

В.Й. Лабай, Й.С. Мисак
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції,
кафедра теплотехніки і теплових електричних станцій

ОЦІНЮВАННЯ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН SPLIT-КОНДИЦІОНЕРІВ ФІРМИ “FUJITSU”

© Лабай В.Й., Мисак Й.С., 2013

Використано розроблений ексергетичний метод аналізу роботи одноступеневих хладонових холодильних машин split-кондиціонерів. Встановлено ексергетичний ККД та втрати ексергії для split-кондиціонерів фірми „FUJITSU” 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 „FUJITSU” with different cooling capacity were defined.

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

Постанова проблеми

Об’єктивне оцінювання ступеня енергетичної досконалості будь-якого технологічного апарата може бути зроблено 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, 2, 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 в тому, що поряд з фундаментальним поняттям *енергії*, додатково введено поняття *ексергії*, яке дозволяє врахувати той факт, що енергія залежно від зовнішніх умов може мати різну вартість для практичного використання.

Під час вивчення процесів перетворення енергії в 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 не пристосований 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 роботах [4, 5, 6]. У цій методиці використана принципова схема холодильної машини, яка наведена на рис. 1, а і відповідна побудова процесів її роботи на p,i -діаграмі – на рис. 1, б та холодильний агент хладон-410А (R410A).

Мета роботи – встановлення ексергетичного ККД та втрат ексергії в окремих елементах холодильних машин split-кондиціонерів фірми “FUJITSU” різної холодопродуктивності. Для цього потрібно виявити:

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

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

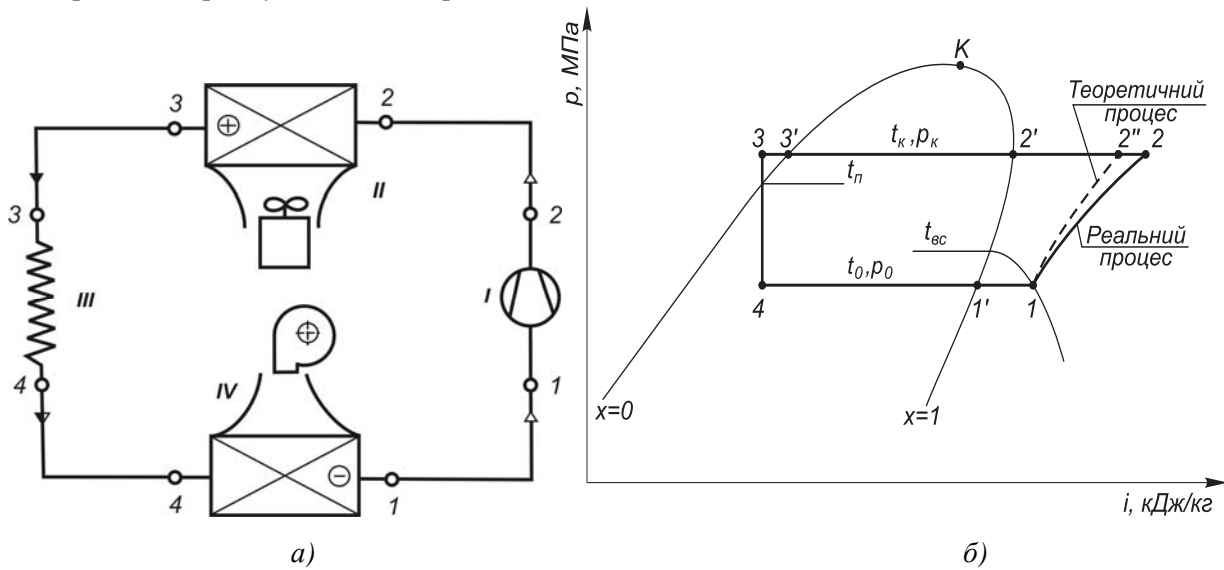


Рис. 1. Принципова схема холодильної машини (а) та побудова процесів роботи на p,i -діаграмі (б):
I – компресор; II – конденсатор; III – капілярна трубка (дрозель); IV – випарник

Виклад основного матеріалу

Потрібні дослідження здійснювались за допомогою розробленої авторами комп'ютерної програми енергетичного та ексергетичного аналізу холодильних машин split-кондиціонерів, у якій використані технічні характеристики split-кондиціонерів “FUJITSU” за стандартних зовнішніх температурних умов $t_{H1}^{ст} = 35^{\circ}\text{C}$ і $t_{C1}^{ст} = 27^{\circ}\text{C}$: стандартні холодопродуктивності $Q_x^{ст}$, Вт, споживані потужності $N_{сп}^{ст}$, Вт, кількості конденсату на випарнику $W_{конд}^{ст}$, л/год, холодильний агент хладон-410А (R410A) та встановлені фірмою “FUJITSU” витрати повітря на випарнику $L_{вип}^{ст}$, м³/год, (максимальні) і конденсаторі $L_k^{ст}$, 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 $\Delta t_{вип} = 2,8^{\circ}\text{C}$;
- кінцеву різницю температур у конденсаторі $\Delta t_k = 4,2^{\circ}\text{C}$;
- різницю температур перегрівання у випарнику $\Delta t_{перегр} = 10^{\circ}\text{C}$;

- різницю температур переохолодження у конденсаторі $\Delta t_{\text{переох}} = 5^{\circ}\text{C}$;
- адіабатичний (індикаторний) ККД компресора $\eta_i = 0,8$;
- електромеханічний ККД компресора $\eta_{\text{ем}} = 0,9$.

Ексергетичний ККД η_e одноступеневої пароконденсаторної 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 у всіх апаратах холодильної машини кондиціонера, кДж/кг.

Враховуючи це, *ексергетичний ККД* η_e визначали так:

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

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 в 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 навколишнього середовища), який знаходиться в рівновазі з навколишнім середовищем, 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.

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).

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

$Q_x^{ст}$, Вт	$N_{сп}^{ст}$, Вт	$W_{конд}^{ст}$, л/год	$L_{вип}^{ст}$, м ³ /год	$L_k^{ст}$, м ³ /год	$D_{компр}$, %	D_k , %	$D_{др}$, %	$D_{вип}$, %	η_e
2060	680	1,3	630	1810	27,3	24,2	9,4	13,4	0,257
3500	1030	1,8	630	1810	25,5	23,9	8,1	18,8	0,237
5500	1700	2,4	520	3000	24,8	17,4	5,5	29,3	0,229
6800	2120	3,0	1020	3100	24,5	22,6	7,1	23,2	0,227
8000	3040	3,6	1020	3100	23,1	22,7	6,4	26,5	0,213

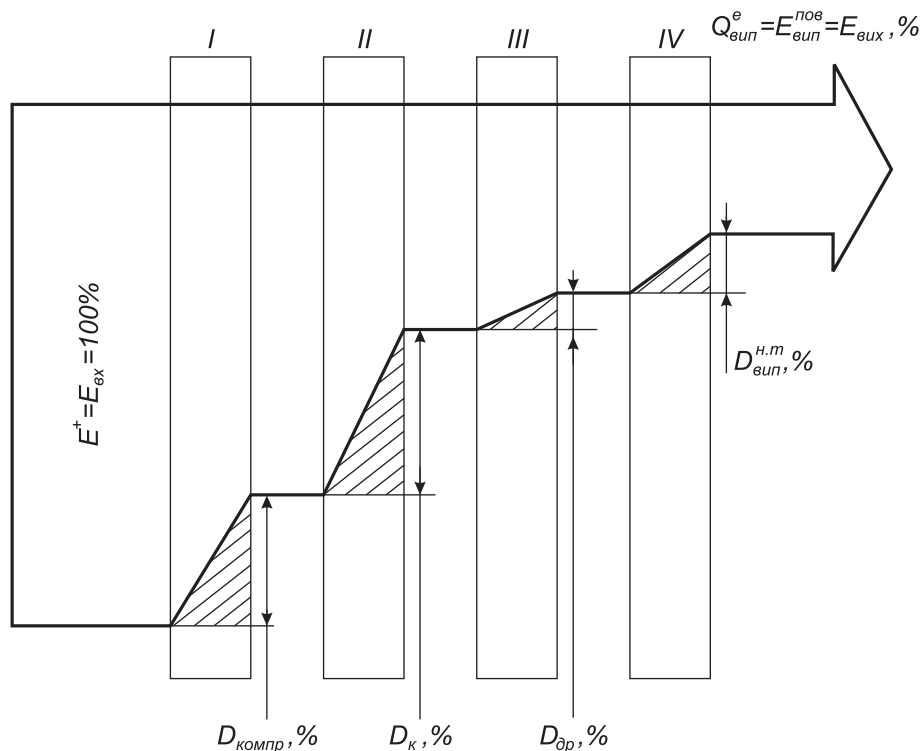


Рис. 2. Ексергетична діаграма потоків Грассмана холодильної машини split-кондиціонера:
I – компресор; II – конденсатор; III – капілярна трубка (дрозель); IV – випарник

Висновки

Аналізуючи отримані дані у таблиці, можемо дійти таких висновків. За зростання холодопродуктивності split-кондиціонерів фірми "FUJITSU" від 2600 до 8000 Вт їх ексергетичний ККД зменшується на 17,1%, що є достатньо значним. На наш погляд, це недопустимо. Тому за проектування холодильних машин split-кондиціонерів різної холодопродуктивності треба прагнути до досягнення однакового найвищого ексергетичного ККД та однакового 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 нашій роботі [5].

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. 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. – 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. праць. – 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 // Науково-технічний журнал “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 // Науково-технічний журнал “Холодильна техніка і технологія”. – Одеса: ОДАХ, 2010. – № 5 (127). – С. 15–19.

УДК 621.18

А.О. Капустянський
ПрАТ “Техенерго”

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРТНИХ ВИПРОБУВАНЬ КОТЛА БКЗ-210-140ПТ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ТЕЦ ПРИ СПАЛЮВАННІ ТВЕРДОГО ПАЛИВА З ДОДАВАННЯМ КАТАЛІЗАТОРА ГОРІННЯ

© Капустянський А.О., 2013

Наведено результати випробувань котла БКЗ-210-140ПТ Чернігівської ТЕЦ при спалюванні твердого палива з додаванням присадки-катализатора в тракт первинного повітря.

Ключові слова: присадка-катализатор, котел, вологість палива, зольність палива.

In this article are presented the results of research of boiler BKZ-210-140PT Chernigivska HPC combustion of solid fuels with the addition of additive-catalyst in the path of primary air.

Key words: additive catalyst, boiler, wetness of fuel, ash content of fuel.

Постановка проблеми

Рівень розвитку енергетики має вирішальний вплив на стан економіки в державі, вирішення проблем соціальної сфери та рівень життя людини.

Україна належить до країн, частково забезпечених традиційними видами первинної енергії, а отже, змушена вдаватися до їх імпорту [1, 5].

Напружена ситуація у забезпеченні електроенергетики вугіллям належної якості призводить до його заміщення природним газом, що збільшує енергозалежність від іноземних країн і спричиняє загрозу енергетичній безпеці нашої держави (табл. 1).

Таблиця 1

Структура споживання первинної енергії в Україні, країнах ЄС-15, США та у світі загалом

	Світ	Україна	Країни ЄС-15	США
Природний газ	21%	41%	22%	24%
Нафта	35%	19%	41%	38%
Вугілля	23%	19%	16%	23%
Уран	7%	17%	15%	8%
Гідроресурси та інші відновлювальні джерела	14%	4%	6%	7%
Разом	100%	100%	100%	100%