



Анатичук Л.І.

Анатичук Л.І., *акад. НАН України*<sup>1,2</sup>  
Прибила А.В., *канд. фіз.-мат. наук*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Інститут термоелектрики НАН і МОН України,  
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;  
*e-mail: anatysh@gmail.com;*

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет  
ім. Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,  
Чернівці, 58000, Україна



Прибила А.В.

## ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ КОНДИЦІОНЕРІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

*У роботі наводяться результати розрахунків та порівняльного аналізу інтегральної ефективності термоелектричних та компресійних кондиціонерів при умові їх використання для кондиціонування повітря у транспортних засобах протягом цілого року в різних кліматичних умовах. Бібл. 25, рис. 14, табл. 2.*

**Ключові слова:** термоелектричний кондиціонер, компресійний кондиціонер, ефективність.

### Вступ

*Загальна характеристика проблеми.* Загальновідомою є тенденція до зростання кількості автомобілів. Вже в 2010 році їх кількість перевищила 1 мільярд [1] і ця цифра стрімко зростає. Поряд із цим зростають і вимоги до безпеки, екології та комфорту в транспортних засобах. Отже виникає необхідність у створенні ефективних, надійних та екологічно безпечних пристроїв для забезпечення комфортних умов у транспортних засобах – кондиціонерах [2 – 8].

У літературі згадується про можливість кондиціонування повітря у транспортних засобах різними методами [2 – 8]. Особливу увагу відведено використанню компресійних кондиціонерів. Це зумовлено їх відносно високою ефективністю. Проте вони мають і низку недоліків, зокрема наявність екологічно небезпечних холодоагентів, що значно знижує привабливість до використання таких кондиціонерів. Така ситуація підсилюється переходом на екологічні види транспорту, зокрема на електромобілі [6 – 14].

В роботах [4, 8, 9] наведено використання термоелектричних перетворювачів для кондиціонування повітря в транспортних засобах. Такі кондиціонери мають низку переваг перед компресійними, а саме: відсутність шкідливих холодоагентів (екологічно безпечні), нижчі масогабаритні показники, висока надійність та простота у обслуговуванні [15, 16]. Крім того, незважаючи на вищі максимальні показники ефективності компресійних кондиціонерів у режимі охолодження, при їх експлуатації у транспортних засобах протягом року, слід користуватися інтегральними показниками ефективності (для режимів і охолодження, і нагріву) в різних часових і географічних умовах, що може значно змінити уявлення про енергетичну ситуацію кондиціонерів. Такі показники стануть справжнім критерієм енергетичної ефективності кондиціонерів в реальних умовах їх експлуатації.

**Метою пропонуваної роботи** є визначення інтегральних показників енергетичної ефективності термоелектричних та компресійних кондиціонерів транспортних засобів при різних умовах експлуатації.

## Особливості функціонування автомобільних кондиціонерів повітря у різних кліматичних умовах протягом року

Для одержання повної картини умов експлуатації кондиціонерів в різних кліматичних зонах [17] використано дані про добові та місячні коливання температури повітря в різних географічних областях планети [18]. В роботі розглянуто температурні умови в 10 містах, що відповідають найбільш характерним кліматичним областям Землі (рис. 1): Куала - Лумпур (Малайзія) – екваторіальний клімат; Мумбаї (Індія) – тропічний мусонний клімат; Асуан (Єгипет) – тропічний сухий клімат; Афіни (Греція) – середземноморський клімат; Ашхабад (Туркменія) – субтропічний сухий клімат; Плімут (Великобританія) – помірний морський клімат; Київ (Україна) – помірний континентальний клімат; Харбін (КНР) – помірний мусонний клімат; Поїнт - Хоуп (Аляска, США) – субарктичний клімат; Тіксі (Російська Федерація) – арктичний клімат.

Користуючись отриманою інформацією можна визначити енергетичну ефективність використання кондиціонерів транспортних засобів практично у всіх регіонах нашої планети.

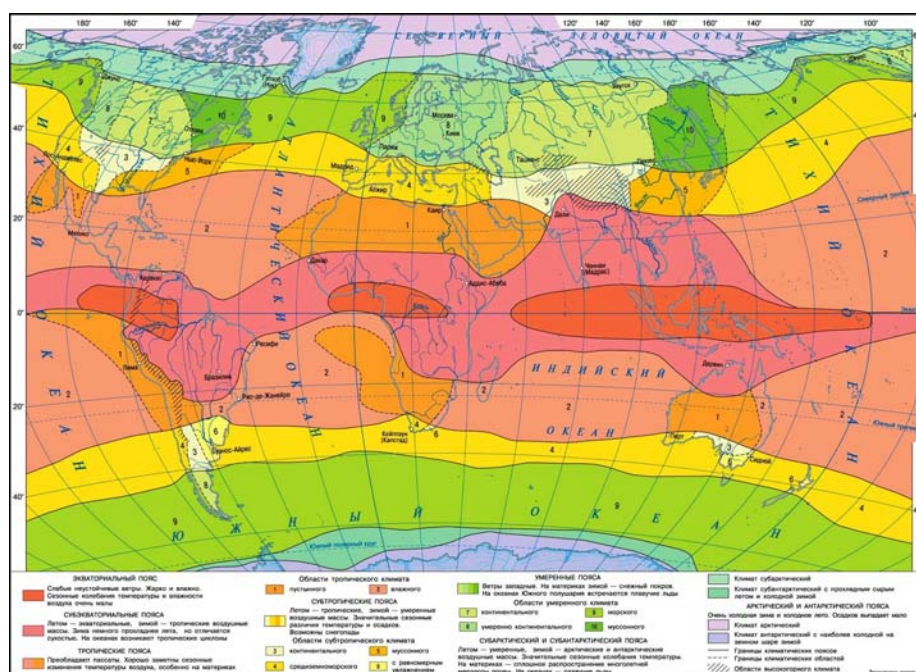


Рис. 1. Кліматичні зони [17]

На рис. 2 – 11 зображені графіки річної зміни температури у різних зонах Землі – лінією показана зміна середньої температури повітря протягом року, а контур вказує на її максимальні відхилення. Аналіз цих графіків дозволяє побачити найбільш загальні закономірності зміни температурних умов в кліматичних зонах протягом року. Так з рис. 2 видно, що для екваторіального клімату характерна практично незмінна середня температура повітря протягом року на рівні +26 °С; тропічний мусонний клімат характеризується середніми температурами січня +20 °С та липня +30 °С (рис. 3); для тропічного сухого клімату характерна більш різка зміна температури протягом року – середня температура січня +12 °С та липня +35 °С (рис. 4); для середземноморського клімату характерні середня температура січня +7 °С та липня +22 °С (рис. 5); субтропічний сухий клімат особливою найбільш різкою зміною температур протягом року – середня температура січня 0 °С та липня +40 °С (рис. 6); для помірнього морського клімату характерні невеликі зміни температур – середня температура січня +2 °С та липня +17 °С (рис. 7);

помірний континентальний клімат характерний середніми температурами січня  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  та липня  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 8); для помірного мусонного клімату характерні середні температури січня  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  та липня  $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 9); субарктичний клімат характерний середніми температурами січня  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  та липня  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 10); для арктичного клімату характерні дуже суворі середні температури січня  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  та липня  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 11).

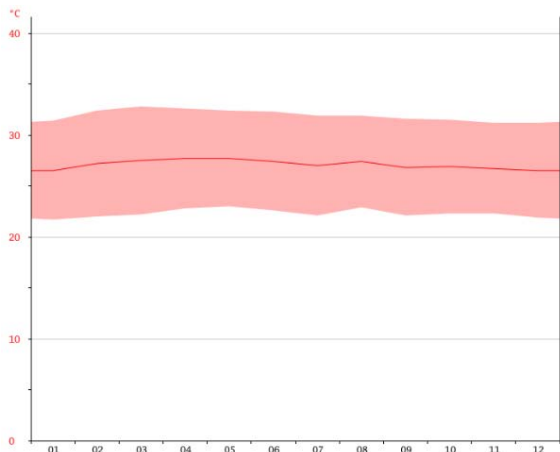


Рис. 2. Графік річної зміни температури повітря в Куала – Лумпур, Малайзія [18]

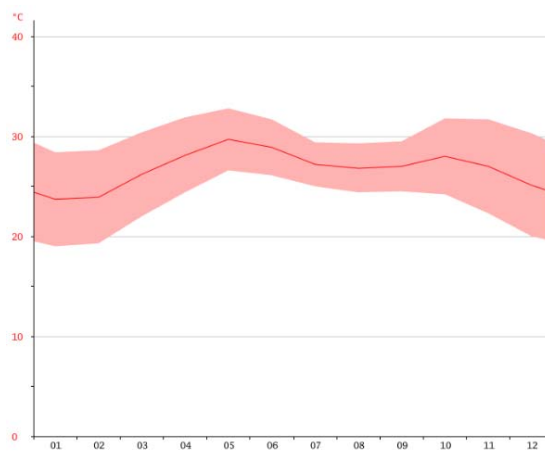


Рис.3. Графік річної зміни температури повітря в Мумбаї, Індія [18]

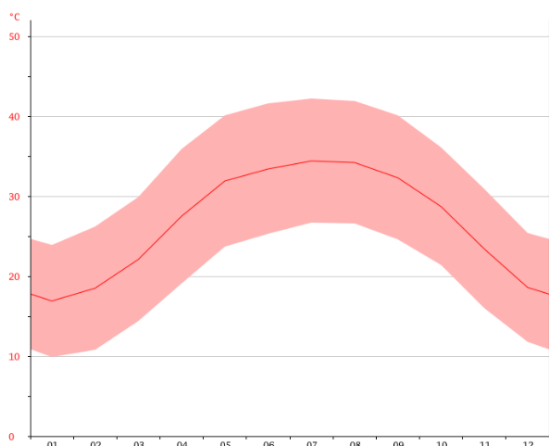


Рис.4. Графік річної зміни температури повітря в Асуані, Єгипет [18]

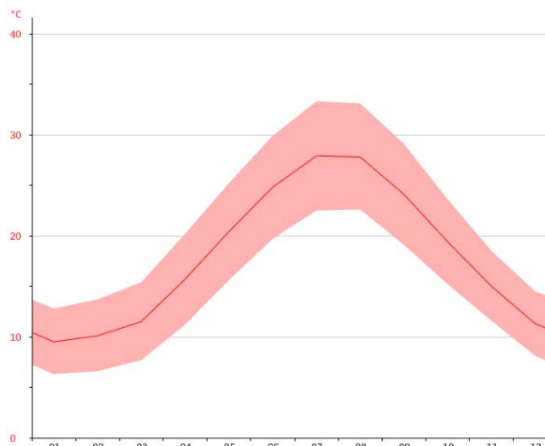


Рис.5. Графік річної зміни температури повітря в Афінах (Греція) [18]

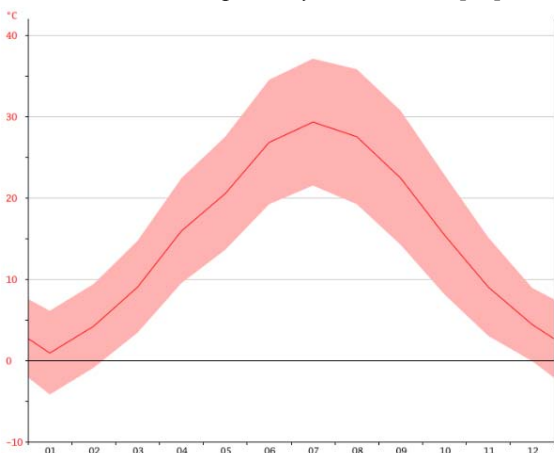


Рис. 6. Графік річної зміни температури повітря в Ашхабаді, Туркменія [18]

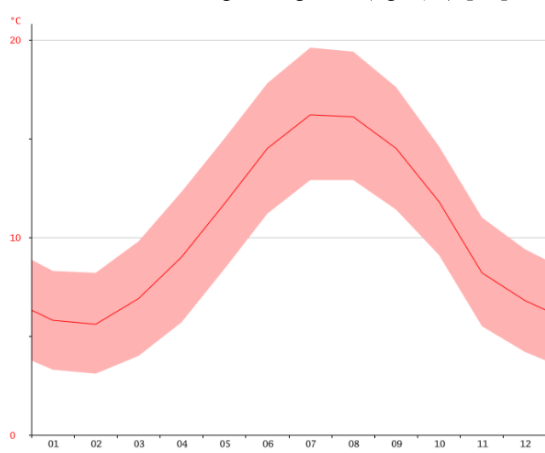


Рис. 7. Графік річної зміни температури повітря в Плімуті, Великобританія [18]

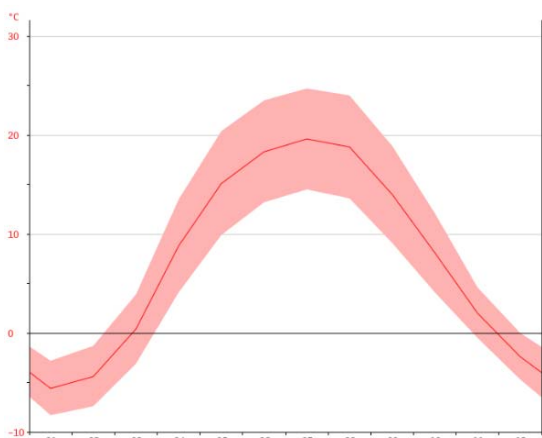


Рис. 8. Графік річної зміни температури повітря в Києві, Україна [18]

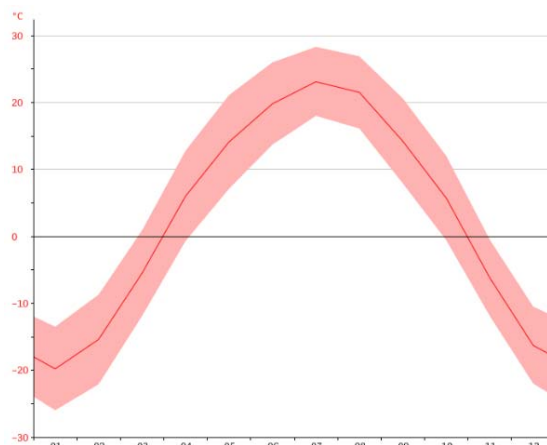


Рис. 9. Графік річної зміни температури повітря в Харбїні, КНР [18]

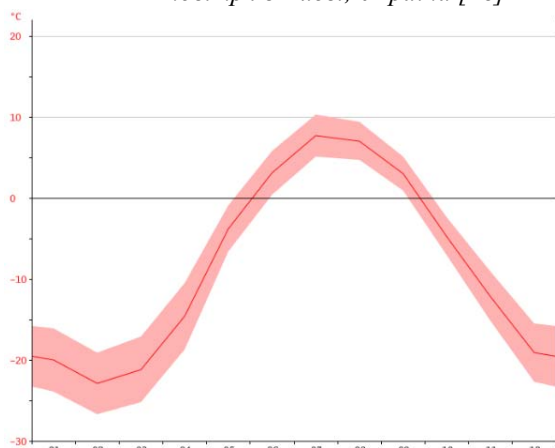


Рис. 10. Графік річної зміни температури повітря в Пойнт – Хоуп, Аляска, США [18]

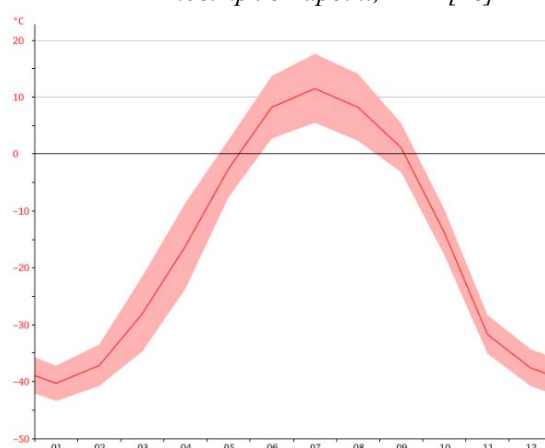


Рис. 11. Графік річної зміни температури повітря в Тіксі, Російська Федерація [18]

## Розрахунок інтегральної ефективності термоелектричних та компресійних кондиціонерів для різних кліматичних зон

### Методика розрахунку

Вибрана методика розрахунку полягає у визначенні інтегрального коефіцієнту ефективності кондиціонера для транспорту  $\kappa$ , що дорівнює відношенню між тепловим потоком  $Q$ , що переноситься кондиціонером, і енергетичними затратами на його функціонування  $W$  (1).

$$\kappa = \frac{Q}{W} \quad (1)$$

При цьому, у режимі охолодження, коли температура зовнішнього повітря перевищує  $+20\text{ }^\circ\text{C}$  (різниця температур між повітрям ззовні транспортного засобу і всередині  $\Delta T > 0\text{ K}$ ), тепловий потік  $Q$  є холодопродуктивністю кондиціонера, а, відповідно, коефіцієнт  $\kappa$  є холодильним коефіцієнтом  $\varepsilon$  (2). У випадку, коли  $\Delta T < 0\text{ K}$  (температура зовнішнього повітря менша  $+20\text{ }^\circ\text{C}$ ), коефіцієнт  $\mu$  є опалювальним коефіцієнтом кондиціонера (2).

$$\begin{aligned} \Delta T > 0\text{ K} &\rightarrow \kappa = \varepsilon, \\ \Delta T < 0\text{ K} &\rightarrow \kappa = \mu. \end{aligned} \quad (2)$$

Далі визначалися усереднені значення коефіцієнту  $\kappa$  в певні інтервали часу доби, які є функцією

перепаду температур  $\Delta T$  і значенням температури оточуючого середовища. Інтервал вибрано тривалістю 4 години. Таким чином протягом доби визначалось 6 значень  $\kappa$ .

Слід зауважити, що, відповідно до санітарних вимог до кондиціонованих приміщень [25], перепад температур між оточуючим повітрям і охолодженим кондиціонером не повинен перевищувати 17 К. При цьому в залежності від значення температури оточуючого повітря цей перепад різний [25]. Ці вимоги також були використані при розрахунках.

Потім отримані дані про усереднені за інтервал часу коефіцієнти перетворення енергії  $\kappa$  сумувалися і визначалося їх усереднене значення  $\hat{\kappa}$  протягом цілого року (3).

$$\hat{\kappa} = \frac{\sum_{i=0}^n \kappa_i}{n}, \quad (3)$$

де  $n$  – це кількість інтервалів в яких визначалося усереднене значення  $\kappa$  ( $n = 365 \cdot 6 = 2190$ ).

Нижче наведено методику розрахунку  $\kappa$  і  $\hat{\kappa}$  для компресійних і термоелектричних кондиціонерів.

### Компресійні кондиціонери

З даних про властивості компресійних кондиціонерів в режимах охолодження та нагріву [2 – 24] визначені у вигляді поліномів залежності енергетичних ефективностей компресійних кондиціонерів повітря від температури оточуючого повітря та різниці температур між повітрям всередині автомобіля (20 °C) і оточуючим повітрям.

Характерно, що коефіцієнт перетворення енергії компресійних кондиціонерів в режимі нагріву є нижчим ніж в режимі охолодження. Крім того, як показано в [15, 16], їх ефективність знижується зі зменшенням потужності та ростом температури оточуючого повітря. У якості прототипа для розрахунків вибрано компресійний кондиціонер повітря максимальною холодильною потужністю 4 кВт, що відповідає типовим значенням для кондиціонерів повітря транспортних засобів.

На основі отриманих масивів даних розраховано усереднені коефіцієнти перетворення енергії компресійних кондиціонерів для визначених інтервалів часу протягом року та проведено їх інтегрування для одержання значень інтегрального коефіцієнту ефективності.

В таблиці 1 наведено результати розрахунків у вигляді значень інтегрального коефіцієнту ефективності компресійних кондиціонерів для різних кліматичних зон (типів клімату) – 1. екваторіальний клімат; 2. тропічний мусонний клімат; 3. тропічний сухий клімат; 4. субтропічний сухий клімат; 5. середземноморський клімат; 6. помірний морський клімат; 7. помірний континентальний клімат; 8. помірний мусонний клімат; 9. субарктичний клімат; 10. арктичний клімат.

Як видно з таблиці 1, зі зміною кліматичних зон від екватору до полюсів інтегральний коефіцієнт ефективності компресійних кондиціонерів знижується від 3.18 до 1.2.

*Таблиця 1*

*Залежність інтегрального показника ефективності компресійних кондиціонерів для різних кліматичних зон*

Кліматичні зони	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Інтегральний коефіцієнт ефективності	3.18	3.17	2.98	3.02	2.76	2.66	2.25	2.06	1.5	1.2

### Термоелектричні кондиціонери

Як показано в [15, 16], реальні холодильний та опалювальний коефіцієнти термоелектричного кондиціонера визначаються із співвідношень (4, 5):

холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon_r = \frac{Q_c}{W_{TE} + W_1 + W_2} = \frac{\alpha I(T_c + Q_c N_1) - 0.5I^2 R - \lambda(T_h - T_c - (Q_h N_2 + Q_c N_1))}{W_{TE} + W_1 + W_2}, \quad (4)$$

де  $\chi_i$  – теплові опори теплообмінників  $Q_c$  – холодопродуктивність,  $Q_h$  – теплопродуктивність,  $W_{TE}$  – електрична потужність термоелектричного перетворювача,  $\alpha$  – коефіцієнт термоЕРС,  $I$  – електричний струм,  $R$  – електричний опір,  $\lambda$  – коефіцієнт тепловіддачі теплообмінників,  $T_h, T_c$  – температури гарячої та холодної сторін термоелектричного перетворювача,  $W_i$  – потужність додаткового живлення системи теплообміну,

$$N_1 = \frac{(\chi_1 + \chi_2)}{\chi_1 \chi_2}, \quad N_2 = \frac{(\chi_3 + \chi_4)}{\chi_3 \chi_4}.$$

Опалювальний коефіцієнт в такому випадку матиме вигляд:

$$\mu_r = \frac{Q_h}{W_{TE} + W_1 + W_2} = \frac{\alpha I(T_h + Q_h N_2) + 0.5I^2 R - \lambda(T_h - T_c - (Q_h N_2 + Q_c N_1))}{W_{TE} + W_1 + W_2}. \quad (5)$$

Між холодильним і опалювальним коефіцієнтами термоелектричного кондиціонера існує співвідношення:

$$\mu_r = \varepsilon_r + 1. \quad (6)$$

Співвідношення (6) свідчить, що використання термоелектричного кондиціонера в режимі нагріву має перевагу перед аналогічним режимом компресійного кондиціонера.

Слід також зауважити, що, на відміну від компресійних кондиціонерів, ефективність термоелектричних кондиціонерів зростає із зменшенням потужності та ростом температури повітря [15, 16], що також створює їм додаткові переваги.

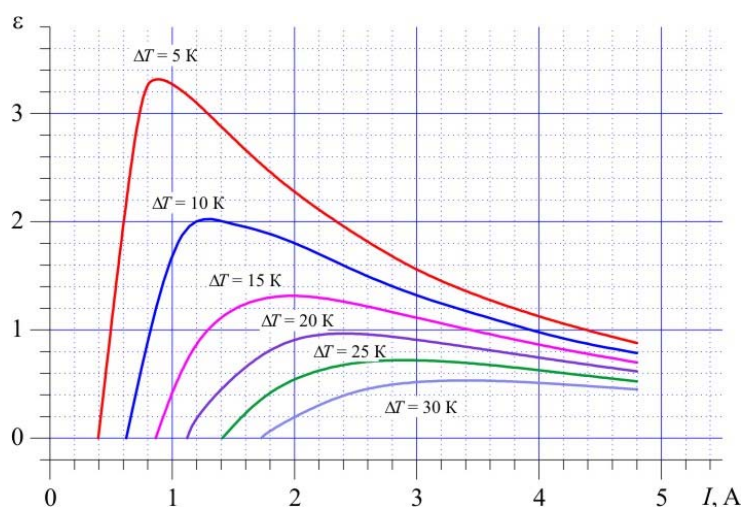


Рис. 12 Типова залежність холодильного коефіцієнта термоелектричного кондиціонера від струму живлення для різних значень перепаду температур між його гарячою і холодною сторонами.

На рис. 12 наведена типова залежність залежність холодильного коефіцієнта термоелектричного кондиціонера від струму живлення для різних значень перепаду температур між його гарячою і холодною сторонами. Дані наведено для температури оточуючого повітря 30 °С. Аналогічні залежності отримано для всіх розглянутих діапазонів температур і записані у вигляді поліномів.

На основі отриманих масивів даних розраховано усереднені коефіцієнти перетворення енергії термоелектричних кондиціонерів для вибраних інтервалів часу протягом року та проведено їх інтегрування для одержання значень інтегрального коефіцієнту ефективності.

В таблиці 2 наведено результати розрахунків у вигляді значень інтегрального коефіцієнту ефективності термоелектричних кондиціонерів для різних кліматичних зон.

Як видно з табл. 2, зі зміною кліматичних зон від екватору до полюсів інтегральний коефіцієнт ефективності термоелектричних кондиціонерів змінюється від 1.5 для тропічного сухого кліматк до 3.06 для помірного морського клімату.

Таблиця 2

*Залежність інтегрального показника ефективності компресійних кондиціонерів від географічної широти*

Кліматичні зони	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Інтегральний коефіцієнт ефективності	1.99	2.09	1.5	2.14	2.62	3.06	2.38	2.21	1.75	1.55

### Порівняння компресійних та термоелектричних кондиціонерів повітря

Таким чином, порівняння значень усередненої ефективності термоелектричних і компресійних кондиціонерів із табл. 1 і 2 свідчить про перевагу компресійних кондиціонерів в жарких кліматичних умовах екватору, тропіків і субтропіків (рис. 13). Проте, починаючи із помірних кліматичних умов, термоелектричні кондиціонери мають перевагу у ефективності до 20 %.

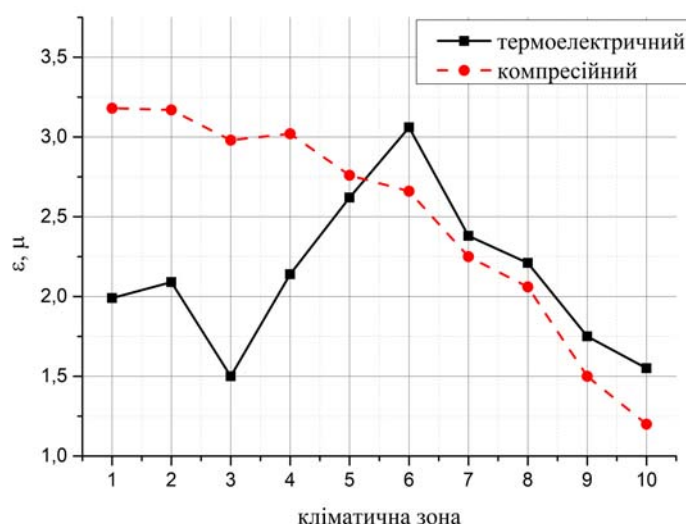


Рис. 13. Порівняння інтегрального коефіцієнту ефективності ( $\epsilon$ ,  $\mu$ ) компресійних та термоелектричних кондиціонерів повітря в різних кліматичних зонах

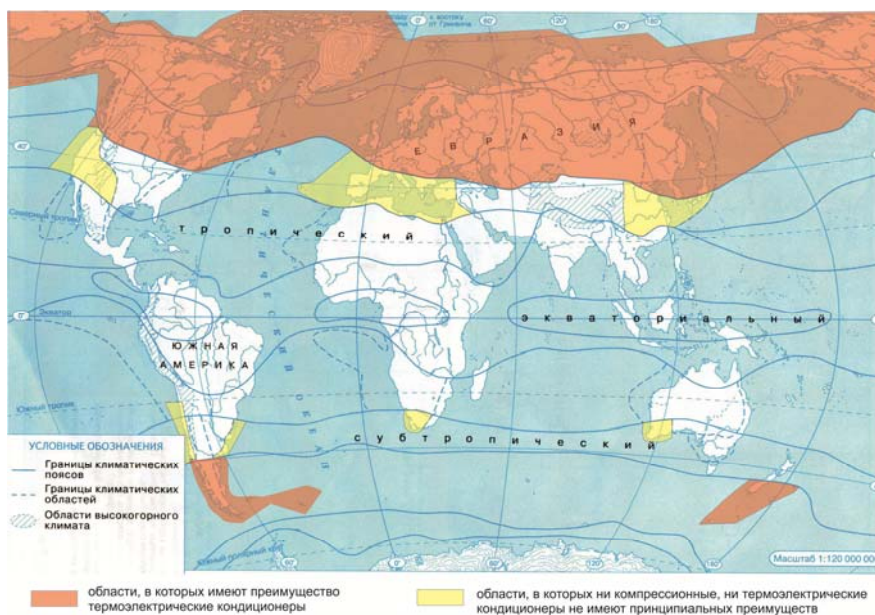


Рис. 14. Области планеты, де використання термоелектричних кондиціонерів є раціональним

Для ілюстрації рис. 13, на карту Землі (рис. 14) нанесено області, де використання термоелектричних кондиціонерів має явні переваги по ефективності (позначено червоним), і області, де використання термоелектричних і компресійних кондиціонерів приблизно рівне по ефективності (позначено жовтим).

Як видно з рис. 14, до раціональних областей використання термоелектричного кондиціонування відноється майже вся Європа, Китай, Росія, Канада, частина США та країни Середземномор'я що, поряд із іншими його перевагами (екологічністю, меншими масогабаритними показниками, надійністю), робить такий варіант повітряного кондиціонування привабливим для використання у автомобільному транспорті, особливо у електромобілях.

## Висновки

1. Розраховано усереднений коефіцієнт ефективності компресійних кондиціонерів при їх постійному використанні протягом року в різних кліматичних зонах. Встановлено, що зі зміною кліматичних зон від екватору до полюсів інтегральний коефіцієнт ефективності компресійних кондиціонерів знижується від 3.18 до 1.2.
2. Розраховано інтегральний коефіцієнт ефективності термоелектричних кондиціонерів при їх постійному використанні протягом року в різних кліматичних зонах. Встановлено, що зі зміною кліматичних зон від екватору до полюсів інтегральний коефіцієнт ефективності термоелектричних кондиціонерів змінюється від 1.5 для тропічного сухого кліматку до 3.06 для помірного морського клімату.
3. Порівняння значень інтегральної ефективності термоелектричних і компресійних кондиціонерів свідчить про перевагу компресійних кондиціонерів в жарких кліматичних умовах екватору, тропіків і субтропіків. Проте, починаючи із помірних кліматичних умов, термоелектричні кондиціонери мають перевагу у ефективності до 20 %, що, поряд із іншими їх перевагами (екологічністю, меншими масогабаритними показниками, надійністю), робить такий варіант повітряного кондиціонування привабливим для використання у автомобільному транспорті, особливо у електромобілях.



## Література

1. [https://www.zr.ru/content/news/350201-kolichestvo\\_avtomobilej\\_v\\_mire\\_perevalilo\\_za\\_milliard/](https://www.zr.ru/content/news/350201-kolichestvo_avtomobilej_v_mire_perevalilo_za_milliard/).
2. Lee, M.Y.; Lee, D.Y. Review on Conventional Air Conditioning, Alternative Refrigerants and CO<sub>2</sub> Heat Pumps for Vehicles. *Adv. Mech. Eng.* 2013, 5, 713924
3. Lee, H.S.; Lee, M.-Y. Cooling Performance Characteristics on Mobile Air-Conditioning System for Hybrid Electric Vehicles. *Adv. Mech. Eng.* 2013, 5, 282313.
4. Ma, G.Y. Study on thermoelectric air conditioning for electric vehicles. *Refrig. Air Cond.* 1998, 14, 5–10.
5. Lee, D. Experimental study on the heat pump system using R134a refrigerant for zero-emission vehicles. *Int. J. Automot. Technol.* 2015, 16, 923–928.
6. Qi, Z.G. Advances on air conditioning and heat pump system in electric vehicles – A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 38, 754–764.
7. Qinghong Peng and Qungui Du. Progress in Heat Pump Air Conditioning Systems for Electric Vehicles – A Review. – *Open Access Energies* 2016, 9(4), 240; doi: 10.3390/en9040240.
8. Розвер Ю.Ю. Термоелектричний кондиціонер для транспортних засобів // *Термоелектрика*. – № 2. – 2003. – С. 52 – 56.
9. Mei, V.C.; Chen, F.C.; Mathiprakasham, B.; Heenan, P. Study of solar-assisted thermoelectric technology for automobile air conditioning. *J. Sol. Energy* 1993, 115, 200–205.
10. Cao, Z.Y. Solution to air conditioning on EVs. *Auto Electric. Parts* 2008, 47, 1–4.
11. Zhang, J.Z. Structural features of fully electric air conditioning system. *Automob. Maint.* 2006, 12, 4–5.
12. Guyonvarch, G.; Aloup, C.; Petitjean, C. Savasse ADMD. 42V Electric Air Conditioning Systems (E-A/CS) for Low Emissions, Architecture, Comfort and Safety of Next Generation Vehicles; SAE Technical Paper No. 2001-01-2500; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2001.
13. Randall, B. Blowing Hot and Cold. Available online: <https://www.teslamotors.com/blog/blowing-hot-and-cold> (accessed on 20 December 2006).
14. Torregrosa, B.; Payá, J.; Corberán, J.M. Modeling of mobile air conditioning systems for electric vehicles. In *Proceedings of the 4th European Workshop – Mobile Air Conditioning and Vehicle Thermal Systems*, Torino, Italy, 1–2 December 2011.
15. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Порівняльний аналіз термоелектричних та компресійних теплових насосів для індивідуальних кондиціонерів // *Термоелектрика*. – 2016. №2. – С 33 – 42.
16. Анатичук Л.І., Прибила А.В., Короп М.М. Порівняльний аналіз термоелектричних та компресійних теплових насосів для індивідуальних кондиціонерів в умовах підвищених температур навколишнього середовища // *Термоелектрика*. – 2016. №5. – С 95 – 98.
17. [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BF%D0%BE%D1%8F%D1%81](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%8F%D1%81)
18. <https://climate-data.org/>.
19. [http://www.holodilshchik.ru/index\\_holodilshchik\\_issue\\_4\\_2005\\_Compressors\\_hermetic\\_Atlant.html](http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_4_2005_Compressors_hermetic_Atlant.html)
20. <http://www.aholod.ru/upload/docs/tabl-compr.pdf>.
21. <http://www.eurobi.ru/zapchasti/kompressor/rotary/tecumseh.html>.
22. <http://www.rembittex.ru/holod/remholod.pdf>.
23. <http://holodprom.com.ua/sites/default/files/Catalog.pdf>.
24. <http://www.garantzelremont.ru/images/remont-holodilnikov.pdf>.
25. <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v1182400-74>.

Надійшла до редакції 06.03.2019

Анатичук Л.І., акад. НАН України<sup>1,2</sup>  
Прибыла А.В., канд. физ.-мат. наук<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины, ул. Науки, 1,  
Черновцы, 58029, Украина, e-mail: anatysh@gmail.com;

<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет  
им. Юрия Федьковича, ул. Коцюбинского, 2,  
Черновцы, 58012, Украина

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНДИЦИОНЕРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В работе приводятся результаты расчетов и сравнительного анализа интегральной эффективности термоэлектрических и компрессионных кондиционеров при условии их использования для кондиционирования воздуха в транспортных средствах в течение целого года в различных климатических условиях. Библ. 25, табл. 2, рис. 14.

**Ключевые слова:** термоэлектрический кондиционер, компрессионный кондиционер, эффективность.

L.I. Anatyshuk<sup>1,2</sup> acad. National Academy of Sciences of Ukraine  
A.V. Prybyla<sup>1,2</sup> cand. Phys. - math. Sciences

<sup>1</sup>Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,  
1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;

<sup>2</sup>Yu.Fedkovych Chernivtsi National University,  
2, Kotsiubynskyi str., Chernivtsi, 58000, Ukraine  
e-mail: anatysh@gmail.com

## ON THE EFFICIENCY OF THERMOELECTRIC AIR-CONDITIONERS FOR VEHICLES

The paper presents the results of calculations and comparative analysis of the integral efficiency of thermoelectric and compression air-conditioners, subject to their use for air conditioning in vehicles during the whole year in different climatic conditions. Bibl. 25, Tabl. 2, Fig. 14.

**Key words:** thermoelectric air-conditioner, compression air-conditioner, efficiency.

### References

1. [https://www.zr.ru/content/news/350201-kolichestvo\\_avtomobilej\\_v\\_mire\\_perevalo\\_za\\_milliard/](https://www.zr.ru/content/news/350201-kolichestvo_avtomobilej_v_mire_perevalo_za_milliard/).
2. Lee M.Y. Lee, D.Y. (2013). Review on conventional air conditioning, alternative refrigerants and CO<sub>2</sub> heat pumps for vehicles. *Adv. Mech. Eng.*, 5, 713924
3. Lee H.S. Lee, M.-Y. (2013). Cooling performance characteristics on mobile air-conditioning system for hybrid electric vehicles. *Adv. Mech. Eng.*, 5, 282313.

4. Ma G.Y. (1998). Study on thermoelectric air conditioning for electric vehicles. *Refrig. Air Cond.*, 14, 5–10.
5. Lee, D. (2015). Experimental study on the heat pump system using R134a refrigerant for zero-emission vehicles. *Int. J. Automot. Technol.*, 16, 923–928.
6. Qi Z.G. (2014). Advances on air conditioning and heat pump system in electric vehicles – A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 38, 754–764.
7. Qinghong Peng and Qungui Du. (2016). Progress in heat pump air conditioning systems for electric vehicles – A Review. *Open Access Energies* , 9(4), 240; doi: 10.3390/en9040240.
8. Rozver Yu.Yu. (2003). Thermoelectric air conditioner for vehicles. *J. Thermoelectricity*, 2, 52 – 56.
9. Mei V.C., Chen F.C., Mathiprakasam B., Heenan P.(1993). Study of solar-assisted thermoelectric technology for automobile air conditioning. *J. Sol. Energy*, 115, 200–205.
10. Cao Z.Y. (2008). Solution to air conditioning on EVs. *Auto Electric. Parts*, 47, 1–4.
11. Zhang J.Z. (2006). Structural features of fully electric air conditioning system. *Automob. Maint.*, 12, 4–5.
12. Guyonvarch G., Aloup C., Petitjean C. Savasse ADMD. 42V Electric air conditioning systems (E-A/CS) for low emissions, architecture, comfort and safety of next generation vehicles; *SAE Technical Paper No. 2001-01-2500; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2001.*
13. Randall B. (2006). Blowing hot and cold. Available online: <https://www.teslamotors.com/blog/blowing-hot-and-cold> (accessed on 20 December 2006).
14. Torregrosa B, Payá J., Corberán J.M. (2011). Modeling of mobile air conditioning systems for electric vehicles. *Proc. of the 4th European Workshop – Mobile Air Conditioning and Vehicle Thermal Systems* (Torino, Italy, 1–2 December 2011).
15. Anatyчук Л.І., Прибила А.В. (2016). Comparative analysis of thermoelectric and compression heat pumps for individual air conditioners. *J. Thermoelectricity*, 2, 33 – 42.
16. Anatyчук Л.І., Прибила А.В., Korop M.M. (2016). Comparative analysis of thermoelectric and compression heat pumps for individual air-conditioners at elevated ambient temperatures. *J. Thermoelectricity*, 5, 95 – 98.
17. [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BF%D0%BE%D1%8F%D1%81](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%8F%D1%81)
18. <https://climate-data.org/>.
19. [http://www.holodilshchik.ru/index\\_holodilshchik\\_issue\\_4\\_2005\\_Compressors\\_hermetic\\_Atlant.html](http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_4_2005_Compressors_hermetic_Atlant.html)
20. <http://www.aholod.ru/upload/docs/tabl-compr.pdf>.
21. <http://www.eurobi.ru/zapchasti/kompressory/rotary/tecumseh.html>.
22. <http://www.rembittex.ru/holod/remholod.pdf>.
23. <http://holodprom.com.ua/sites/default/files/Catalog.pdf>.
24. <http://www.garantzelremont.ru/images/remont-holodilnikov.pdf>.
25. <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v1182400-74>.

Submitted 06.03.2019