

В. Й. Лабай
О. М. Довбуш
В. Ю. Ярослав
М. П. Генсецький

ОДНАКОВИЙ ВНУТРІШНІЙ ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ДЛЯ SPLIT-КОНДИЦІОНЕРІВ ФІРМИ «DAIKIN»

Національний університет «Львівська політехніка»

Авторами розроблено математичну модель для аналізу роботи одноступеневих фреонових холодильних машин split-кондиціонерів за ексергетичним методом на різних холодильних агентах. Її використано для проведення теплових балансів випарника та конденсатора холодильних машин split-кондиціонерів та розрахунку їх ексергетичного ККД і втрат ексергії. Під час цього помічено, що фірми-виробники split-кондиціонерів наводять їх технічні характеристики за стандартного зовнішнього температурного режиму, який визначається температурою навколишнього середовища (зовнішнього повітря) і температурою внутрішнього (рециркуляційного) повітря, не враховуючи відповідний стандартний внутрішній температурний режим роботи холодильної машини, який визначається температурою випаровування холодильного агента і його температурою конденсації. А це некоректно і призводить до різних значень ексергетичного ККД і втрат ексергії в елементах холодильної машини за різної холодопродуктивності. Тому встановлена актуальна необхідність приведення роботи холодильних машин split-кондиціонерів до однакового внутрішнього температурного режиму та енергоощадної експлуатації split-кондиціонерів з вищим ексергетичним ККД. Авторами узагальнені та запропоновані практичні рекомендації для більш коректного проектування кондиціонерів із врахуванням взаємозв'язку зовнішнього та внутрішнього температурних режимів, що сприятиме підвищенню ексергетичного ККД split-кондиціонерів та їх енергоощадній експлуатації. Встановлено, що для кондиціювання повітря у приміщенні нинішніми кондиціонерами рекомендовано застосовувати декілька кондиціонерів з малою холодопродуктивністю, а не один з великою, у якого менший ексергетичний ККД. Вказано, що отримані результати, які наведені у цій статті, можуть бути застосовані для будь-яких проєктованих приміщень та для будь-яких холодоагентів

Ключові слова: split-кондиціонер, ексергетичний баланс, ексергетичний ККД, внутрішній температурний режим, енергоощадність.

Вступ

Холодильні машини, які застосовують в split-кондиціонерах, належать до енергоємного обладнання, а тому потребують підвищення їх енергоефективності, що можна максимально досконалим досягти проведенням їх ексергетичного аналізу – сучасного термодинамічного методу [1, 2, 3].

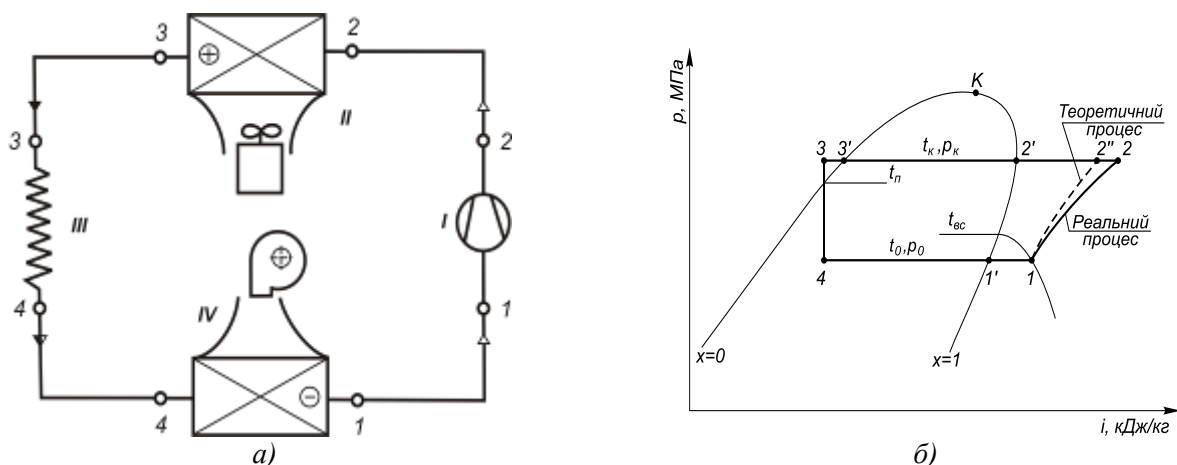


Рисунок 1 – Принципова схема холодильної машини (а) та побудова процесів її роботи на p, i – діаграмі (б):

I – компресор; II – конденсатор; III – капілярна трубка (дрозель); IV – випарник;

1, 2, 3, 4 – характерні точки холодильного циклу

Ексергетичний аналіз дозволяє з достатньою точністю і разом з тим наочніше визначити ступінь досконалості і джерела втрат в установках та їх частинах і остаточно знаходити шляхи їх вдосконалення.

Тому авторами удосконалений відомий ексергетичний метод аналізу роботи одноступеневих хладонових холодильних машин (без ефективного охолодження компресора), 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, відповідно, побудова термодинамічного циклу її роботи на p, i -діаграмі – на рис. 1, б та холодильний агент хладон-410А (R410А) [7]. Розрахунково-кількісні експерименти проводились за допомогою розробленої авторами комп'ютерної програми в Excel.

Разом з тим авторами помічено, що фірми-виробники split-кондиціонерів наводять їх технічні характеристики [8] за стандартного зовнішнього температурного режиму, який визначається температурою навколишнього середовища (зовнішнього повітря) $t_{H_1} = 35^\circ\text{C}$ і температурою внутрішнього (рециркуляційного) повітря $t_{C_1} = 27^\circ\text{C}$, не враховуючи відповідний стандартний внутрішній температурний режим роботи холодильної машини, який визначається температурою випаровування холодильного агента $t_{\text{вип}}$ і його температурою конденсації $t_{\text{к}}$. А це, на наш погляд, некоректно і призводить до різних значень ексергетичного ККД і втрат ексергії в елементах холодильної машини за різної холодопродуктивності.

Основна частина

Мета роботи – приведення роботи холодильних машин split-кондиціонерів до однакового внутрішнього температурного режиму та ексергетичного ККД завдяки встановленню відповідних витрат повітря у випарнику і конденсаторі split-кондиціонерів фірми «Daikin» з різною стандартною холодопродуктивністю. Для цього потрібно встановити:

– однаковий внутрішній температурний режим роботи холодильних машин split-кондиціонерів, наприклад, температуру випаровування холодильного агента $t_{\text{вип}} = 15^\circ\text{C}$, а температуру конденсації – $t_{\text{к}} = 45^\circ\text{C}$;

– відповідні до внутрішнього температурного режиму витрати повітря на випарнику та конденсаторі холодильних машин split-кондиціонерів, за яких холодопродуктивності кондиціонерів залишаться сталими за стандартного зовнішнього температурного режиму, а ексергетичні ККД для кондиціонерів з різною холодопродуктивністю будуть однаковими.

Витрату повітря для випарника кондиціонера визначали з рівняння його теплового балансу

$$L_{\text{вип}} = \frac{(Q_x - W_{\text{конд}} \cdot r \times 0,278) \times 3,6}{(t_{C_1} - t_{\text{вип}} - \Delta t_{\text{вип}}) \cdot \rho_{\text{пов}}^{\text{вип}} \cdot c_{\text{пов}}} = \frac{(0,01 \cdot Q_x - 7,1 \cdot W_{\text{конд}}) \cdot (273 + t_{C_1})}{t_{C_1} - t_{\text{вип}} - \Delta t_{\text{вип}}}, \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \quad (1)$$

а відповідно витрату повітря для конденсатора кондиціонера – з рівняння його теплового балансу

$$L_{\text{к}} = \frac{(Q_x + N_{\text{сп}}^{\text{компр}}) \times 3,6}{(t_{\text{к}} - t_{H_1} - \Delta t_{\text{к}}) \cdot \rho_{\text{пов}}^{\text{к}} \cdot c_{\text{пов}}} = \frac{(0,01 \cdot Q_x + 0,009 \cdot N_{\text{сп}}) \cdot (273 + t_{H_1})}{t_{\text{к}} - t_{H_1} - \Delta t_{\text{к}}}, \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \quad (2)$$

де Q_x – холодопродуктивність split-кондиціонера, Вт; $W_{\text{конд}}$ – випадання конденсату на випарнику split-кондиціонера, л/год; $r = 2500$ кДж/кг – прихована питома теплота конденсації водяної пари; $\Delta t_{\text{вип}}$ – кінцева різниця температур у випарнику split-кондиціонера (повітря на виході з випарника t_{C_2} і киплячого холодильного агента $t_{\text{вип}}$), $^\circ\text{C}$; $\rho_{\text{пов}}^{\text{вип}} = 353 / (273 + t_{C_1})$ – густина внутрішнього повітря, яке надходить на випарник кондиціонера, кг/м³; $c_{\text{пов}} = 1,005$ кДж/(кг·К) – питома теплоємність повітря; $N_{\text{сп}}^{\text{компр}} \approx 0,87 N_{\text{сп}}$ – споживана потужність компресора

[1]; Δt_k – кінцева різниця температур у конденсаторі split-кондиціонера (холодильного агента, який конденсується, t_k і повітря на виході з конденсатора t_{H_2}), °C; $\rho_{\text{пов}}^k = 353 / (273 + t_{H_1})$ – густина внутрішнього повітря, яке надходить на випарник кондиціонера, кг/м³.

Спочатку ексергетичний аналіз роботи холодильних машин split-кондиціонерів фірми „Daikin” провели за стандартного зовнішнього температурного режиму, для якого стандартна холодопродуктивність $Q_x^{\text{ст}}$, Вт; стандартна споживана потужність $N_{\text{сп}}^{\text{ст}}$, Вт; стандартне випадання конденсату на випарнику $W_{\text{конд}}^{\text{ст}}$, л/год; стандартна (встановлена) витрата повітря у випарнику $L_{\text{вип}}^{\text{ст}}$, м³/год; стандартна (встановлена) витрата повітря у конденсаторі $L_k^{\text{ст}}$, м³/год [6, 8].

Після цього на кожному тому самому split-кондиціонері послідовно змінювали витрати повітря на випарнику $L_{\text{вип}}$, м³/год за формулою (1), і відповідно на конденсаторі L_k , м³/год – за формулою (2) так, щоб внутрішні температурні режими роботи холодильних машин split-кондиціонерів та їх ексергетичні ККД співпадали.

Інші умови функціонування кондиціонерів прийняли такими:

- стандартну температуру навколишнього середовища (зовнішнього повітря) $t_{H_1} = 35^\circ\text{C}$;
- стандартну температуру внутрішнього (рециркуляційного) повітря відповідно до температури навколишнього середовища $t_{C_1} = 27^\circ\text{C}$;
- кінцеву різницю температур у випарнику $\Delta t_{\text{вип}} = 2,8^\circ\text{C}$;
- кінцеву різницю температур у конденсаторі $\Delta t_k = 4,2^\circ\text{C}$;
- різницю температур перегрівання у випарнику $\Delta t_{\text{перегр}} = 10^\circ\text{C}$;
- різницю температур переохолодження у конденсаторі $\Delta t_{\text{переох}} = 5^\circ\text{C}$;
- адіабатичний (індикаторний) ККД компресора $\eta_i = 0,8$;
- електромеханічний ККД компресора $\eta_{\text{ем}} = 0,9$.

Результати дослідницької роботи. Результати розрахунків зведені у таблиці (курсивом відзначені технічні характеристики кондиціонерів за стандартного зовнішнього температурного режиму і стандартних витрат повітря у випарнику і конденсаторі, **жирно** – за стандартного зовнішнього температурного режиму і для запропонованих витрат повітря на випарнику і конденсаторі), де η_e – ексергетичний ККД кондиціонера, та зображені графічно на рис. 2.

Таблиця 1

Результати розрахунку ексергетичного ККД split-кондиціонерів фірми «Daikin» за стандартного зовнішнього температурного режиму і стандартних витрат повітря у випарнику і конденсаторі та запропонованих

$L_{\text{вип}}$, М ³ /ГОД	L_k , М ³ /ГОД	$Q_x^{\text{ст}}$, ВТ	$N_{\text{сп}}^{\text{ст}}$, ВТ	$W_{\text{конд}}^{\text{ст}}$, Л/ГОД	$t_{\text{вип}}$, °C	t_k , °C	η_e
587	1380	2050	800	0,9	17,0	45,4	0,231
460	1471				15,0	45,0	0,236
587	1420	2560	800	1,05	14,9	46,3	0,225
592	1742				15,0	45,0	0,236
608	1500	3410	1060	1,5	12,6	48,2	0,211
765	2317				15,0	45,0	0,236
710	2040	5480	1560	2,8	9,4	49,6	0,203
1139	3656				15,0	45,0	0,236
755	2100	6230	1990	3,3	8,8	51,0	0,194
1268	4259				15,0	45,0	0,236

Залежність ексергетичного ККД split-кондиціонерів „Sanyo” від їх стандартної холодопродуктивності за стандартних витрат повітря на випарнику і конденсаторі апроксимована формулою:

$$\eta_e = 71,4 \cdot (Q_x^{ст})^{-0,148} \quad (3)$$

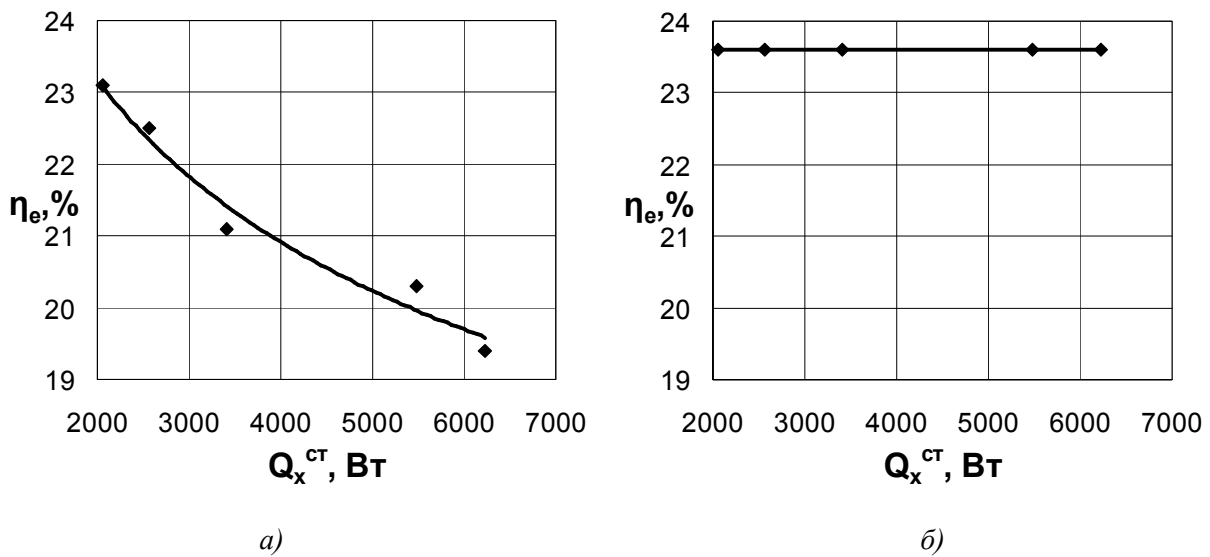


Рисунок 2 – Залежність ексергетичного ККД split-кондиціонерів „Daikin” від їх стандартної холодопродуктивності за стандартних витрат повітря у випарнику і конденсаторі (а) та запропонованих (б)

Максимальна похибка Δ_{\max} під час розрахунку ексергетичного ККД η_e split-кондиціонерів „Daikin” за формулою (3) 1,5%.

Висновки

Отже, запропоновано перерахунок витрат повітря на випарнику і конденсаторі split-кондиціонерів для приведення їх роботи до однакового внутрішнього температурного режиму, а саме: температури випаровування холодильного агента $t_{\text{вип}} = 15^\circ\text{C}$ і температури конденсації – $t_k = 45^\circ\text{C}$, та однакового ексергетичного ККД тому, що, на наш погляд, проектування кондиціонерів коректніше проводити за однакового не тільки зовнішнього температурного режиму, але й внутрішнього. Завдяки цьому матимемо загальну тенденцію до підвищення ексергетичного ККД split-кондиціонерів та їх енергоощадної експлуатації. Для кондиціонування повітря у приміщенні нинішніми кондиціонерами рекомендовано застосовувати декілька кондиціонерів з малою холодопродуктивністю, а не один з великою, у якого менший ексергетичний ККД. Результати, наведені у цій статті, можуть бути встановлені для будь-якої фірми та для будь-якого холодоагенту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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. 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.
5. 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.
6. Лабай В. Й. Ексергетична ефективність заміни холодильного агента R410A на R32 у split-кондиціонері / В. Й. Лабай, О. М. Довбуш, В. Ю. Ярослав, О. В. Омельчук // Науково-технічний журнал «Холодильна техніка і технологія», т. 53, вип. 6. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – С. 6–10.
7. Jakobsen A., Rassmussen B.-D., Skovrup M.-J., Andersen S.-E. CoolPack – a collection of simulation tools for refrigeration – Tutorial – Version 1.46. – Department of Energy Engineering Technical University of Denmark, 2001.
8. Daikin Catalog Split 2017. Model ATXN-MB.

REFERENCES

1. Sokolov E.Ya. Energeticheskie osnovy transformatsii tepla i protsessov okhlazhdeniia [Energy bases for heat transformation and cooling processes] (1981) / E.Ya. Sokolov, V.M. Brodianskii. – Moskva: Energoizdat. – 320 (in Russian).
2. Shargut Ya. Ekssergiia [Exergy] (1968) / Ya. Shargut, R. Petela. – Moskva: Energiia. – 280 (in Russian).
3. Brodianskii V.M. Ekssergeticheskiy metod termodinamicheskogo analiza [Exergy method of thermodynamic analysis] (1973) / V.M. Brodianskii. – Moskva: Energiia. – 296 (in Russian).
4. Labai V.Yo. Pryvedennia roboty kholodylnykh mashyn split-kondytsioneriv do odnakovogo vnutrishniogo temperaturnogo rezhymu [Bringing the work of the refrigeration machines of the air split-conditioners to the one internal temperature regime] (2010) / V.Yo. Labai, Yo.S. Mysak // Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Kholodylna tekhnika i tekhnologiiia» – Odesa: ODAKH. – № 4 (126). – S. 19–22 (in Ukrainian).
5. Labai V.Yo. Termodinamichni osnovy znakhodzhennia ekssergetychnjgo KKD kholodylnykh mashyn split-kondytsioneriv [Thermodynamic basis for finding exergetic OIR of air split-conditioners] (2010) / V.Yo. Labai, Yo.S. Mysak // Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Kholodylna tekhnika i tekhnologiiia» – Odesa: ODAKH. – № 5 (127). – S. 15–19 (in Ukrainian).
6. Labai V.Yo. Ekssergetychna efektyvnist zaminy kholodylnogo agenta R410A na R32 u split-kondytsioneri [Exergetic Efficiency of the Replacement Refrigeration Agent Against R410A to R32 in the Air Split-conditioner] (2017) / V.Yo. Labai, O.M. Dovbush, V.Yu. Yaroslav, O.V. Omelchuk // Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Kholodylna tekhnika i tekhnologiiia», t. 53, vyp. 6. – Odesa: ONAHT. – S. 6–10 (in Ukrainian).
7. Jakobsen A., Rassmussen B.-D., Skovrup M.-J., Andersen S.-E. CoolPack – a collection of simulation tools for refrigeration – Tutorial – Version 1.46. – Department of Energy Engineering Technical University of Denmark, 2001.
8. Daikin Catalog Split 2017. Model ATXN-MB.

Лабай Володимир Йосифович – доктор технічних наук, професор кафедри теплогазопостачання та вентиляції, Національний університет «Львівська політехніка», ORCID 0000-0003-3149-2573.

Довбуш Олександр Михайлович – старший викладач кафедри теплогазопостачання та вентиляції, Національний університет «Львівська політехніка», ORCID 0000-0003-0272-6764.

Ярослав Віталій Юрійович – старший викладач кафедри теплогазопостачання та вентиляції, Національний університет «Львівська політехніка», ORCID 0000-0001-9796-6466.

Генсецький Микола Петрович – кандидат технічних наук, доцент, заст. директора з навчально-виробничої роботи Львівського техніко-економічного коледжу, Національний університет "Львівська політехніка", ORCID 0000-0002-0460-8131.

V. Labay
O. Dovbush
V. Yaroslav
M. Gensetskyi

THE ONE INTERNAL TEMPERATURE REGIME FOR SPLIT-CONDITIONERS OF "DAIKIN" FIRM

Lviv Polytechnic National University

The mathematical model for analyzing the work of single-stage freon refrigerating machines of split-conditioners by exergy method on various refrigerating agents is developed the authors. It is used for performe the heat balance of the evaporator and the condenser of the refrigerating machines of the air split-conditioners and calculation of their exergy efficiency and losses of exergy. During this, it was noticed that the manufacturers of air split-conditioners refer to their specifications for the standard external temperature regime, which is determined by the ambient temperature (outside air) and the temperature of the internal (recirculation) air, not taking into account the corresponding standard internal temperature regime of operation of the refrigerating machine, which is determined by the evaporation temperature of the refrigerant and its condensation temperature. And this is incorrect and leads to different values of exergy efficiency and losses of exergy in the elements of the refrigerating machine for different cooling capacity. Therefore, there is an urgent need to bring the operation of refrigerating machines of air split-conditioners to the one internal temperature regime and energy saving operation of air split-conditioners with a higher exergy efficiency. The authors summarize and propose practical recommendations for the more correct design of air conditioners, taking into account the interconnection of external and internal temperature regimes, which will increase the exergy efficiency of split-air conditioners and their energy-saving operation. It has been established that for air conditioning in the premises, the current air conditioners are recommended to use several air conditioners with low cold productivity, and not one with a large, which has a lower exergy efficiency. It is indicated that the results obtained in this article can be applied to any projected premises and for any refrigerants.

Keywords: split-conditioner, exergy balance, exergetic output-input ratio (OIR), one internal temperature regime, energy saving.

Labay Volodymyr – Doctor of technical sciences, Professor of the heat and gas supply and ventilation Department, National University “Lviv Polytechnic”, e-mail: wlabay@i.ua.

Dovbush Oleksandr – engineer, senior lecturer of the heat and gas supply and ventilation Department, National University “Lviv Polytechnic”, e-mail: dovbush.ol@gmail.com.

Yaroslav Vitaliy – engineer, senior lecturer of the heat and gas supply and ventilation Department, National University “Lviv Polytechnic”, e-mail: yar561@ukr.net.

Gensetskyi Mykola – Candidate of technical sciences, Associate Professor, deputy director of educational and production work of the Lviv Technical and Economic College, National University “Lviv Polytechnic”, e-mail: gens2005@ukr.net.

В. И. Лабай
О. М. Довбуш
В. Ю. Ярослав
Н. П. Генсецкий

ОДИНАКОВЫЙ ВНУТРЕННИЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ДЛЯ SPLIT-КОНДИЦИОНЕРОВ ФИРМЫ «DAIKIN»

Национальный университет «Львовская политехника»

Авторами разработана математическая модель для анализа работы одноступенчатых фреоновых холодильных машин split-кондиционеров по эксергетическому методу на различных холодильных агентах. Ее использовано для проведения тепловых балансов испарителя и конденсатора холодильных машин split-кондиционеров и расчета их эксергетического КПД и потерь эксергии. Во время этого замечено, что фирмы-производители split-кондиционеров приводят их технические характеристики при стандартном внешнем температурном режиме, который определяется температурой окружающей среды (наружного воздуха) и температурой внутреннего (рециркуляционного) воздуха, не учитывая соответствующий стандартный внутренний температурный режим работы холодильной машины, который определяется температурой испарения холодильного агента и его температурой конденсации. А это некорректно и приводит к различным значениям эксергетического КПД и потерь эксергии в элементах холодильной машины при различной холодопроизводительности. Поэтому установлена актуальная необходимость приведения работы холодильных машин split-кондиционеров к одинаковому внутреннему температурному режиму и энергосберегающей эксплуатации split-кондиционеров с высшим эксергетическим КПД. Авторами обобщены и предложены практические рекомендации для более корректного проектирования кондиционеров с учетом взаимосвязи внешнего и внутреннего температурных режимов, что будет способствовать повышению эксергетического КПД split-кондиционеров и их энергосберегающей эксплуатации. Установлено, что для кондиционирования воздуха в помещении нынешними кондиционерами рекомендуется применять несколько кондиционеров с малой холодопроизводительностью, а не один с большой, у которого меньше эксергетический КПД. Указано, что полученные результаты, которые приведены в этой статье, могут быть применены для любых проектируемых помещений и для любых хладагентов.

Ключевые слова: split-кондиционер, эксергетический баланс, эксергетический КПД, внутренний температурный режим, энергосбережение

Лабай Владимир Иосифович – доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Национальный университет «Львовская политехника», e-mail: wlabay@i.ua.

Довбуш Александр Михайлович – старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Национальный университет «Львовская политехника», e-mail: dovbush.ol@gmail.com.

Ярослав Виталий Юриевич – старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Национальный университет «Львовская политехника», e-mail: yar561@ukr.net.

Генсецкий Николай Петрович – кандидат технических наук, доцент, зам. директора по учебно-производственной работе Львовского технико-экономического колледжа, Национальный университет «Львовская политехника», e-mail: gens2005@ukr.net.