

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОТИ ВИТЯЖНОГО ПОВІТРЯ І ГАРЯЧОЇ ВОДИ

Проблема використання теплоти низькотемпературних джерел енергії, якими є витяжне повітря систем вентиляції будинків різного призначення, вода зворотних магістралей систем опалення та теплопостачання, геотермальна вода, за схемами із застосуванням теплових насосів [1] або іншими відомими схемами пов'язана в першу чергу з оцінкою ефективності як теплотехнічних установок, так і всієї схеми тепловикористання. Частіше всього така оцінка дається на основі енергетичного балансу без врахування практичної цінності одержаної теплової енергії. При цьому термічний коефіцієнт корисної дії термодинамічного циклу може бути досить високим, хоч він і не завжди правильно оцінює реальну ефективність тепловикористання.

Ефективність використання теплоти витяжного повітря систем вентиляції та гарячої води зворотних магістралей систем теплопостачання визначається температурою цих джерел та параметрами зовнішнього середовища, тобто їх ексергією. Чим ближчі значення параметрів джерела теплоти до параметрів навколишнього середовища, тим ця ефективність буде нижчою. В інтервалі температур повітря чи води, близьких до температури навколишнього середовища, ефективність процесу визначається значенням падіння ексергії тепловіддаючого тіла, віднесеним до кількості переданої теплоти:

$$\frac{-\Delta E_x}{Q} = \frac{T - T_0}{T}, \quad (1)$$

де T , T_0 — абсолютна температура тепловіддаючого тіла та навколишнього середовища.

Величина $\frac{T - T_0}{T}$, в формулі (1), названа коефіцієнтом роботоздатності теплоти [2] або коефіцієнтом цінності теплоти [3], показує ексергію тіла, віднесену до одиниці переданої теплоти. Зміна цього коефіцієнта в залежності від температури при $T > T_0$ показана на графіку рис. 1.

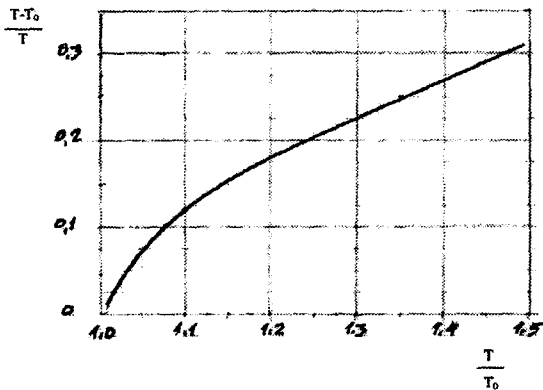


Рис. 1. Коефіцієнт роботоздатності теплоти в залежності від температури

З наведеного рисунка видно, що з наближенням до температури навколишнього середовища ($T \rightarrow T_0$) коефіцієнт роботоздатності теплоти різко зменшується до нуля, а в інтервалі температур $T = 300 \dots 350$ К при температурі навколишнього середовища $T_0 = 260 \dots 280$ К значення цього коефіцієнта не перевищує 0,26. Тому оцінка ефективності використання теплоти низькотемпературних джерел енергії більш реальна, якщо вона одержана на основі ексергетичного, а не теплового (енергетичного) балансу.

Термічна ексергія витяжного вентиляційного повітря залежить не тільки від його температури та вологості, а й від температури та вологості повітря навколишнього середовища. З врахуванням того, що атмосферний тиск змінюється в невеликих границях, а тиск витяжного повітря близький до тиску навколишнього середовища. Бес Т. [3] дає дещо громіздку але теоретично точну формулу для практичних розрахунків ексергії повітря, віднесено до $(1 + x)$ кг вологого повітря:

$$Ex = c_p(T - T_0) - T_0 \left[c_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{p - \varphi p_s(t)}{p_0 - \varphi_0 p_s(t_0)} \right] + x[i'' - i_0'' - T_0(s'' - s_0'')], \quad (2)$$

де c_p — питома теплоємність сухого повітря; T, T_0 — температура витяжного повітря і навколишнього середовища; φ, φ_0 — відносна вологість витяжного повітря і навколишнього середовища; R — газова стала повітря; $p_s(t_0), p_s(t)$ — тиск насиченої водяної пари при температурі t

втяжного та t_0 атмосферного повітря; $x = 0,622 \frac{\varphi p_s(t)}{p_0 - \varphi p_s(t)}$ — вологовміст повітря; i'', s'' — ентальпія та ентропія атмосферного повітря; i_0'', s_0'' — ентальпія та ентропія водяної пари у атмосферному повітрі; p — тиск повітря.

В умовах постійного тиску ексергія втяжного вологого повітря суттєво збільшується із збільшенням його температури (рис. 2), в меншій мірі змінюється в залежності від вологості (рис. 3) і зменшується при збільшенні температури навколишнього середовища (рис. 4). Графіки на рис. 2, 3, 4 побудовані по формулі (2).

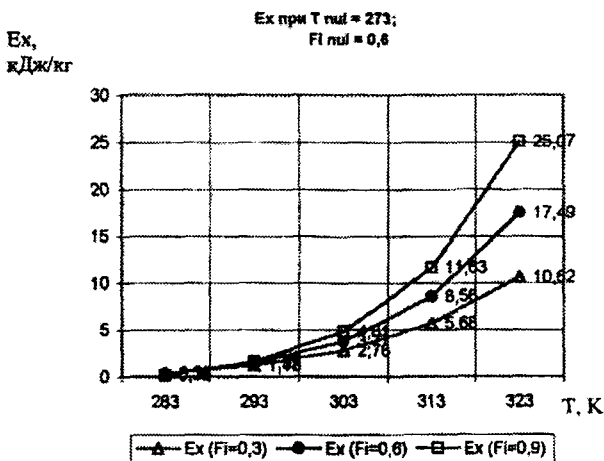


Рис. 2. Залежність ексергії вологого повітря від його температури

Термічна ексергія води визначається за відомою формулою:

$$E_{x_t} = i - i_0 - T_0(s - s_0). \quad (3)$$

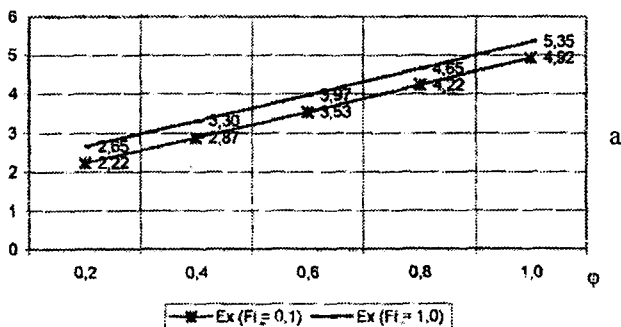
Для систем тепловикористання, в яких гаряча вода контактує з атмосферним повітрям, автори [4] ввели поправку до формули (3) для врахування повної термічної ексергії води та водяної пари:

$$E_x = E_{x_t} + RT_0 \ln \frac{1}{\varphi_0} = E_{x_t} + \Delta E_{x_0}, \quad (4)$$

де R — газова стала водяної пари; φ_0 — відносна вологість атмосферного повітря; ΔE_{x_0} — ексергія води на лінії насичення або насиченої водяної пари при температурі навколишнього середовища.

Ех,
кДж/кг

Ех при $T_{пл} = 273; T = 303$



Ех₀,
кДж/кг

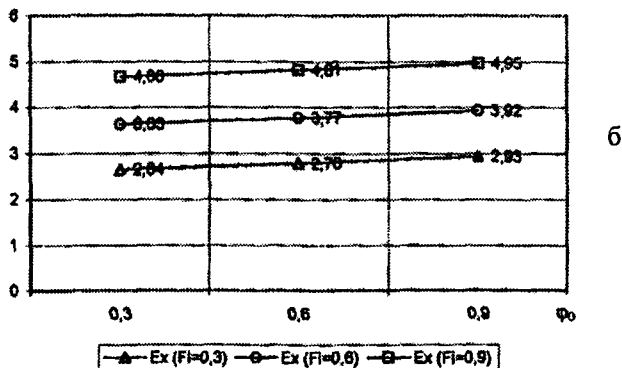


Рис. 3. Залежність ексергії вологого повітря від його вологості а та вологості атмосферного повітря б

Поправка ΔE_{x_0} , яка входить до рівняння (4), враховується при розрахунках ексергії води у відкритих системах. Ця поправка з'являється в результаті неповного насичення атмосферного повітря водяною парою.

На рис. 5 та 6 показані графіки зміни ексергії води і водяної пари в залежності від температури та від параметрів навколишнього середовища. Графіки побудовані за даними [4]. З рис. 6, наприклад, видно, що величина поправки ΔE_{x_0} того ж порядку, що й сама ексергія води, взята по графіку на рис. 5, тому в системах контактного охолодження води її не можна не враховувати.

Ех,
кДж/кг

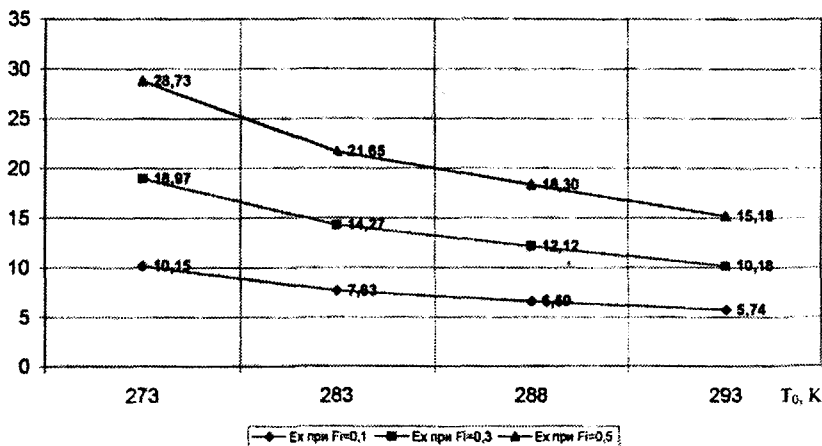


Рис. 4. Ексергія вологого повітря в залежності від температури навколишнього середовища

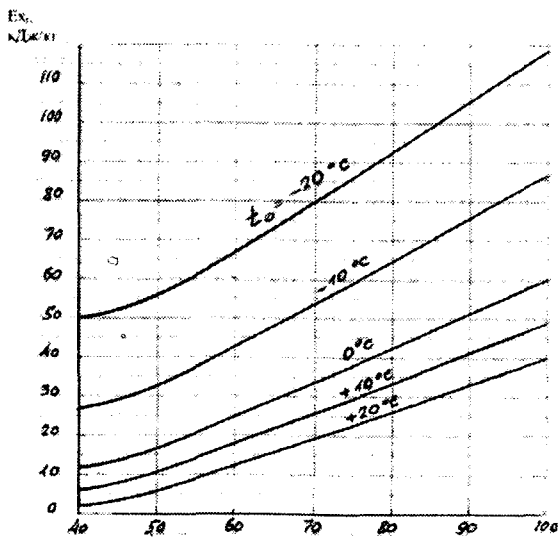


Рис. 5. Фізична ексергія води в залежності від її температури при різних температурах навколишнього середовища

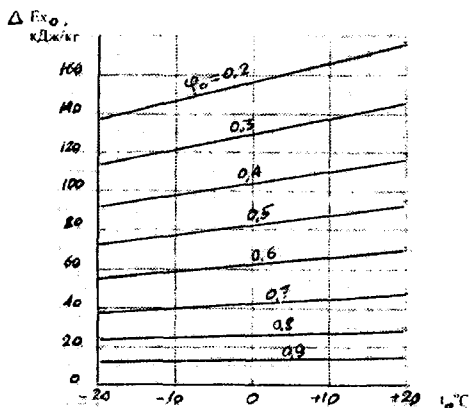


Рис. 6. Термічна ексергія насиченої водяної пари в залежності від температури та вологості навколишнього середовища

Висновки

1. Ефективність використання теплоти низькотемпературних джерел енергії визначається ексергетичним К.К.Д. та практичною придатністю цих джерел теплової енергії.

2. Аналіз рівняння балансу ексергій тепловіддаючого та теплосприймаючого потоків $\Sigma Ex_{вх} - T_0 \Delta S = \Sigma Ex_{вих}$ та рівняння (1) показує, що ефективність тепловикористання низькопотенціальних теплових ресурсів в рівній мірі залежить від температури тепловіддаючого потоку та від втрат ексергії, так як значення цих втрат і ексергій води та вологого повітря в розглянутих умовах величини одного порядку.

Література

1. Степанов М. В., Александрюк Ю. П. Ексергетична оцінка ефективності теплових насосів в системах використання вторинних енергоресурсів. В зб. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. — К., 2001. — Вип. 1. — С. 105—112.

2. Бродянский В. Н. Об эксергетической температурной шкале. Известия ВУЗов. Энергетика, 1964. — № 5. — С. 65—72.

3. Бэс Т. Эксергия в процессах отопления, кондиционирования воздуха и сушки. В кн. Вопросы термодинамического анализа (эксергетический метод) / Под ред. В. Н. Бродянского — М.: Мир, 1966. — С. 139—149.

4. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия. — М.: Энергия, 1968. — 280 с.