

УДК 662.987:697.7

А.Є. ДЕНИСОВА, д-р техн. наук; проф. Одеського національного політехнічного університету, м. Одеса

О.М. ТРОЇЦЬКИЙ, аспірант Одеського національного політехнічного університету, м. Одеса

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СКИДНИХ ВОД ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Выполнен анализ возможности использования различных видов сбросных вод как низкопотенциального источника теплоты для теплового насоса. Для теплонасосных циклов рассчитаны коэффициенты преобразования для теплонасосного цикла, работающего на сбросных водах. Проведенные расчеты показали перспективность использования бытовых и промышленных сбросных вод для теплонасосного цикла.

The possibility of using different types of wastewater as a low-potential heat source for heat pump is analyzed. For heat pump cycles conversion coefficients for heat pumps cycle, working on waste waters, are calculated. The calculations have shown the perspectives of domestic and industrial wastewaters in the heat pump cycle.

Великий вплив на екологічну ситуацію в Україні мають системи теплопостачання (опалення та гаряча вода), що використовують 20–23 % від загального споживання природного палива. При цьому лише 5 % відносяться до твердого та рідкого палива, інші 95 % покриває природний газ, який є дорогим паливом, що імпортується.

Крім того, для України характерна висока енергоємність технологічної продукції та генерації теплоти через морально та фізично застаріле обладнання, а деякі технологічні процеси на підприємствах потребують великих об'ємів водопостачання та водовідведення. Відомо, що скидні води, які скидаються в каналізацію, мають температуру, вищу за температуру навколишнього середовища на 15 °С і вище, особливо в холодну пору року, що погіршує екологічний стан довкілля. З іншого боку, підприємства та приватні особи мають великі витрати на опалення та гаряче водопостачання, для забезпечення яких використовується централізована система теплопостачання чи котли малої та середньої потужності. Використання теплонасосних систем теплопостачання, що використовують низькопотенційну енергію скидних вод, дозволить знизити витрати палива на власні потреби та знизити вплив на екологію.

Зазвичай, скидні води розділяють на 3 групи:

- побутові (господарсько-фекальні);
- виробничі (промислові);
- атмосферні.

Побутові стоки характеризуються тим, що їх состав не визначений ніякими нормами та правилами, отже, в них можуть бути виявлені різноманітні речовини, що змінюють характеристики скидних вод, в тому числі густина, в'язкість та питома теплоємність суміші, що є визначними чинниками при виявленні теплофізичних властивостей речовини. При цьому теплофізичні властивості скидних вод можуть коливатись в широких межах протягом доби.

Наприклад, витрати зливових стоків дуже нерівномірні та цілком залежать від природи. Отже спрогнозувати витрати таких стоків не представляється можливим. Крім того, цілком вірогідним є те, що атмосферні осадки можуть бути відсутні протягом тривалого часу – від декількох днів до неділя.

Використання вищезазначених видів стоків в якості теплового джерела для теплового насосу (ТН) є недоцільним. Можливе обмежене використання побутових відходів за умови попередньої їх очистки, але це призводить до подорожчання собівартості теплонасосної установки, що буде використовувати такі стоки.

Щодо виробничих стоків, треба зауважити, що в залежності від виробництва, скидні води поділяють на незабруднені та забруднені. Незабруднені (до них також відносять слабо забруднені) скидні води потрапляють в каналізаційну мережу з теплообмінних, холодильних та компресорних апаратів. Їх состав практично нічим не відрізняється від води на вході в технологічний процес. Після технологічного процесу підвищується тільки температура вод, іноді вона становиться значно вище, ніж на вході в технологічний процес. Визначення теплофізичних параметрів таких вод можна проводити за таблицями теплофізичних властивостей води та водяного пару.

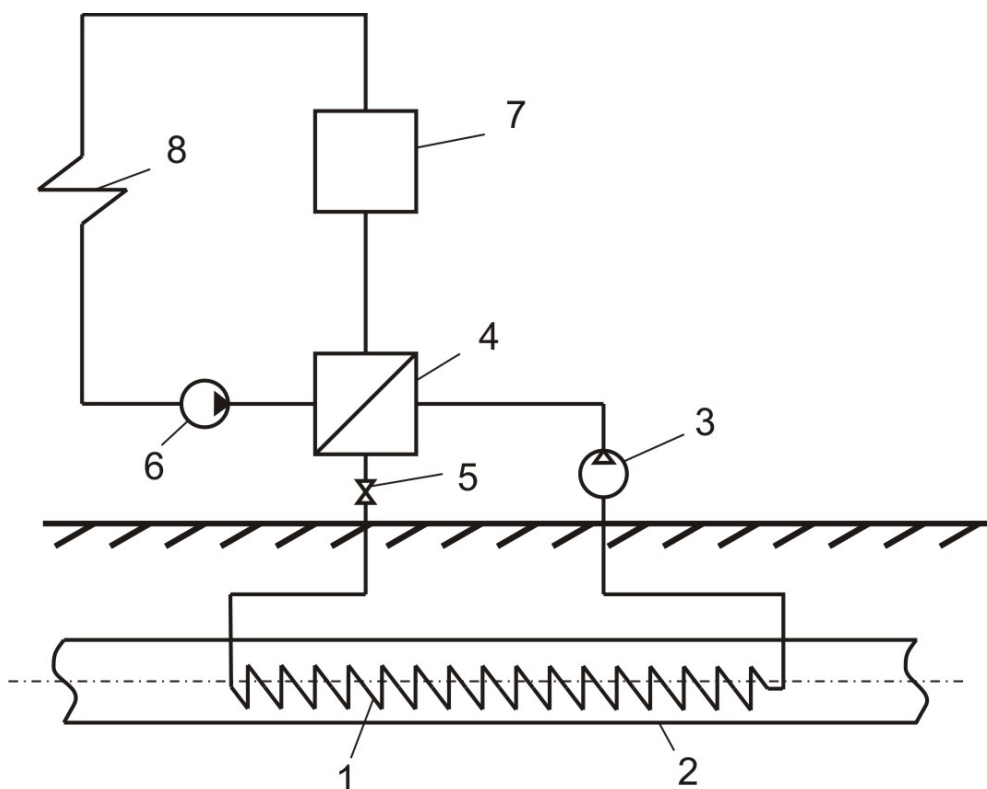
Забруднені скидні води утворюються на різних стадіях різноманітних технологічних процесів та характеризуються наявністю в них тих чи інших технологічних речовин. Тому теплофізичні властивості таких скидних вод дуже відрізняються від води, а їх визначення неможливе без лабораторних досліджень. У випадку, коли скидні води підприємства за своїм составом та концентрацією мало відрізняються від побутових скидних вод, підприємствам дозволяється відводити такі води в каналізацію без попередньої підготовки. На різних підприємствах, навіть тих, що мають однакову технологію виробництва, склад скидних вод дуже різниться. Але вірним також є те, що температура та состав промислових скидних вод залишаються практично незмінними протягом роботи промислового підприємства. Цей фактор робить промислові скидні води ідеальними для використання їх низькопотенційної теплоти в ТН.

ТН перетворює теплоту низького потенціалу у теплоту більш високого потенціалу. При цьому величезною перевагою перед традиційними системами є те, що на 1 кВт використаної енергії на привід компресору виробляється 3–5 кВт корисної теплової енергії. Причина високої ефективності ТН міститься в можливості використання теплоти навколишнього середовища.

Принципова схема ТН представлена на рис. 1. Після випаровування робочого тіла у випарнику 1 (це може бути звичайна труба, металева чи з пластику), встановленому в колекторі 2 мережі каналізації, пар, що утворився, потрапляє в компресор 3, в якому тиск робочого тіла значно підвищується. Далі пар потрапляє до теплообмінника 4. Тут проходить тепловідвід у вторинний контур циркуляції, робочим тілом якого зазвичай є вода, з обов'язковим протіканням процесу конденсації пари первинного робочого тіла. Після цього конденсат первинного робочого тіла через дросель 5 знову підводиться до випарника 1. Вторинний контур циркуляції складається з насоса 6, що забезпечує циркуляцію робочого тіла, резервного генератора теплоти 7 та системи приборів опалення 8, де проходить відвід теплоти від робочого тіла. Резервне джерело енергії 7 потрібно встановлювати для випадків, коли основний генератор теплоти, яким в цій схемі є ТН, не здатний забезпечити необхідну потужність. Це може статися, наприклад, при нерозрахункових параметрах скидних вод.

Для безперебійної довготривалої роботи ТН важливим є правильне визначення температури джерела теплової енергії. Температура виробничої скидної води, що відводиться в каналізацію, не повинна перевищувати 40 °С [1]. Така температура не обов'язково отримується одразу на виході з технологічного процесу, а в ході спеціальних заходів зі зменшення температури до величини, що дозволить зливати її в

каналізацію. Але є й велика кількість технологічних процесів в теплообмінниках, де температура скидних вод знаходиться в вказаних межах.



1 – випарник теплового насосу; 2 – каналізація; 3 – компресор;
4 – конденсатор теплового насосу; 5 – дросель; 6 – насос вторинного контуру циркуляції;
7 – резервне джерело енергії; 8 – прибори опалення

Рис. 1. Принципова схема теплового насосу

Наприклад, циркуляційна вода, що підводиться до конденсатору ТЕС та АЕС, нагрівається до 30–35 °С, та скидається в природні чи штучні водойми. Якщо прийняти, що температура в випарнику ТН повинна бути на 5–15 °С нижче, тоді цикл ТН для робочого тіла аміак представлений на рис. 2. Температура в конденсаторі ТН задана на рівні 90 °С.

Коефіцієнт перетворення COP для цього циклу буде [2]

$$COP' = (h_B - h_C)/(h_B - h_A) = (1810 - 646)/(1810 - 1494) = 3,68,$$

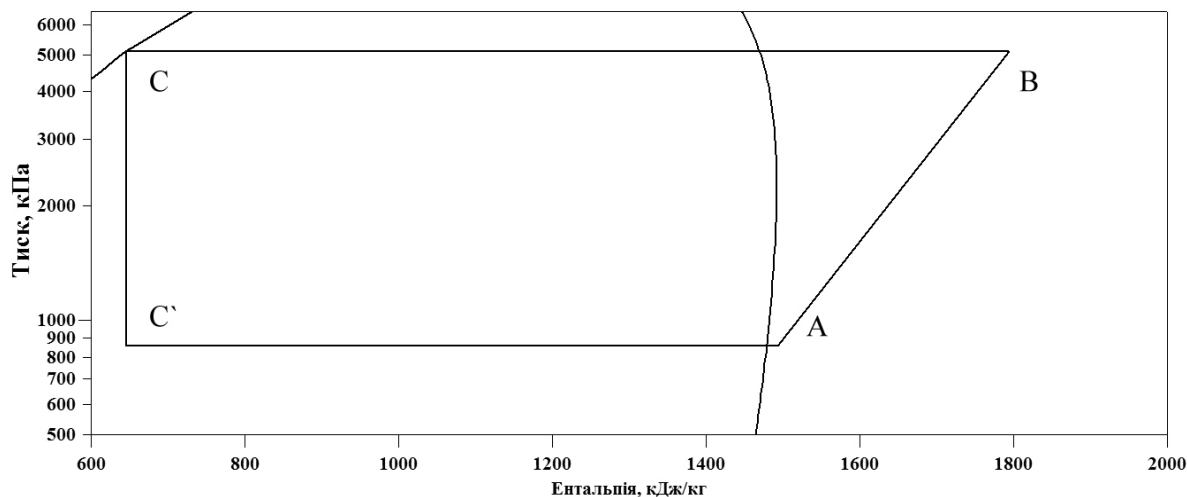
де h_i – ентальпія в i -той точці, кДж/(кг·К).

Цикл був побудований з урахуванням ізоентропійного ККД 0,9. З урахуванням ККД компресору $\eta_k = 0,92$, остаточно

$$COP = COP' \cdot \eta_k = 3,68 \cdot 0,92 = 3,39.$$

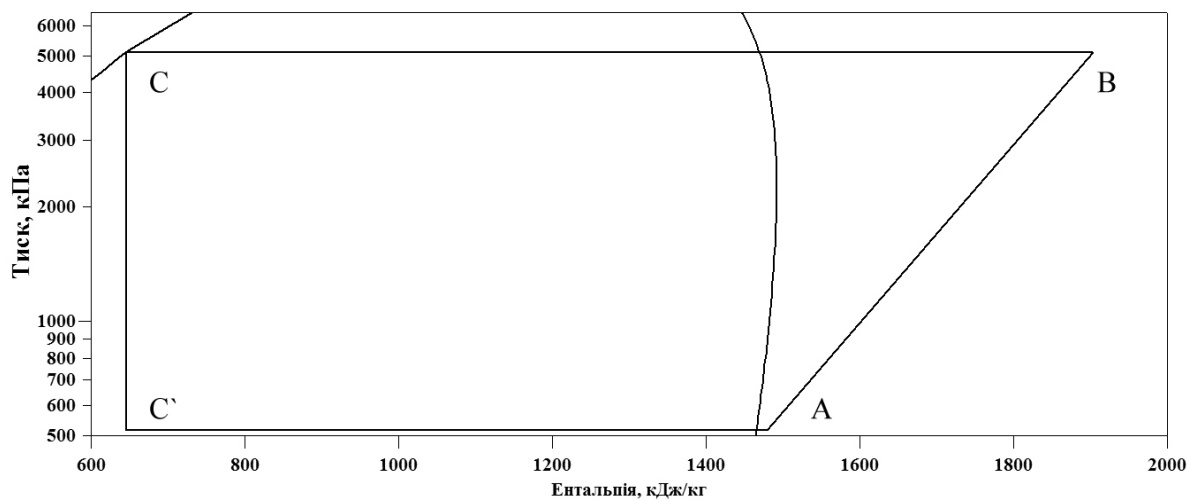
Розглянемо параметри ТН, що використовує в якості джерела низькопотенційної теплоти побутові скидні води. Температура таких вод взимку становить 15–16 °С [3]. З

циклу для ТН з робочим тілом аміак (рис. 3) видно, що температура випаровування аміаку 5 °С при температурі конденсації пари робочого тіла 90 °С. Якщо знизити температуру випаровування до 0 °С або нижче, то з'являється вірогідність того, що на трубах випарника буде утворюватися лід, що призведе до зниження ефективності роботи ТН, можливості аварії та потрапляння в каналізацію парів аміака та навіть прориву каналізаційної труби.



A – початок процесу стискання; *B* – вихід з компресора;
C – точка завершення конденсації робочого тіла

Рис. 2. Цикл ТН на основі теплоти скидних вод ТЕС



A – початок процесу стискання; *B* – вихід з компресора;
C – точка завершення конденсації робочого тіла

Рис. 3. Цикл ТН на основі теплоти побутових скидних вод

Для такого циклу коефіцієнт перетворення становитиме

$$COP = (h_B - h_C) / (h_B - h_A) \cdot \eta_k = (1902 - 646) / (1902 - 1480) \cdot 0,92 = 2,74.$$

В обох циклах видно, що після лінії насичення проходить перегрів пари на додаткові 5 °С. Це зроблене для того, щоб забезпечити повне випаровування аміака та уникнути потрапляння його у конденсатор у вигляді рідини.

Потенціал скидних вод, особливо побутових, близький до потенціалу ґрунту на глибині 5–15 м, про що свідчать роботи [4–6]. Тому можливим представляється організація схеми, де два джерела низькопотенційної енергії (ґрунт та скидні води) забезпечують підігрів вторинного теплоносія до температури, достатньої для опалення та гарячого водопостачання. Це представляється більш актуальним з тої причини, що, як свідчать проведені в [7] дослідження, низькопотенційна ґрунтова енергія не завжди здатна забезпечити необхідну потужність. Про це говорить графік, представлений на рис. 4, де $\phi_{гр}$ – це максимально досяжний коефіцієнт заміщення теплового навантаження традиційних систем опалення за рахунок теплового насосу з використанням низькопотенційної теплоти ґрунту.

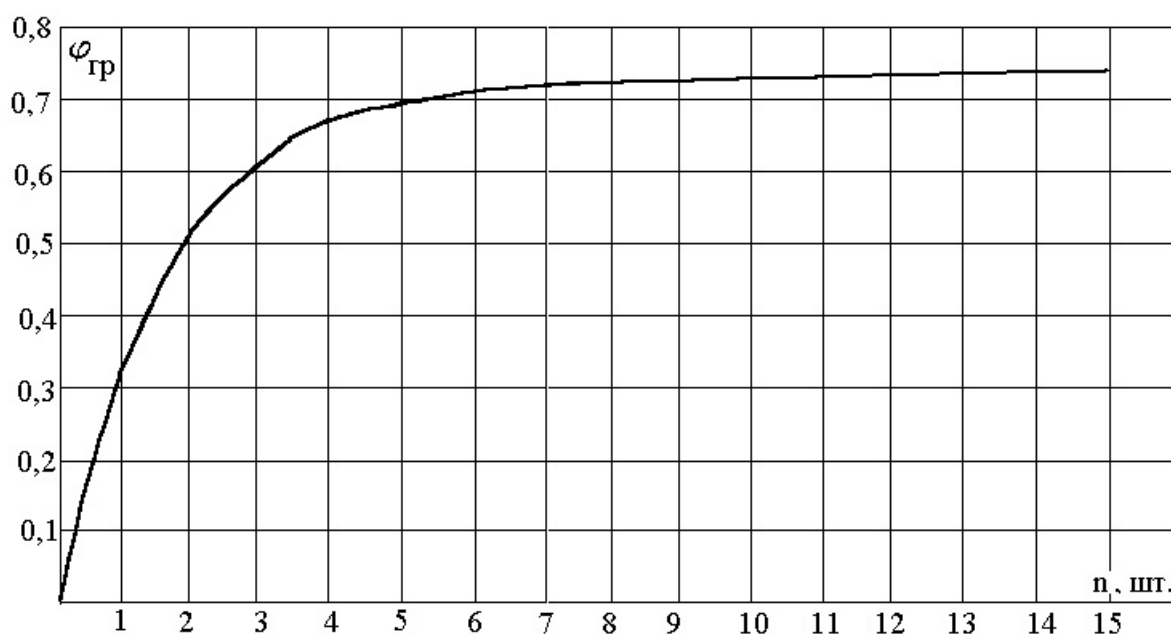


Рис. 4. Залежність частки заміщення від числа трубок ґрунтового теплообмінника

Видно, що граничний коефіцієнт заміщення $\phi_{гр}$ для ґрунту не перевищує 0,75 при кількості трубок 15, а використання більше 6 трубок в ТН представляється недоцільним з техніко-економічних міркувань.

Проведений аналіз потенціалу скидних вод з різноманітних джерел для використання їх в якості джерела низькопотенційної енергії для ТН свідчить, що:

1. Використання зливових вод представляється недоцільним за причини сильної нерівномірності їх випадіння та, відповідно, неможливості прогнозування потужності ТН і нерівномірності його роботи протягом необхідного періоду.

2. Технологічні скидні води, якість яких на вході в каналізацію жорстко обмежена, а температура перевищує температуру навколишнього середовища, можуть бути використані для потреб ТН в якості низькопотенційної теплоти. Такі води мають постійний состав та температуру, що робить їх ідеальними для використання в ТН.

3. Температура та склад побутових скидних вод не регламентовані, але за певних умов мають достатній потенціал для використання в якості джерела низькопотенційної теплоти для ТН.

Якщо розглянути процеси на рис. 2 і 3, можна зробити висновок про те, що цикл ТН, що використовує теплоту технологічних скидних вод ТЕС є більш ефективним: його коефіцієнт перетворення становить 3,39, що в 1,24 рази більше, ніж для другого циклу. Цей фактор обумовлений тим, що температура побутових скидних вод нижче за промислові. Отже, компресору потрібне буде виконати більшу роботу для того, що досягти температури 90 °С в конденсаторі ТН.

Видно, що використання скидних вод дозволить знизити витрати палива та коштів на потреби опалення промислових об'єктів. Крім того, при використанні низькопотенційної теплоти промислових та скидних вод, температура яких може значно перевищувати температуру навколишнього середовища, досягається ефект зниження впливу на екологічний стан навколишнього середовища за рахунок зменшення теплового забруднення скидних вод.

Комбінована система тепlopостачання на базі теплових насосів, що використовують низькопотенційну теплоту ґрунту та скидних вод, може задовольнити потреби споживача в тепловій енергії для опалення та гарячого водopостачання без використання додаткових, резервних систем тепlopостачання з використанням дорогого природного палива.

Список літератури: 1. Водopостачання, водовідведення та якість води / А.К. Запольський. – Київ: Вища школа, 2005. – 671 с. 2. Тепловые насосы / Д. Рей, Д. Макмайкл. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с. 3. Зимин Л.Б. Анализ эффективности теплонасосных систем утилизации теплоты канализационных стоков для теплоснабжения социальных объектов / Л.Б. Зимин, Н.М. Фиалко // Промислова теплотехніка – 2008. – № 1. – С. 77-85. 4. Троїцький О.М. Моделювання теплових процесів в ґрунтовому теплообміннику засобами ПЕОМ // Холодильна техніка і технологія. – 2009. – № 6. – С. 81-84. 5. Троїцький О.М. Математична модель та результати числового моделювання теплових процесів у ґрунтовому теплообміннику теплонасосної системи тепlopостачання / О.М. Троїцький, А.Є. Денисова // Холодильна техніка і технологія. – 2010. – № 1. – С. 67-71. 6. Троїцький О.М. Обчислення теплофізичних параметрів ґрунтового теплообмінника теплонасосної системи тепlopостачання з урахуванням зміння градієнту температур у ґрунті / О.М. Троїцький, А.Є. Денисова // Холодильна техніка і технологія. – 2010. – № 2. – С. 42-46. 7. Денисова А.Е. Особенности работы теплового насоса в комплексной альтернативной системе теплоснабжения // Эко-технологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 2. – С. 6-8.

© Денисова А.Є., Троїцький О.М., 2011
Надійшла до редколегії 28.02.11