

УДК 621.577

О. П. Остапенко, канд. техн. наук;

І. С. Колос, студ.

ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Проаналізовано енергетичну та екологічну ефективності теплонасосних установок (ТНУ) з різними джерелами низькотемпературної теплоти для підприємств харчової промисловості. Запропоновано методи визначення енерго- та екологічної ефективності теплонасосних установок для різних джерел низькотемпературної теплоти. Рекомендації можуть бути використані для прогнозування умов ефективної інтеграції теплонасосних установок в теплові схеми підприємств харчової промисловості.

Вступ

Енергозбереження — це одна з головних проблем, що вирішуються світовою спільнотою останнім часом. Досягаються дві основні мети — збереження невідновлюваних енергоресурсів та скорочення шкідливих викидів в атмосферу продуктів згорання, які є основним фактором глобального потепління. Цією проблемою активно займаються міжнародні, регіональні та національні організації, виконуються комплексні програми з енергозбереження. Значного розвитку набувають технології «нетрадиційної енергетики», які є екологічно чистими та використовують відновлювані або вторинні джерела енергії.

Одним з ефективних енергозберігаючих засобів, які забезпечують економію органічного палива і зниження забруднення навколишнього середовища та задовольняють потреби споживачів в технологічній теплоті, є впровадження теплонасосних технологій виробництва теплоти [1—2].

Основна частина

Однією з найважливіших умов раціонального застосування теплових насосів є наявність джерел низькотемпературної теплоти з достатньо високою температурою протягом року, які не потребують значних витрат на перекачування та не призводять до корозії устаткування. Теплота, що виробляється тепловими насосами, застосовується для опалення та гарячого водопостачання житлових, промислових та громадських споруд, а також для технологічних потреб. Другою важливою умовою ефективного застосування теплових насосів є вдале поєднання параметрів низькотемпературного та високотемпературного джерел теплоти [2—4]. Найбільш енергетично та економічно вигідним варіантом застосування теплових насосів є одночасне вироблення холоду та теплоти, що особливо актуально для підприємств харчової промисловості.

З урахуванням висновків та рекомендацій з [2—5] та власних проведених досліджень [6—9], нами досліджувалась енергетична та екологічна ефективність теплонасосних установок з різними джерелами низькотемпературної теплоти для підприємств харчової промисловості.

Метою цього дослідження є визначення енергетичних та екологічних переваг застосування теплових насосів з різними джерелами теплоти для підприємств харчової промисловості, розробка методів оцінки енерго- та екологічної ефективності теплонасосних установок, розробка рекомендацій з визначення умов ефективної інтеграції ТНУ в теплові схеми підприємств харчової промисловості.

Джерела низькотемпературної теплоти для теплових насосів можна умовно поділити на два види. По-перше, це природні джерела теплоти: вода (поверхнева та глибинна, а також термальні води), повітря, ґрунт, сонячна радіація тощо. До другого виду відносяться вторинні низькотемпературні енергоресурси: скидне повітря систем вентиляції, очищена вода станцій аерації; вода, яка потребує охолодження в системах технічного водопостачання промислових підприємств; скидна теплота систем охолодження машин (гідрогенераторів, трансформаторів тощо); також використовується теплота, що відводиться в технологічному процесі для охолодження. Характеристику джерел низькотемпературної теплоти наведено в таблиці.

Характеристика джерел низькотемпературної теплоти [2]

Джерело низькотемпературної теплоти	Температурний рівень джерела, °С
Повітря	-5...+15
Ґрунт	5...10
Ґрунтові води	8..15
Поверхневі води	4...17
Стічні води	10...17
Оборотна вода	25...40
Геотермальні води	40...65
Високотемпературні викиди	40...70

Енергетичну ефективність теплових насосів можна оцінити декількома критеріями ефективності. Важливим показником ефективності ТНУ є показник питомих витрат електроенергії на одиницю виробленої теплоти в тепловому насосі. Найчастіше енергетична ефективність перетворення енергії в тепловому насосі оцінюється коефіцієнтом перетворення енергії ϕ , який дорівнює відношенню енергії, що надійшла споживачу, до енергії, яку використали для реалізації циклу. Величина коефіцієнта перетворення залежить від різниці температур високотемпературного та низькотемпературного джерел теплоти, термодинамічних властивостей холодоагенту та особливостей термодинамічного циклу, технічної досконалості конструкції теплового насоса. У першому наближенні можна вважати, що коефіцієнт ϕ залежить тільки від різниці температур.

Нами проведено дослідження ефективності роботи ТНУ з електроприводом на різних джерелах низькотемпературної теплоти для систем теплопостачання підприємств харчової промисловості. Теплота, що виробляється тепловими насосами, може бути використана для опалення та гарячого водопостачання, а також для технологічних потреб. Схема застосування ТНУ з електроприводом в системах теплопостачання подана в [9].

Значення коефіцієнта перетворення ТНУ для різних джерел низькотемпературної теплоти в залежності від температури води на виході з конденсатора теплового насоса показані на рис. 1. Найбільші значення коефіцієнта перетворення властиві ТНУ, де джерелами низькотемпературної теплоти є оборотна вода (3...4,5), геотермальні води та високотемпературні промислові викиди (4,3...6,45). Найменші значення ϕ характерні для ТНУ з використанням теплоти ґрунту та навколишнього повітря (2...3,15).

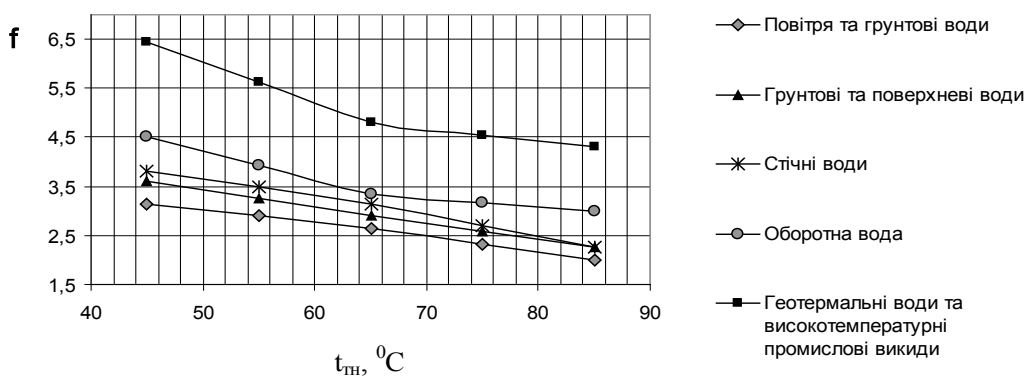


Рис. 1. Значення коефіцієнта перетворення ТНУ для різних джерел низькотемпературної теплоти в залежності від температури води на виході з конденсатора теплового насоса

Як видно із рис. 1, для всіх джерел низькотемпературної теплоти спостерігається зменшення значення коефіцієнта перетворення зі збільшенням температури води на виході з конденсатора ТНУ. Це зумовлено збільшенням різниці температур високотемпературного та низькотемпературного джерел теплоти, що знижує ефективність ТНУ. Запропоновані залежності дозволяють визначити раціональні температурні режими роботи ТНУ для різних джерел теплоти та обґрунтувати значення граничної ефективної температури теплоносія на виході з конденсатора ТНУ.

На рис. 2 показано графіки залежностей показника питомих витрат електроенергії на одиницю виробленої теплоти в ТНУ в залежності від температури води на виході з конденсатора для різних дже-

рел теплоти. ТНУ працює тим ефективніше, чим менші значення цього показника. Найменші значення показника питомих витрат електроенергії характерні для ТНУ з використанням теплоти оборотної води (61,78...92,67 (кВт·год)/ГДж), геотермальних вод та високотемпературних промислових викидів (43,1...64,65 (кВт·год)/ГДж). Для всіх джерел низькотемпературної теплоти на рис. 2 спостерігається збільшення витрат електроенергії зі збільшенням температури води на виході з конденсатора ТНУ. Це зумовлено збільшенням потужності компресора ТНУ внаслідок збільшення різниці температур.

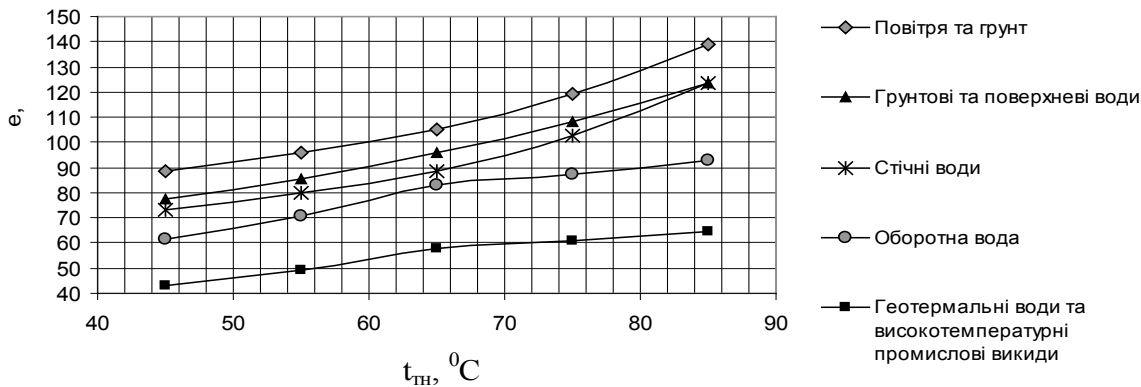


Рис. 2. Значення показника питомих витрат електроенергії на одиницю виробленої теплоти в ТНУ від температури води на виході з конденсатора для різних джерел теплоти

Залежності, графіки яких показані на рис. 1 та 2, дозволяють визначити раціональні температурні режими роботи ТНУ для різних джерел теплоти, обґрунтувати вибір низькотемпературного джерела теплоти для ТНУ та температуру теплоносія на виході з конденсатора.

Потреби харчових підприємств в теплоті покриваються за рахунок парових котельень. Теплота, що виробляється тепловими насосами, може бути використана для опалення та гарячого водопостачання, а також для технологічних потреб. Проведено дослідження ефективності застосування ТНУ з потужністю конденсатора 1 МВт на різних джерелах низькотемпературної теплоти за умови заміщення частини потужності парової котельні.

На рис. 3 показані графіки залежностей економії умовного палива (у відсотках) у разі використання ТНУ потужністю 1 МВт з електроприводом на різних джерелах низькотемпературної теплоти за умови заміщення частини потужності парової котельні. Враховувалась витрата умовного палива в котлах та під час виробництва електроенергії на електростанціях.

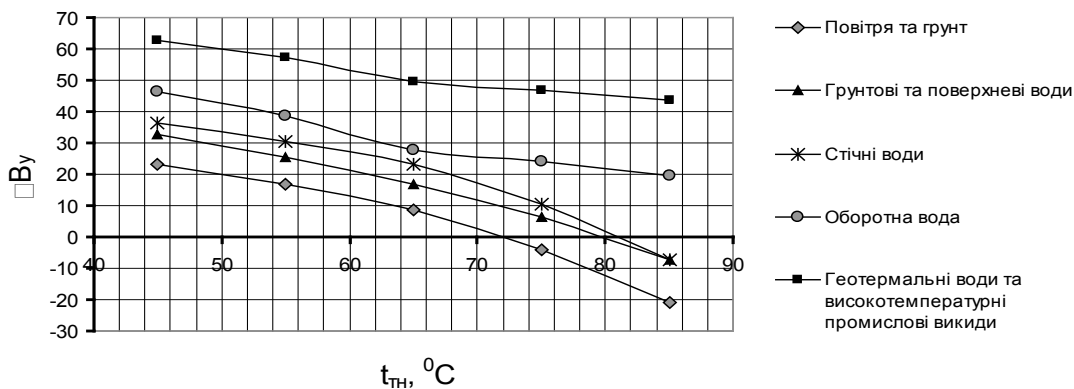


Рис. 3. Залежності економії умовного палива (у відсотках) у разі використання ТНУ на різних джерелах низькотемпературної теплоти від температури води на виході з конденсатора

Як впливає з рис. 3, спостерігається економія умовного палива для ТНУ з використанням теплоти оборотної води (19,49...46,32 %), геотермальних вод та високотемпературних промислових викидів (43,83...62,55 %) для всіх зазначених режимів роботи. За умови використання теплоти повітря та ґрунту в ТНУ для значень температури теплоносія на виході з конденсатора 45...71 $^\circ\text{C}$ забезпечується економія палива до 23,32 %, збільшення цієї температури понад 72 $^\circ\text{C}$ зумовлює перевитрату умовного палива. У разі використання в ТНУ теплоти ґрунтових та поверхневих вод

спостерігається економія умовного палива до 32,9 % для значень температури теплоносія після конденсатора 45...79 °С. Економія умовного палива ТНУ під час використання теплоти стічної води становить до 36,44 % та досягається з температурою води на виході з конденсатора 45...80 °С. На рис. 3 для всіх джерел низькотемпературної теплоти для ТНУ спостерігається зменшення економії умовного палива зі збільшенням температури води на виході з конденсатора. Такий характер залежностей пояснюється збільшенням витрати електроенергії на привод компресора ТНУ зі значним збільшенням температури води після конденсатора.

Ефективна інтеграція ТНУ в теплові схеми підприємств харчової промисловості обґрунтовується забезпеченням економії умовного палива від впровадження. Економія умовного палива від застосування ТНУ з електроприводом на конкретному підприємстві досягається за умови

$$\varphi > \frac{\eta_{\text{КОТ}}^{\text{H}}}{\eta_{\text{ЕС}} \cdot \eta_{\text{ЕМ}}}, \quad (1)$$

де $\eta_{\text{КОТ}}^{\text{H}}$ — ККД-нетто котельні, $\eta_{\text{ЕС}}$ — ККД електростанцій; $\eta_{\text{ЕМ}}$ — ККД електромереж.

Так, для прийнятих значень $\eta_{\text{КОТ}}^{\text{H}} [0,1] = 0,8$; $\eta_{\text{ЕС}} = 0,36$ та $\eta_{\text{ЕМ}} = 0,92$ ефективне впровадження ТНУ та економія умовного палива забезпечуються зі значеннями коефіцієнта перетворення $\varphi > 2,415$. Це узгоджується з результатами, показаними на рис. 1 та 3.

Запропоновані на рис. 3 залежності дозволяють оцінити очікувану економію умовного палива під час застосування ТНУ, виходячи з наявних на конкретному підприємстві джерел низькотемпературної теплоти та необхідних температурних рівнів споживачів теплоти.

Як вже зазначалось, крім енергетичних переваг, застосування теплових насосів зумовлює зменшення забруднення навколишнього середовища (також і теплового) та скорочення шкідливих викидів в атмосферу.

На рис. 4 показані залежності зменшення викидів CO_2 (у відсотках) у разі використання ТНУ потужністю 1 МВт на різних джерелах низькотемпературної теплоти, порівняно з роботою парової котельні такої ж потужності на природному газі. Враховувались викиди CO_2 під час спалювання газу в котлах та при виробництві електроенергії на електростанціях. Як видно з рис. 4, спостерігається скорочення викидів CO_2 у разі використання ТНУ, де джерелами низькотемпературної теплоти є оборотна вода (на 16,94...40,28 %), геотермальні води та високотемпературні промислові викиди (на 38,1...54,38 %). За умови використання теплоти повітря та ґрунту в ТНУ, з температурою води на виході з конденсатора 45...71 °С забезпечується зменшення викидів CO_2 до 20,27 %, а підвищення цієї температури понад 72 °С зумовлює збільшення викидів.

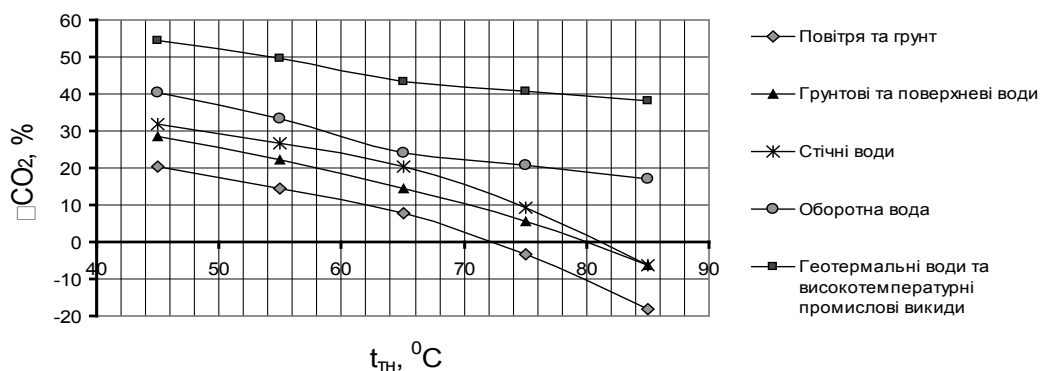


Рис. 4. Зниження викидів CO_2 (у відсотках) у разі використання ТНУ на різних джерелах низькотемпературної теплоти від температури води на виході з конденсатора

Для ТНУ з використанням теплоти ґрунтових та поверхневих вод спостерігається зменшення викидів CO_2 до 28,61 % зі значеннями температури води після конденсатора 45...79 °С. У разі використання теплоти стічної води зменшення викидів (до 31,68 %) досягається зі значеннями температури теплоносія на виході з конденсатора 45...80 °С. Для всіх джерел низькотемпературної теплоти для ТНУ характерне істотне скорочення викидів CO_2 зі зменшенням температури води на виході з конденсатора. Це зумовлено тим, що зі значним збільшенням температури води після конденсатора зростають витрати електроенергії на привод компресора ТНУ та, як наслідок, збільшується кількість викидів CO_2 на електростанціях.

Запропоновані залежності, показані на рис. 3 та 4, дозволяють оцінити економію умовного

палива та зменшення викидів CO₂ у разі використання ТНУ з різними джерелами низькотемпературної теплоти, а також обґрунтувати вибір низькотемпературного джерела теплоти для ТНУ на конкретному підприємстві та визначити раціональні температурні режими роботи ТНУ для різних джерел теплоти. При цьому потужність ТНУ слід вибирати, виходячи з теплових навантажень та конкретних для цього підприємства умов експлуатації.

Висновки

Для підприємств харчової промисловості визначені та обґрунтовані раціональні температурні режими роботи ТНУ з різними джерелами низькотемпературної теплоти. Найефективнішими джерелами низькотемпературної теплоти для ТНУ є геотермальні води, високотемпературні промислові викиди та оборотна вода технічного водопостачання підприємства. Цим джерелам теплоти відповідають найбільші значення економії умовного палива та істотне скорочення викидів CO₂, завдяки застосуванню ТНУ з вищезазначеними джерелами низькотемпературної теплоти. Отримані залежності дозволяють оцінити очікувану економію умовного палива у разі застосування ТНУ, враховуючи наявні на конкретному підприємстві джерела низькотемпературної теплоти та необхідні температурні рівні споживачів теплоти. Рекомендації можуть бути використані для прогнозування умов ефективної інтеграції теплонасосних установок в теплові схеми підприємств харчової промисловості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Долинский А. А. Тепловые насосы в теплоснабжении / А. А. Долинский, Е. Т. Базеев, А. И. Чайка // Промышленная теплотехника. — 2006. — Т. 28, № 2. — С. 99—105.
2. Калнинь И. М. Техника низких температур на службе энергетики / И. М. Калнинь // Холодильное дело. — 1996. — № 1. — С. 26—29.
3. Янговский Е. И. Парокомпрессионные теплонасосные установки / Е. И. Янговский, Ю. В. Пустовалов. — М. : Энергоиздат. — 1982. — 144 с.
4. Соколова И. В. Варианты практического применения тепловых насосов / И. В. Соколова, Л. А. Володина // Холодильная техника. — 1991. — № 11. — С. 11—13.
5. Любчик Г. Н. Факторы, параметры и показатели экобезопасности энергетических объектов / Г. Н. Любчик, Г. Б. Варламов // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2001. — № 3. — С. 53—58.
6. Ткаченко С. Й. Систематизація інформації з розробки, дослідження та впровадження теплонасосних установок / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : зб. наук. пр. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. — № 4. — С. 176—184.
7. Ткаченко С. Й. Узагальнена теплотехнологічна система з теплонапосною установкою / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : зб. наук. пр. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. — № 3. — С. 136—141.
8. Остапенко О. П. Використання перспективних систем теплопостачання з тепловими насосами для утилізації теплоти викидів підприємств України / О. П. Остапенко // Екологія. Людина. Суспільство : IV Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених (14—16 травня 2001 р., Київ) : зб. тез доп. — К. : НТУУ «КПІ», 2001. — С. 152—153.
9. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. — 2009. — 176 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 3.12.09
Рекомендована до друку 18.02.10

Остапенко Ольга Павлівна — старший викладач кафедри теплоенергетики; **Колос Ігор Сергійович** — студент Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет