

УДК 664

І.Я. Стадник д.т.н., проф., Н.М. Зварич к.т.н., доц., О.М. Пилипець к.т.н., доц.,
В.Я. Ворошчук к.т.н., доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

I. Stadnyk Dr.; Prof., N. Zvarych Ph.D.; Assoc. Prof., O. Pylypets Ph.D.; Assoc. Prof.,
V. Voroshchuk Ph.D.; Assoc. Prof.

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF ENERGY RESOURCES

Abstract. The estimation of the general condition of processes at power effects is given. The offered air pump and system of realization of a refrigerating cycle are considered. The redistribution of energy potentials of natural, forcibly created environments or systems and the synthesis on this basis of powerful heat fluxes in combination with advanced control methods, allows you to control their values of thermodynamic parameters.

Відомо, що фізичний стан системи визначається значеннями двох змінних величин з числа трьох, а саме тиску, об'єму і температури. Між цими трьома параметрами існує функціональний зв'язок. Надалі будемо вважати тиск p і об'єм v незалежними змінними і тоді цей зв'язок відобразимо у формі: $T = f(p, v)$.

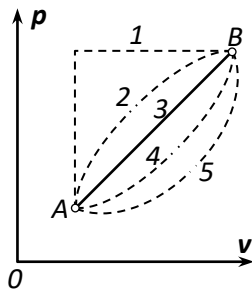


Рисунок 1. Залежність $p=p(v)$ в трансформаціях термодинамічних параметрів

Сукупність значень p і v визначає положення деякої точки на площині $p-v$. Кожній такій точці відповідає певне значення температури T (рисунок 1).

Диференціал $dT = \frac{\partial f}{\partial p} dp + \frac{\partial f}{\partial v} dv$ є повним диференціалом. За зміни стану системи від параметрів в точці A до параметрів точки B температура в точці B може бути визначена у формі: $T_B = f(p_B, v_B)$.

Визначення значень роботи, що здійснюється системою в результаті зміни її стану за переходу параметрів від точки A до точки B і, вважаючи процес зворотним, відобразимо залежність:

$$W_{A-B} = \int_{v_A}^{v_B} p dv$$

Графічною інтерпретацією наведеного інтегралу є площа під кривою переходу на діаграмі $p-v$. Оскільки перехід від точки A до точки B можливо здійснити різними траєкторіями, то це означає, що ці площі будуть різними. Їх площа в тій чи іншій мірі визначається конструктивними параметрами та частотою обертання привода. Звідси витікає, що значення роботи W залежить не тільки від координат точок A і B , а і від обраних траєкторій переходу. Логічно припустити, що і кількість теплоти, яка сприймається в цьому переході системи також залежить від останніх, однак різниця між кількістю сприйнятої теплоти Q і енергії W від форми траєкторії переходу не залежить. Висновок про сталість різниці $Q - W$, яка відповідає тільки стану системи в точках A і B , вказує на зміну внутрішньої енергії u :

$$\Delta u_{A \rightarrow B} = (Q - W)_{A \rightarrow B} = F(p_B, v_B) - F(p_A, v_A) \quad (1)$$

В іншій формі вираз (1) має вид:

$$du = dQ - dW = \frac{\partial u}{\partial p} dp + \frac{\partial u}{\partial v} dv \quad (2)$$

Для випадку замкнутої траєкторії від точки A одержуємо криволінійний інтеграл від du , тоді маємо:

$$\int_{v_A}^{v_A} du = u_A - u_A = 0.$$

Підведення теплового потоку Q до середовища означає відповідні зміни в значення ентропії. Остання визначається лише змінними, що характеризують фізичний стан системи, і в переході від точки A до точки B зміни ентропії не залежать від його траєкторії. При цьому

$$\Delta s_{A \rightarrow B} = \int_A^B \frac{dQ_{зв}}{T},$$

де $dQ_{зв}$ – кількість теплоти, що проходить через границі системи в період зворотного процесу.

Заміна значень dQ і dW в умові (2) приводить до виду:

$$du = Tds - pdv, \quad (3)$$

в якому присутні функції точки і повні диференціали.

Інтегрування (3) приводить до значення u як функції змінних s і v у формі:

$$u = f_u(s, v), \quad (4)$$

або, розкриваючи умову (4), запишемо:

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial s} \right)_v ds + \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_s dv, \quad (5)$$

а співставленням з умовою (3) одержимо:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial s} \right)_v = T \quad \text{і} \quad \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_s = -p, \quad (6)$$

Якщо умова (6) відома для даної маси всякої однорідної рідини, то параметри T , p і u можуть бути вираховані для всякого фізичного стану середовища, який визначається незалежними змінними s і v . Тому продуктивність теплового насоса встановлює значення внутрішньої енергії u процесу.

Література

1. Hu, B., Xu, S., Wang, R. Z., Liu, H., Han, L., Zhang, Z., Li, H. 2019. Investigation on advanced heat pump systems with improved energy efficiency. *Energy Conversion and Management*, 192, 161-170. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.04.031>
2. Liu, S., Dai, S., Ding, Q., Hu, L., Wang, Q. 2017. Fast Calculation Method of Energy Flow for Combined ElectroThermal System and Its Application. *Energy and Power Engineering*, vol. 09, no. 04, p. 376-389. <https://doi.org/10.4236/epe.2017.94b043>
3. Byrne, P., Ghouballi, R. 2019. Exergy analysis of heat pumps for simultaneous heating and cooling. *Applied Thermal Engineering*, vol. 149, p. 414-424. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.12.069>