

УДК 662.987:697.7

П.О. Котов, спеціаліст,  
А.Є. Денисова, д-р техн. наук, проф.,  
Одес. нац. політехн. ун-т

## ІНТЕГРОВАНА ТЕПЛОНАСОСНА СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ДВИГУНОМ СТИРЛІНГА, ЩО ПРАЦЮЄ НА БІОПАЛИВІ

*П.О.Котов, А.Є.Денисова.* **Інтегрована теплонасосна система теплопостачання з двигуном Стирлінга, що працює на біопаливі.** Розглянуто перспективи та ефективність використання двигуна Стирлінга для інтегрованої теплонасосної системи теплопостачання (ІСТП). Виконано аналіз ефективності використання двигуна Стирлінга як привода для компресора теплового насоса для інтегрованої системи теплопостачання. Розглянуто особливості використання двигуна Стирлінга для ІСТП у фермерських господарствах.

*П.А. Котов., А.Е. Денисова.* **Интегрированная теплонасосная система теплоснабжения с двигателем Стирлинга, работающем на биотопливе.** Рассмотрены перспективы и эффективность использования двигателя Стирлинга для интегрированной теплонасосной системы теплоснабжения (ИСТС). Выполнен анализ эффективности использования двигателя Стирлинга в качестве привода для компрессора теплового насоса для интегрированной системы теплоснабжения. Рассмотрены особенности использования двигателя Стирлинга для ИСТС в фермерских хозяйствах.

*P.A. Kotov, A.E. Denysova.* **Integrated heat pump heat supply system with Stirling engine that runs on biofuel.** The prospects and efficiency of the Stirling engine for integrated heat pump heating system (IHHS) are considered. The analysis of the efficiency of using the Stirling engine as a drive for the heat pump compressor for the integrated heat-supply system is carried out. The application features of the Stirling engine for IHHS on farms are considered.

Аналіз режимів роботи і технічного стану існуючих джерел теплової і електричної енергії свідчить про їх низьку енергетичну ефективність і надійність. Для виведення промислової і комунальної енергетики з кризи необхідно здійснювати подальший пошук нетрадиційних джерел енергії і нових засобів її перетворення. Таким чином, автономне теплопостачання потребує використання нових конструкторських рішень.

Одним із шляхів підвищення ефективності використання первинного палива є впровадження сучасних когенераційних технологій на базі двигуна Стирлінга і теплонасосних установок (ТНУ) [1]. Дані технології дозволяють підвищити ефективність використання палива і одночасно захист навколишнього середовища за рахунок комплексного використання поновлюваних джерел первинної енергії. Перевага таких установок полягає в тому, що теплові насоси дозволяють одержувати значення коефіцієнта перетворення первинної енергії вище одиниці. Для привода компресора ТНУ застосовується електроенергія, на кожен витрачений кВт/год якої виробляється 3...5 кВт/год теплової енергії. Якщо для привода компресора інтегрованої системи використовувати частку енергії від двигуна Стирлінга, який працює на біопаливі і є теплоелектрогенератором, то можна вирішити проблему автономного енергопостачання без використання органічного палива при одночасному вирішенні екологічних проблем. При цьому автономна інтегрована система з різнорідними відновлювальними джерелами енергії стає економічно доцільною для великих агропромислових комплексів та фермерських господарств. Застосування теплових насосів (ТН) дає можливість щорічно скорочувати на 10 % споживання паливних ресурсів за рахунок використання низькопотенційного тепла навколишнього середовища.

Використання двигуна Стирлінга (ДС) для привода компресора теплового насоса

інтегрованої системи теплопостачання (ІСТП) з різними джерелами енергії ґрунтується на взаємній компенсації енергетичних можливостей декількох різнорідних відновлювальних джерел енергії (сонячної та ґрунтової) та енергії біопалива [2]. Компенсація цих можливостей передбачає оптимальну реалізацію режимів роботи з використанням сонячних колекторів 1, ґрунтових теплообмінників (ГТ) 6 на базі ТНУ 4 (рис. 1). В контурі плоского сонячного колектора (СК) 1, що утилізує сонячну енергію, відбувається підігрів робочого тіла, яке подається циркуляційним насосом 9. Сприйнята теплоносієм енергія передається крізь теплообмінник 2 до контура циркуляції бака-акумулятора тепла (АК) 3, де робочою рідиною є вода. Контур циркуляції акумулятора тепла 3 має дві складові частини: контур циркуляції, пов'язаний акумулятором з системою опалення (СО) 5, та контур циркуляції, що пов'язує АК з "сонячним" випарником теплового насоса 4.

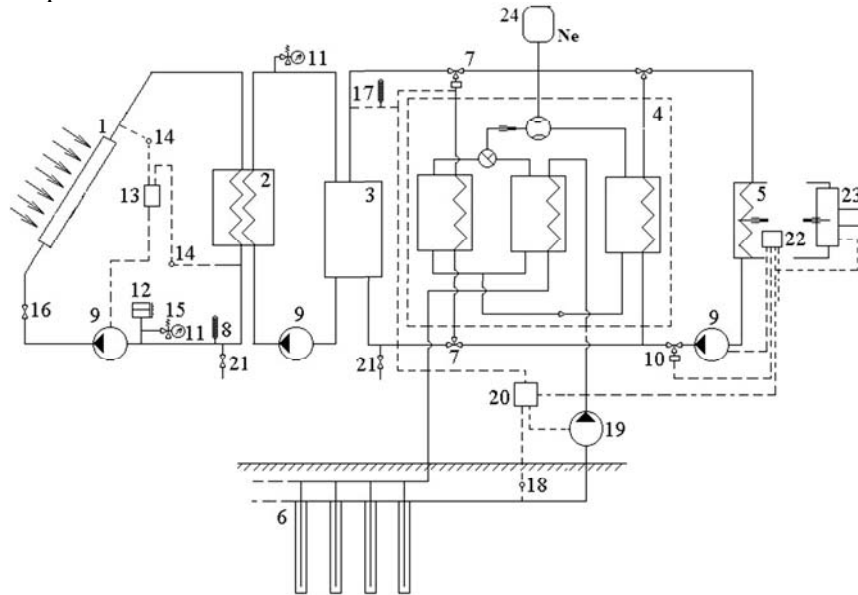


Рис. 1. Схема поліструктурної ІСТП: 1 — СК; 2 — тепловий охолоджувач; 3 — АК; 4 — ТН; 5 — СО; 6 — ГТ; 7 — регулюючий клапан; 8 — термометр; 9 — насос; 10 — клапан для регулювання витрати в контурі споживача; 11 — запобіжний клапан; 12 — рівнемір; 13 — АК контура СК; 14 — датчик температури контура СК; 15 — повітряний клапан; 16 — зворотний клапан; 17 — датчик температури акумулятора контура СК; 18 — датчик температури ґрунтової системи; 19 — насос ґрунтової системи; 20 — система регулювання контура ґрунтової системи; 21 — вхідний клапан; 22 — система контролю температури повітря приміщення; 23 — резервне джерело енергії; 24 — двигун Стирлінга

Поліструктурний режим роботи ІСТП передбачає використання більше двох різнорідних відновлювальних джерел енергії (сонця, ґрунтової енергії та біопалива) з використанням частки енергії ДС, що працює на біопаливі, для привода компресора ТН. Узагальнена діаграма коефіцієнта заміщення  $\phi_{\text{ІСТП}}$  ІСТП показує, що на привід компресора ТН витрачається більше 20 % енергії ІСТП залежно від місяця опалювального періоду, площі сонячних колекторів (Агк) і кількості ґрунтових трубок  $n$  [3].

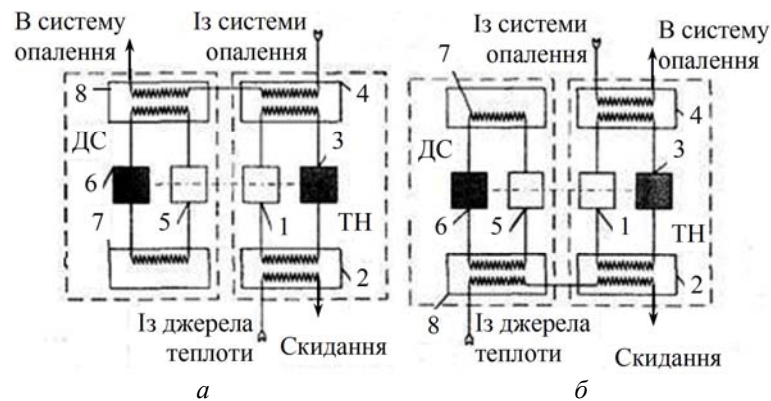
Для обраного поліструктурного режиму роботи ІСТП дуже доцільно використання ДС, працюючого з використанням біопалива фермерського господарства з метою забезпечення виробничих приміщень електроенергією та теплом. Переваги такого привода — можливість використання теплоти, що відводиться в його охолоджувач. У ДС переважна частка теплоти, що відводиться (до 80 %), виділяється в охолоджувачах. Тому з'являється можливість ще більшого зменшення теплової потужності ТН. Одночасно забезпечується приріст ККД приводного двигуна завдяки зниженню температури в його охолоджувачі. Таким чином використання ДС для ІСТП є доцільним, бо приводить до повного заміщення традиційних джерел енергії та дозволяє обійтись без резервування потужності.

ДС має особливі переваги, це двигун зовнішнього згоряння й тому значно відрізняється від традиційних двигунів внутрішнього згоряння, де паливо спалюється усередині установки. Тепло поставляється ДС від зовнішнього джерела, наприклад, біогазу, і це змушує робочу рідину, наприклад, гелій, розширюватися й рухати один із двох поршнів усередину циліндра. Цей поршень називається робочим. Другий поршень, відомий як витискувач [4], переміщає газ у холодну зону, де він знову стискується робочим поршнем. Витискувач переміщає стиснений газ або повітря в гарячу область, і цикл триває. ДС має менше рухомих частин, ніж звичайні двигуни, й не має ніяких клапанів, кулачків, паливних інжекторів або іскрових систем запалювання. Тому він трохи тихіше звичайних двигунів — особливість, що є результатом скоріше безперервного, ніж імпульсного згоряння палива. ДС не створюють складнощів обслуговування, а емісія часток окису азоту мала. Ідеальний термодинамічний цикл ДС має термічний ККД, що дорівнює максимально можливому теоретичному та становить 30...40 % [5]. ККД двигуна залишається майже постійним у широкому діапазоні умов його роботи. Але варто враховувати, що ДС може працювати з високим ККД тільки при наявності ефективного регенератора. Найбільш ефективно двигун працює при постійних значеннях швидкості та потужності.

Економічний розвиток сільськогосподарських районів як у розвинених країнах, так і в країнах, що розвиваються, є одним з переваг використання біомаси. ДС раціонально використовувати на фермерських господарствах, біомаса (без частки, використовуваної іншими секторами економіки) може забезпечити 5,3...8,8 % загальної потреби України в первинній енергії (з урахуванням різних оцінок енергетичного потенціалу біомаси). Технології утилізації біомаси перебувають на початку свого розвитку в країні і мають гарні перспективи комерціалізації у найближчому майбутньому. У стадії розгляду перебуває «Енергетична стратегія України на період до 2030 р. та подальшу перспективу», розроблена групою вітчизняних учених згідно з Указом Президента України. Згідно з варіантом стратегії частка біомаси в паливно-енергетичному секторі складе 3,4 % (2,7 млн т у.п.) в 2010 р., 7,8 % (6,3 млн т у.п.) в 2020 р. і 12,6 % (9,2 млн т у.п.) в 2030 р.

У зв'язку з різким зростанням цін на енергоносії в останні роки питома вага енергоносіїв у вартості виробництва продукції тваринництва підвищилась з 2,7...4 % до 14...20 %, а по окремих видах і вище. Збільшення енергомісткості продукції перевищує рівень західних країн у 2,5...3 рази. Повні витрати енергії на отримання 1 т свинини становлять 34...36, молока — 5,6...6, тис. яєць — 2,6...3 МВт/год [6].

Для фермерських господарств дуже вигідно використовувати ІСТП з тепловим насосом, що працює від привода ДС. Запропанований поліструктурний режим роботи передбачає використання більше двох різнорідних відновлювальних джерел енергії (сонця, ґрунтової енергії та біопалива) з використанням частки енергії від ДС, що працює на біопаливі. Основні переваги такого привода — можливість використання теплоти, що відведена в його охолоджувачі. Тому з'являється можливість ще більшого зменшення теплової потужності ТН. Одночасно забезпечується приріст ККД приводного двигуна завдяки зниженню температури в його охолоджувачі. На схемі показані варіанти побудови ТНУ з приводом від ДС (рис. 2).



*Рис. 2. Варіанти побудови ТНУ з приводом від двигуна Стирлінга при підвищеній (а) і зниженій (б) потужності: 1 — механізм ТН; 2 — нагрівач; 3 — регенератор ТН; 4 — охолоджувач ТН; 5 — механізм ДС; 6 — регенератор; 7 — нагрівач ДС; 8 — охолоджувач ДС*

У більшості випадків географічне розташування фермерських господарств показує, що централізоване теплохолодопостачання економічно неефективне, будівництво централізованих систем веде за собою вливання великих грошових витрат. Тому комплексні системи теплохолодопостачання використовувати набагато ефективніше. Експертні дані показують, що при використанні ДС як привода коефіцієнт перетворення енергії (КПЕ) у ТНУ буде вище, ніж у централізованих системах тепlopостачання з котельнями.

Використання ДС для привода компресора теплонасосної ІСТП є доцільним, бо приводить до повного заміщення традиційних джерел енергії та дозволяє обійтись без резервування потужності. Параметри компресора ТН слід оптимізувати за їх коефіцієнтом перетворення або ефективним ККД.

### Література

1. Рей, Д. Тепловые насосы / Д. Рей, Д. Макмайл. — М.: Энергоиздат, 1982. — 224 с.
2. Денисова, А.Е. Оценка эффективности работы комплексной альтернативной системы теплоснабжения / А.Е. Денисова, А.С. Мазуренко // Тр. Одес. политехн. ун-та, Одесса, 2000. — Вып. 2(11). — С. 95 — 97.
3. Денисова, А.Е. Перспективи використання двигунів зовнішнього згоряння для інтегрованої теплонасосної системи тепlopостачання / А.Е. Денисова, П.О. Котов // Холодильная техника і технологія, 2010. — № 5 (127). — С. 30.
4. Уокер, Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга / Г. Уокер. — М.: Энергия, 1987. — 408 с.
5. Ридер, Г. Двигатели Стирлинга / Г. Ридер, Г. Хупер. — М.: Мир, 1986. — 464 с.
6. Корчемний, М. Енергосбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. — Тернопіль: Підруч. і посіб., 2001. — 984 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-ту Корольов О.В.

Надійшла до редакції 11 січня 2011 р.