

УДК 697.4 : 621.577

А. А. Худенко, *докт. техн. наук, проф.*  
Київський національний університет  
будівництва і архітектури

## ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

Теплонасосна установка (ТНУ) представляє пристрій, у якому температура наявного теплоносія підвищується до потрібного рівня за рахунок витрат електричної чи іншої енергії. ТНУ працює за зворотним термодинамічним циклом Карно і відрізняється від холодильної машини тільки тим, що діє при більш високих верхньому і нижньому рівнях температур. У практиці використовують компресійні, абсорбційні і напівпровідникові ТНУ.

Теплоенергетична ефективність використання ТНУ, як і будь-якої іншої теплової машини, визначається величиною коефіцієнта корисної дії. У технічній літературі поняття ККД ТНУ трактується по різному як у частині визначення, так і в кількісному відношенні.

Проаналізуємо питання визначення ККД на прикладі компресійної ТНУ (рис. 1), що працює в режимі опалення *a* та охолодження *b* приміщення.

Робоче тіло в пароподібному стані стискається компресором і при цьому воно нагрівається. У конденсаторі тепла стиснута пара скраплюється і при цьому від нього відводиться тепло  $Q_T$  при температурі  $T_T$ . Після дроселя отримана рідина розширюється, її тиск знижується. При цьому частина рідини випаровується і температура рідини падає до  $T_x$ . У випарнику, віднімаючи тепло  $Q_{nc}$  від холодного тіла при  $T_x$  рідина повністю випаровується і холодна пара знову засмоктується компресором. Якщо таку установку використовувати при температурах вищих, ніж у навколишньому середовищі  $T_{nc}$ , то вона буде працювати як тепловий насос, забираючи тепло з навколишнього середовища  $Q_{nc}$  і віддаючи тепло  $Q_T$  при більш високій температурі в опалюване приміщення.

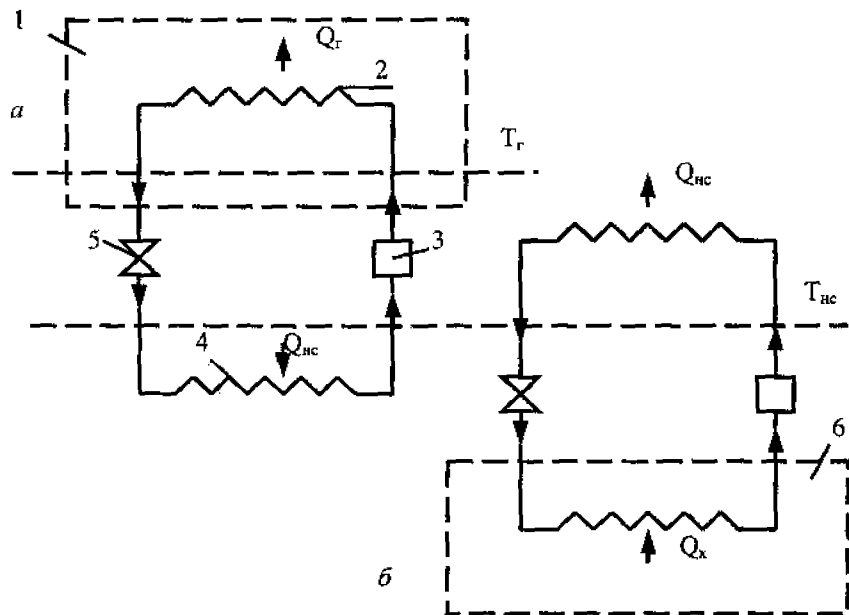


Рис. 1. Принципова схема ТНУ, що працює в режимі опалення *a* та охолодження *б* приміщення: 1 – приміщення, що нагрівається; 2 – конденсатор; 3 – компресор; 4 – випарник; 5 – дросель; 6 – охолоджуване приміщення

Якщо ж використовувати установку при низьких температурах, то вона буде працювати як холодильник, відбираючи тепло  $Q_x$  з охолоджуваного приміщення і віддавати тепло  $Q_{nc}$  у навколишнє середовище.

Припустимо, що ТНУ в режимі опалення підтримує в приміщенні температуру  $T_{пм} = 291 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $18 \text{ }^\circ\text{C}$ ) при зовнішній температурі  $T_{nc} = 278 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ ). При цьому температура теплоносія підтримується на рівні  $T_r = 323 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Припустимо, виходячи з реальних характеристик діючих ТНУ, що на кожні  $Q_1 = 1000 \text{ Вт}$  теплоти, переданої ТНУ в приміщення, витрачається  $E_2 = 700 \text{ Вт}$  електричної енергії, а інші  $Q_3 = 300 \text{ Вт}$  відбираються з навколишнього середовища.

ККД установки, виходячи з теплового балансу, при цьому буде дорівнювати  $\eta_v = Q_1/Q_2 = 1000/700 = 1,42$  (142%). Формально розрахунок виконаний правильно, але результат розрахунку суперечить законам термодинаміки тому, що при аналізі теплоенергетичної ефективності ТНУ необхідно враховувати як кількісні (балансові), так і якісні показники трансформації теплової енергії.

Визначимо працездатність (ексергію)  $E_1$  теплоти  $Q_1$ , переданої ТНУ в приміщення. Коефіцієнт працездатності теплоти, переданої в приміщення дорівнює  $K_n = 1 - T_{вс}/T_r = 1 - 278/323 = 0,14$ . Ексергія теплоти  $Q_1 = 1000$  Вт складе  $E_1 = Q_1 \cdot K_n = 1000 \cdot 0,14 = 140$  Вт. При цьому ККД установки буде дорівнювати  $\eta_y = E_1/E_2 = 140/700 = 0,2$  (20%). Це свідчить про те, що в ідеальних умовах, тобто при роботі ТНУ за циклом Карно, коли внутрішні втрати енергії в установці відсутні, вистачило б усього 140 Вт електроенергії. У реальному випадку довелося витратити  $E_2 = 700$  Вт електроенергії, тому що  $700 - 140 = 560$  Вт знецінилися в самій установці. Ці 560 Вт і є той резерв, за рахунок якого в принципі можна її удосконалити, прагнучи до максимально досяжного ККД – 100%, коли установка могла б добути з навколишнього середовища вже не  $Q_3 = 300$  Вт, а  $Q_1 - Q_3 = 1000 - 140 = 860$  Вт.

У наведеному прикладі ми прийняли коефіцієнт перетворення  $K_{пер}$  ТНУ рівним  $K_{пер} = 1000/700 = 1,428$ . Сучасні конструкції ТНУ працюють при цілорічній експлуатації з  $K_{пер} = 2-3$ .

Розглянемо ефективність ТНУ, що працює з  $K_{пер} = 2,5$ . На кожні  $Q_1 = 1000$  Вт теплоти, переданої в приміщення витрачається при цьому  $E_2 = 400$  Вт електроенергії, а інші  $Q_3 = 600$  Вт відбираються з навколишнього середовища. Вихідні дані по температурах приймаємо такими, як і в першому випадку.

Коефіцієнт працездатності теплоти, переданої в приміщення складає  $K_n = 1 - T_{вс}/T_r = 1 - 278/323 = 0,14$ .

Ексергія теплоти, переданої в приміщення дорівнює  $E_1 = Q_1 \cdot K_n = 1000 \cdot 0,14 = 140$  Вт.

ККД ТНУ буде дорівнювати  $\eta_y = E_1/E_2 = 140/400 = 0,35$  (35%). При цьому в установці знецінюється не 560 Вт енергії, як у першому випадку, а всього  $E_2 - E_1 = 400 - 140 = 260$  Вт, тобто майже в два рази менше.

Слід зазначити, що ТНУ мають також значні резерви підвищення ефективності за рахунок зменшення різниці температур джерела і приймача теплоти. Таке зменшення досягається при використанні джерел теплоти таких, як зворотна вода систем опалення, вентиляції, вторинні теплові енергоресурси та ін. При цьому значення  $K_{пер}$  підвищується.

Порівняємо теплоенергетичну ефективність систем тепlopостачання з ТНУ із системами тепlopостачання від КЕС, котельні і ТЕЦ.

Найбільший ефект досягається при заміні прямого електричного опалення на електричне опалення з використанням ТНУ. Навіть при ККД системи тепlopостачання з ТНУ 20% теплонасосне опалення

приміщень економічніше прямого електричного (споживаючого 1000 Вт електроенергії) приблизно на 43%. У системах тепlopостачання з ККД 35% на опалення приміщень витрачається в 2,5 рази менше електроенергії в порівнянні з прямим електричним опаленням приміщень.

Питома витрата палива на вироблення теплоти в котельні складає в середньому 150 г/(кВт·год), а електроенергії на КЭС – 330 г/(кВт·год), тобто в 2,2 рази більше. Якщо врахувати, що електроенергії при опаленні від ТНУ потрібно в 2–3 рази менше, ніж при безпосередньому електричному опаленні, то системи з ТНУ дають можливість досягти 20–30% економії палива в порівнянні з використанням котелень. Розрахунки свідчать, що ТНУ потужністю 240 МВт (теплових), що використовує тепло стічних вод для опалення, кондиціонування повітря і гарячого водопостачання дає змогу заощадити 300 тис т у.п на рік у порівнянні з котельною такої потужності.

Єдиною системою, з яким ТНУ не може конкурувати по ефективності є ТЕЦ, зате в комбінації ТЕЦ – ТНУ досягається максимальний ефект у частині використання палива. Якщо здійснити теплохолодопостачання об'єкта за схемою: ТНУ споживає електроенергію від ТЕЦ, а також зворотню воду від системи опалення, що працює від ТЕЦ, то при цьому паливо в комбінованій системі використовується з максимальним термодинамічним ефектом. Якщо вважати, що ТЕЦ і ТНУ працюють відповідно за прямим і зворотним циклами Карно, то для одержання одиниці теплоти необхідно палива приблизно в 5 разів менше, ніж при прямому його використанні в опалювальній котельні. У реальних умовах цей показник буде меншим, але все-таки його значення буде вищим, ніж у будь-якій іншій системі, яка використовує паливо.

### **Використана література**

1. *Бродянский В.М.* Эксергетический метод термодинамического анализа. – М.: Энергия, 1973. – 202 с.
2. *Хайнрих Г.* Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / пер. с нем. – М.: Стройиздат, 1985. – 351 с.