ratio and exergy losses for air split-conditioners of firm “LG” with different cooling capacity were defined.

Key words: refrigeration machines, air split-conditioners, efficiency.

Постанова проблеми. Об’єктивна оцінка ступеня енергетичної досконалості будь-якого технологічного агрегата може бути зроблена на основі їх термодинамічного аналізу.

В останні роки застосовують ексергетичний метод аналізу технічних систем, який враховує цінність теплової енергії залежно від її потенціалу (температури) [1–3]. Цей метод був заснований і розвинений у роботах Р. Клаузіуса, Дж. Гіббса, Ж. Гюї, А. Стодоли, А. Андрющенко, Д. Гохштейна, В. Бродяньського та ін.

Його основна ідея полягає у тому, що поряд з фундаментальним поняттям *енергії*, додатково введено поняття *ексергії*, яке дає змогу врахувати той факт, що енергія залежно від зовнішніх умов може мати різну вартість для практичного використання.

Під час вивчення процесів перетворення енергії у холодильній машині необхідно оцінювати термодинамічну ефективність процесів загалом та їх частин, а також джерел втрат у них загальним термодинамічним методом аналізу – *ексергетичним* [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найдетальніше ексергетичний метод аналізу одноступеневих холодильних машин наведений в [1], який непристосований для холодильних машин split-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].

Автори удосконалили відомий ексергетичний метод аналізу для оцінювання роботи одноступеневих хладонових холодильних машин (*без ефективного охолодження компресора*) [1], який пристосований для split-кондиціонерів і докладно описаний у [4–6]. У цій методиці використана принципова схема холодильної машини, показана на рис. 1, а, і відповідна побудова процесів її роботи на p,i -діаграмі (рис. 1, б) та холодильний агент хладон-22 (R22).

Мета роботи – встановити *ексергетичний ККД та втрати ексергії в окремих елементах холодильних машин split-кондиціонерів фірми “LG” різної холодопродуктивності*. Для цього потрібно виявити:

– ексергетичний ККД split-кондиціонерів фірми “LG” різної холодопродуктивності за стандартних зовнішніх температурних умов експлуатації та витрат повітря на випарнику і конденсаторі;

– втрати ексергії в окремих елементах split-кондиціонерів фірми “LG” різної холодопродуктивності за стандартних зовнішніх температурних умов експлуатації та витрат повітря на випарнику і конденсаторі.

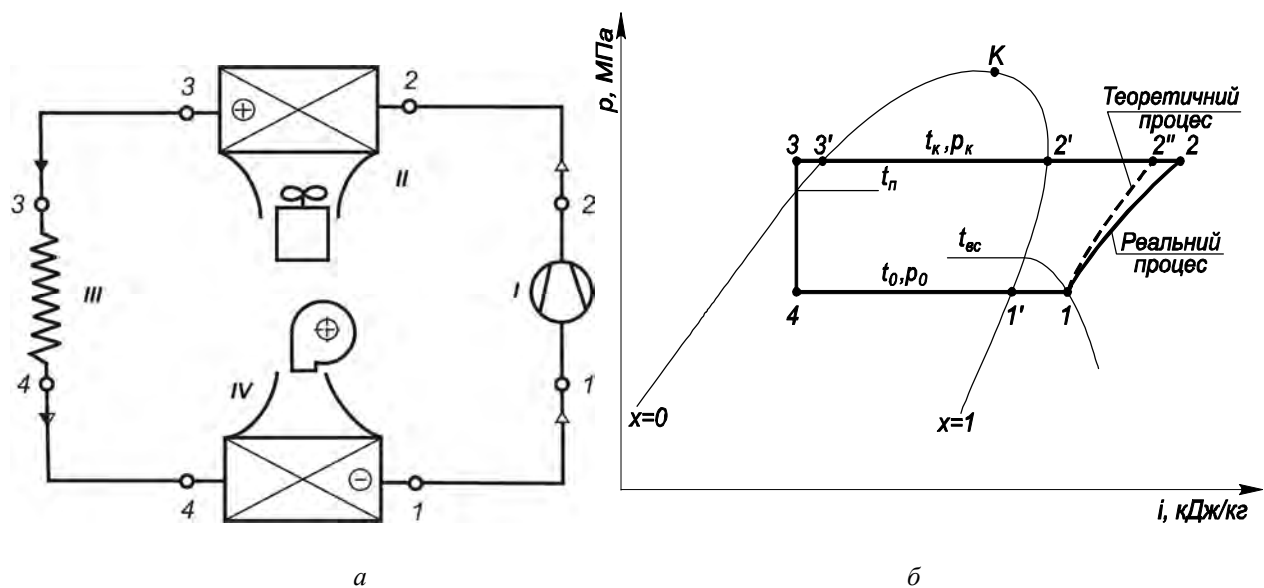


Рис. 1. Принципова схема холодильної машини (а) та побудова процесів роботи на p, i -діаграмі (б):
 I – компресор; II – конденсатор; III – капілярна трубка (дрозель); IV – випарник

Виклад основного матеріалу. Потрібні дослідження здійснювались за допомогою розробленої комп’ютерної програми енергетичного та ексергетичного аналізу холодильних машин split-кондиціонерів, у якій використані технічні характеристики split-кондиціонерів “LG” за стандартних зовнішніх температурних умов $t_{H_1}^{CT} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ і $t_{C_1}^{CT} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$: стандартні холодопродуктивності Q_X^{CT} , Вт, споживані потужності N_{CT}^{CT} , Вт, кількості конденсату на випарнику $W_{\text{конд}}^{CT}$, л/год, холодильний агент хладон-22 (R22) та встановлені фірмою “LG” витрати повітря на випарнику $L_{\text{вип}}^{CT}$, м³/год (максимальні) і конденсаторі L_K^{CT} , м³/год, кондиціонера.

Для встановлення ексергетичного ККД та втрат ексергії для вибраних кондиціонерів за стандартних зовнішніх температурних умов експлуатації та витрат повітря на випарнику і конденсаторі прийняли такі вихідні дані:

- кінцеву різницю температур у випарнику $\Delta t_{\text{вип}} = 2,8 \text{ }^\circ\text{C}$;
- кінцеву різницю температур у конденсаторі $\Delta t_K = 4,2 \text{ }^\circ\text{C}$;
- різницю температур перегрівання у випарнику $\Delta t_{\text{перегр}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$;
- різницю температур переохолодження у конденсаторі $\Delta t_{\text{переох}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- адіабатичний (індикаторний) ККД компресора $\eta_i = 0,8$;
- електромеханічний ККД компресора $\eta_{em} = 0,9$.

Ексергетичний ККД η_e одноступеневої парокompресорної хладонової холодильної машини split-кондиціонерів визначали з її ексергетичного балансу для 1 кг/с витрати циркулюючого робочого холодильного агента, який має вигляд

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

де $e_{\text{вх}} = l = e_{\text{вх}}^{\text{компр}}$ – вхідний питомий потік ексергії у компресор кондиціонера (питома робота компресора), кДж/кг; $e_{\text{вих}} = e_{\text{вих}}^{\text{пов}}$ – вихідний питомий потік ексергії з випарника кондиціонера, або

ексергетична питома холодопродуктивність кондиціонера, кДж/кг; Σd – загальні питомі втрати потоку ексергії в усіх апаратах холодильної машини кондиціонера, кДж/кг.

Враховуючи це, ексергетичний ККД η_e визначали так:

$$h_e = \frac{e_{\text{вих}}}{e_{\text{вх}}} = 1 - \frac{\Sigma d}{e_{\text{вх}}} \quad (2)$$

Втрати ексергії у компресорі та окремих елементах холодильної машини кондиціонера знаходили за формулами

$$d_{\text{компр}} = e_{\text{вх}} + e_{\text{поч}} - e_{\text{кін}}, \text{ кДж/кг}; \quad (3)$$

$$d = e_{\text{поч}} - e_{\text{кін}}, \text{ кДж/кг}, \quad (4)$$

або у відсотках від ексергії $e_{\text{вх}}$, яка входить у холодильну машину кондиціонера:

$$D_{\text{компр}} = \frac{e_{\text{вх}} + e_{\text{поч}} - e_{\text{кін}}}{e_{\text{вх}}} \cdot 100, \%; \quad (5)$$

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

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

Значення ексергії холодильного агента у характерних точках процесу визначали за формулою

$$e = i - i_{\text{н.с}} - T_{\text{н.с}}(s - s_{\text{н.с}}), \text{ кДж/кг}, \quad (7)$$

де i – значення питомої ентальпії холодильного агента в характерних точках процесу, кДж/кг; $i_{\text{н.с}}$ – значення питомої ентальпії холодильного агента в стані $T_{\text{н.с}}$, $P_{\text{н.с}}$ (температура і тиск довкілля), який знаходиться у рівновазі з довкіллям, кДж/кг; s та $s_{\text{н.с}}$ – відповідні значення питомої ентропії холодильного агента, кДж/(кг·К), які визначаються за термодинамічними діаграмами або таблицями.

Отримані під час проведення аналізу результати наведені у таблиці.

Результати досліджень ексергетичного ККД та втрат ексергії для split-кондиціонерів фірми "LG" стандартної холодопродуктивності

| $Q_x^{\text{ст}}$, Вт | $N_{\text{сп}}^{\text{ст}}$, Вт | $W_{\text{конд}}^{\text{ст}}$, л/год | $L_{\text{вип}}^{\text{ст}}$, м ³ /год | $L_{\text{к}}^{\text{ст}}$, м ³ /год | $D_{\text{компр}}$, % | $D_{\text{к}}$, % | $D_{\text{др}}$, % | $D_{\text{вип}}$, % | η_e |
|---------------------------|-------------------------------------|--|---|---|---------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|----------|
| 2053 | 680 | 0,85 | 348 | 1500 | 23,9 | 29,0 | 6,4 | 15,4 | 0,253 |
| 2698 | 870 | 1,2 | 396 | 1500 | 23,5 | 30,2 | 5,8 | 16,6 | 0,239 |
| 3666 | 1370 | 1,5 | 510 | 1500 | 22,8 | 32,7 | 5,3 | 17,5 | 0,218 |
| 5279 | 1950 | 2,5 | 780 | 2520 | 23,2 | 32,3 | 5,7 | 16,0 | 0,227 |
| 7331 | 2750 | 3,2 | 870 | 2520 | 22,3 | 33,3 | 4,8 | 18,9 | 0,206 |

У таблиці $D_{\text{компр}}$, $D_{\text{к}}$, $D_{\text{др}}$, $D_{\text{вип}} = D_{\text{вип}}^{\text{н.т}}$ – відносні втрати ексергії відповідно у компресорі, конденсаторі, дроселі і випарнику холодильної машини split-кондиціонера, %.

За результатами розрахунку будували ексергетичні діаграми потоків Грассмана холодильних машин split-кондиціонерів (рис. 2).

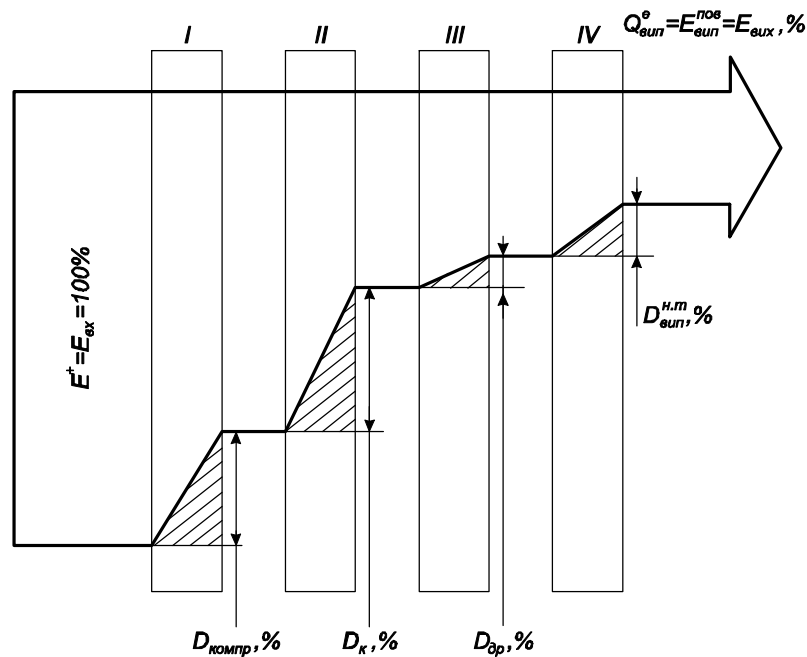


Рис. 2. Ексергетична діаграма потоків Грассмана холодильної машини split-кондиціонера:
I – компресор; II – конденсатор; III – капілярна трубка (дрозель); IV – випарник

Висновки. Аналізуючи отримані дані у таблиці, можна дійти таких висновків. За зростання холодопродуктивності split-кондиціонерів фірми “LG” від 2053 до 7331 Вт їх ексергетичний ККД зменшується на 18,6 %, що є доволі значним. На наш погляд, це недопустимо. Тому під час проектування холодильних машин split-кондиціонерів різної холодопродуктивності треба прагнути досягти однаковий найвищий ексергетичний ККД та однакове розподілення втрат ексергії в елементах холодильних машин split-кондиціонерів. А цього можна досягнути, наприклад, приведенням до однакового внутрішнього температурного режиму холодильних машин split-кондиціонерів різної холодопродуктивності, як показано у [5].

1. Соколов Е.Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: учеб. пособ. 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. Эксергетические расчеты технических систем: справ. пособ. / 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. – К.: Наук. думка, 1991. – 360 с.
4. Лабай В.Й. Ексергетичний аналіз місцевих автономних кондиціонерів / В.Й. Лабай, О.В. Омелчук // Науковий вісник: зб. наук.-техн. пр. – Львів: НЛТУ України, 2005. – Вип. 15.3. – С. 262–266.
5. Лабай В.Й. Приведення роботи холодильних машин split-кондиціонерів до однакового внутрішнього температурного режиму / В.Й. Лабай, Й.С. Мисак // Холодильна техніка і технологія. – Одеса: ОДАХ, 2010. – № 4 (126). – С. 19–22.
6. Лабай В.Й. Термодинамічні основи знаходження ексергетичного ККД холодильних машин split-кондиціонерів / В.Й. Лабай, Й.С. Мисак // Холодильна техніка і технологія. – Одеса: ОДАХ, 2010. – № 5 (127). – С. 15–19.