

Наука і сучасні технології

УДК 621.592

ЗНИЖЕННЯ ОБСЯГІВ СПОЖИВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

Є.І.Крижанівський, Ф.В.Козак, Л.Ю.Козак

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264
e-mail: lub53@ukr.net

Розглядається питання ефективного використання енергоносіїв для теплопостачання і гарячого водопостачання. Запропоновано використовувати теплові насоси. Розглянуто особливості застосування теплових насосів для опалення.

Рассматривается вопрос эффективного использования энергоресурсов для отопления и горячего водоснабжения. Предложено использовать тепловые насосы. Рассмотрены особенности применения тепловых насосов для теплоснабжения.

At the article effective using of energy for heat-supply and hot water-supply is described. The heat-pumps to use for heating are offered. The features of heat-pumps using for heating are considered.

Рівень розвитку енергетики здійснює визначальний вплив на стан економіки кожної держави та рівень життя людей, відіграє визначальну роль у вирішенні проблем соціальної сфери, тому безспідставно енергетичну незалежність завжди пов'язують з національною безпекою. Саме тому кожна розвинута держава формує відповідну структуру і визначає кількісні показники енергетичних ресурсів. Природно, що ці показники зростають зі збільшенням кількості населення, з підвищенням економічного розвитку та розвитком технічного прогресу. Лише за останні 100 років населення Землі збільшилося майже учетверо, а річне використання енергоресурсів – у 21 раз [1].

Зростання споживання різних видів енергії досягло планетарних масштабів, що загрожує, з одного боку, вичерпанню невідновлюваних джерел енергії, а з іншого – екологічною кризою, прискореною деградацією довкілля і, в свою чергу, існуванню життя на Землі. Найкритичніша ситуація склалася із забезпеченням нафтопродуктами і природним газом, що достатньою мірою освоєні і рентабельні у суспільному виробництві.

Подальший розвиток світової спільноти потребує значної уваги до паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) як кожної окремо взятої країни, так на планетарному рівні. Серед основних засад сучасної світової екологічно і соці-

ально прийнятної, застрахованої від криз енергетичної політики, є принцип економії енергії.

В річному енергетичному балансі України природний газ займає 45%, що майже удвічі більше, ніж в розвинутих країнах (США, Німеччина, Франція та інші). Україна є енергодефіцитною державою: забезпеченість природним газом тут складає лише 25%, а споживання відновлюваних альтернативних джерел енергії в енергобалансі – близько 0,6% [1]. Очевидно, що для України надзвичайно важливим є вирішення питання щодо зменшення залежності від імпортного газу.

За сьогоденніших тенденцій підвищення цін на енергоносії основною метою впровадження сучасних енерготехнологій є зменшення обсягів споживання енергоносіїв без зниження (або зі збільшенням) енергопостачання кінцевим споживачам за рахунок підвищення ефективності їх використання. Це стосується також систем теплопостачання та гарячого водопостачання житлових будівель та виробничих об'єктів, де переважно використовується природний газ. Проблема зниження витрат енергоресурсів на опалення та гаряче водопостачання (ГВП) є надзвичайно актуальною. Її розв'язання є важливим, оскільки на потреби теплопостачання та ГВП лише у житлово-комунальному господарстві (ЖКГ) України витрачається третина енергоресурсів, що становить понад 70 млн. т. у. п.,

або 1,4 т. у. п. у перерахунку на одного мешканця. Це вдвічі більше, ніж у розвинутих країнах Європи.

Наші технологічні схеми виробництва теплоти для ЖКГ є надзвичайно недосконалими: на завершальному етапі енергопостачання отримується енергія низького потенціалу – вода температурою нижче 100°C і повітря температурою 50°C . При цьому для їх приготування спалюється високоякісне паливо з температурою згорання близько 1800°C , або, що ще більш марнотратно – електроенергія.

Виходом з цієї ситуації є технологічні схеми з ефективним використанням високопотенціальної складової теплоти згорання палива, що дають змогу значно підвищити ефективність енергоспоживання [2,3]. До найбільш поширених високоефективних технологічних схем використання первинної енергії відносяться когенерація, паливні комірочки (fuel sells) та теплові насоси [2-9].

Когенерація – комбіноване виробництво теплоти і електроенергії у процесі спалювання палива. Відповідно до термодинамічної термінології цей спосіб забезпечує значне підвищення ексергічного та термічного коефіцієнтів корисної дії. Когенеративне виробництво електроенергії і теплоти для опалення і гарячого водопостачання широко використовується на заході. В Україні здебільшого поширені теплоелектроцентралі (ТЕЦ), і лише останнім часом починають будувати (застосовувати) когенераційні установки на базі газопоршневих двигунів та газотурбінних двигунів – парогазові установки (ПГУ) тощо.

Паливні комірочки – ще один із способів ефективного використання високопотенційної складової теплоти згорання палива [5]. Паливні комірочки відносяться до хімічних джерел струму. Вони здійснюють пряме перетворення енергії палива в електроенергію замість малоєфективних процесів горіння, що відбуваються з великими втратами. Такий електрохімічний пристрій у результаті високоефективного «холодного горіння» палива безпосередньо виробляє електроенергію зі значною кількістю гарячої води.

На даний час технологічні схеми на основі паливних комірок перебувають на стадії науково-технічної розробки і через високу вартість мають обмежене застосування, здебільшого як виробничо-експериментальні установки.

Теплові насоси. Основним призначенням теплових насосів (ТН) є підвищення потенціалу (температури) теплоти за рахунок затрати корисної роботи. Основна їх відмінність від інших джерел тепла полягає у використанні відновлюваної низькотемпературної теплоти навколишнього середовища: близько 80% енергії від загальної ТН фактично «викачує» з навколишнього середовища. При цьому затрати роботи (енергії на роботу пристрою) значно менші за теплоту, яка «викачується» з навколишнього середовища.

ТН — це універсальний пристрій, що поєднує в собі опалювальний котел, джерело гарячого водопостачання і кондиціонер і використовується для нагрівання об'єктів (наприклад, опалювання приміщень).

ТН, як і холодильна установка, працює за оберненим термодинамічним циклом, але з іншими початковою і кінцевою температурами.

Тепловий парокомпресійний насос (рис. 1) складається з компресора 1, випаровувача 4, конденсатора 2 і розширювального (дросельного) вентиля 3. Компресор приводиться в рух електричним двигуном.

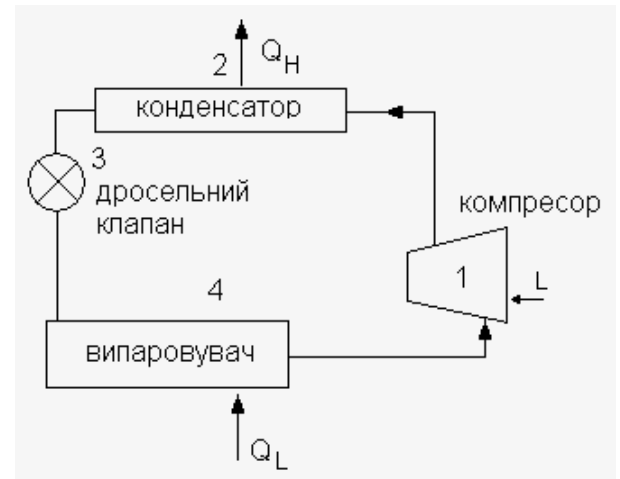


Рисунок 1 – Тепловий насос з механічним приводом

Джерелом теплоти низької температури для ТН слугує навколишнє середовище, наприклад, холодна вода водоєм. Під дією низькотемпературної теплоти води, що омиває випаровувач 4, випаровується холодоагент. Компресор 1 засмоктує пари холодоагенту і стискає їх. Пари, конденсуючись в нагрівальних елементах, віддають їм тепло Q_H . Таким чином, теплові елементи отримують тепло від навколишнього середовища Q_L і енергію корисної роботи L компресора. Відтак рідкий холодоагент розширюється в дросельному вентилі 3 і під низьким тиском входить у випаровувач 4, завершуючи цикл. Теплоту Q_H , що виділяється у циклі, можна використовувати для опалювання приміщень або приготування гарячої води.

Теплота Q_H , що виділяється у циклі ТН, визначається за формулою

$$Q_H = Q_L + L. \quad (1)$$

Відношення корисного (виділеного) тепла до необхідної потужності називається коефіцієнтом трансформації K_T і має значення більше одиниці:

$$K_T = Q_H / L \quad (2)$$

Розглянемо ефективність роботи теплового насоса, який характеризується коефіцієнтом трансформації механічної роботи в теплоту. Вважатимемо, що цикл ТН відповідає циклу Карно.

Для циклу Карно коефіцієнт трансформації залежить тільки від температури T_1 , до якої треба нагрівати об'єкт, і температури навколишнього середовища T_2 :

$$K_T = T_1 / (T_1 - T_2) \quad (3)$$

Залежність коефіцієнта трансформації K_T від зміни температури навколишнього середовища в діапазоні 253-293K (від -20 до $+20$ °C) за постійної температури теплоти, яку одержуємо (323 K або 50 °C), наведена на рис. 2. За цієї залежності коефіцієнт трансформації K змінюється від 5 до 9 у випадку зміни температури навколишнього середовища від -20 до $+20$ °C, а це означає, що у випадку затрати 1 кВт·год механічної роботи можна одержати від 5 до 9 кВт·год низькопотенційної теплоти. Для реального циклу парокомпресійного ТН ці значення є дещо нижчими – 3-6 кВт·год. Вибрана температура нагрівання теплоносія $T_1 = 323$ K (50 °C) є достатньою для нагрівання води і опалювання житлових приміщень.

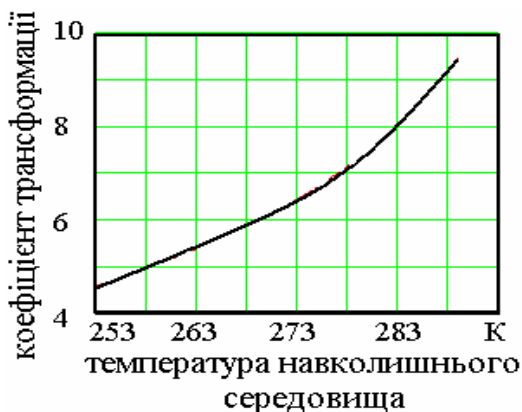


Рисунок 2 – Залежність ефективності теплового насоса від температури навколишнього середовища

Ефективність роботи ТН зменшується зі зниженням температури навколишнього середовища, що є його недоліком. Тому ТН раціонально використовувати для опалювання приміщень за температур вищих -5 °C, а для покриття витрат на опалення за більш низьких температур слід додатково використовувати традиційні джерела енергії.

До очевидних переваг теплового насоса можна віднести економічність та екологічність. Використання ТН дає змогу заощаджувати традиційні енергоносії і захищати навколишнє середовище, у тому числі і шляхом скорочення викидів CO_2 в атмосферу. Теплові насоси, здійснюючи зворотний термодинамічний цикл на низькокиплячій робочій речовині, підвищують потенціал поновлюваної низькопотенційної теплової енергії, отримуваної з навколишнього середовища до рівня, необхідного для теплопостачання, витрачаючи при цьому в 1,5–1,6 рази менше первинної енергії, ніж у випадку прямого спалювання палива.

Використання перших ТН для теплопостачання почалось ще у 20-30-х роках минулого

століття. Сьогодні ТН широко застосовуються у всьому світі. Кількість теплових насосів, що працюють в США, Японії і Європі, налічує десятки мільйонів штук. У США дослідженнями і виробництвом теплових насосів займаються понад шістьдесят фірм [5]. У Японії щорічний випуск ТН перевищує 500 тисяч одиниць. У Німеччині щорічно вводиться в експлуатацію понад 5 тисяч установок [6]. У Швеції і країнах Скандинавії експлуатуються, в основному, крупні ТН. У Швеції вже до 2000 року експлуатувалося понад 110 тисяч теплонасосних станцій, 100 з яких потужністю близько 100 МВт і вище. Найпотужніша ТН потужністю 320 МВт була побудована у 1986 році для теплопостачання Стокгольма. Джерело низькопотенційної теплоти – морська вода, що охолоджується до 2 °C [8].

Популярність теплових насосів в Західній Європі, США і країнах Південно-Східної Азії багато в чому обумовлена м'якими кліматичними умовами в цих регіонах (з плюсовою середньою температурою взимку), високими цінами на паливо та наявністю цільових державних програм з підтримки цього напрямку.

Ситуація з ТН в нашій країні принципово відрізняється, на що існують певні причини. По-перше, особливості українського клімату (з мінусовою середньою температурою взимку) обумовлюють особливі вимоги до параметрів теплових насосів і умов їх встановлення. Зокрема, у випадку зростання потужності теплового насоса постає проблема теплотізнання, оскільки тепловіддача середовищ (водоймище, ґрунт, повітря) обмежена і достатньо мала. Крім того, в Україні нижчі порівняно з Європою ціни на газ, і тому про відчутні економічні вигоди від використання такого роду устаткування не йдеться, особливо за відсутності культури споживання і економії електроенергії. У нас не існує державної підтримки програми енергозаощаджування, нема і вітчизняних виробників ТН.

Для прикладу, використання ТН замість газових котлів для теплопостачання за сьогоднішніх тарифів на природний газ для населення є безперспективним. Так, у разі використання ТН замість газового котла для теплопостачання середнього розміру котеджу (приблизно кількість споживання природного газу 4000 м³ на рік) термін повернення коштів становитиме 58 років. Це пов'язано з тим, що тепловий насос у десять разів дорожчий за двоконтурний котел, який працює на природному газі. Наведемо наші розрахунки.

1. Визначимо вартість газу, що витрачається для опалення котеджу. Вартість 1 м³ газу для населення становить 0.732 коп. за споживання понад 2500 м³ протягом року. Тоді ціна 4000 м³ газу становитиме

$$C_G = 0.732 \times 4000 = 2928 \text{ грн.}$$

2. Визначимо вартість електроенергії, що витратиться на роботу ТН протягом року для виробництва теплоти, еквівалентної теплоті, що виділиться під час спалювання 4000 м³

газу у газовому котлі з коефіцієнтом корисної дії (к.к.д.) – 0.9. Теплотворна здатність природного газу – 34 МДж/ м³.

Кількість теплоти становитиме

$$Q = 4000 \times 34 \times 0.9 = 122400 \text{ МДж, або} \\ 122400 : 3.6 = 34000 \text{ кВт год}$$

Прийmemo, що середній коефіцієнт трансформації – 4, отже витрати електроенергії, спожитої ТН, становитимуть

$$34000 : 4 = 8500 \text{ кВт год,}$$

а її вартість –

$$8500 \times 0.162 = 1377 \text{ грн.,}$$

де 0.162 грн. за кВт год – вартість електроенергії для будинків, обладнаних кухонними електроплитами, електроопалювальними установками за двозонними тарифами, диференційованими за періодами часу (постанова НКРЕ від 10.03.99р. №309).

Протягом року економія коштів у випадку використання ТН порівняно з газовим котлом становитиме

$$2928 - 1377 = 1551 \text{ грн.}$$

Вартість двоконтурного газового котла становить близько 10 тис. грн. Вартість аналогічного за потужністю ТН щонайменше у десять разів вища – 100 тис. грн. (Наприклад, ТН - Fighter-1140-17 [9] коштує 8850 €. Його технічна характеристика: споживання електричної енергії 3,8 кВт; кількість виробленої теплової енергії – 16,8 кВт; коефіцієнт трансформації – 4,6; рекомендований ґрунтовий колектор: горизонтальний 2x350-3x300 м, зонди – 2x110-2x140 м).

Термін повернення коштів у випадку встановлення ТН замість газового котла становитиме

$$(100000 - 10000) : 1551 = 58 \text{ років.}$$

За таких умов використання ТН є проблематичним, а якщо згадати відмінену постанову НКРЕ № 373 про зростання з 1 квітня 2009 року цін на електроенергію до 0.7626 грн. для населення, яке споживає понад 400 кВтгод на місяць, то і збитковим.

По-іншому складається ситуація у разі застосування ТН для тепло- і водопостачання підприємств і бюджетних закладів. За сьогоднішньої, навіть максимальної, ціни на електроенергію для промислових споживачів 0.5846 грн. за кВтгод та вартості природного газу

у 2,542 грн. за м³, використання ТН є вигідним, оскільки 1 кВтгод теплоти одержана у ТН більш ніж у півтора рази дешевша, ніж одержана у власних котельнях (0,195 і 0.318 грн./кВтгод відповідно) і майже утричі дешевша за одержану у котельнях "Теплокомуненерго" (0,572 грн./кВтгод або 667 грн. за 1 Гкал). Для таких підприємств застосування ТН сьогодні є вигідним, проте що буде завтра, після змін тарифів на електроенергію, невідомо.

На сьогодні одним з основних недоліків ТН є висока їх вартість, що обумовлює необхідність значних обсягів інвестування у систему теплопостачання з ТН. Висока вартість ТН обумовлена поодинокістю їх використання у нас і відсутністю власного виробництва, тому з часом цей недолік, за умови більш широкого їх використання, знівелюється.

Попри високу ціну ТН за експлуатаційними затратами мають переваги перед будь-якими іншими системами теплопостачання, оскільки споживають значно менше електроенергії. Переваги ТН очевидні порівняно зі звичними електричним та променевим опаленням, електрокалориферами і електротеплоаккумуляційними кабельними системами, які, споживаючи 1 кВтгод електроенергії, виділяють не більше 1 кВтгод теплоти, у той час як ТН дають 3-4 кВтгод.

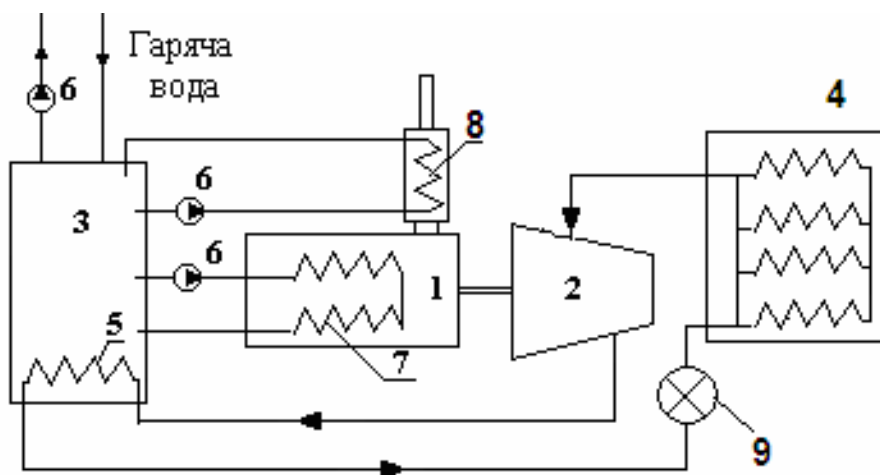
ТН відносяться до екологічно чистих методів опалювання та кондиціонування, тому не наносять шкоди ні навколишньому середовищу, ні здоров'ю людей, що перебувають у опалюваному приміщенні. ТН є безпечними, оскільки в них відсутні відкрите полум'я, вихлоп, сажа, пожежонебезпечні сховища для вугілля, дров, мазуту або солярки, неможливе витікання останніх.

До переваг ТН відноситься: їх надійність (мінімальна кількість рухомих частин з високим ресурсом роботи), незалежність від постачання енергоносіїв і їх якості, ТН практично не потребує обслуговування. Термін служби ТН складає 15-25 років. ТН працює безшумно (не голосніше за холодильник), а автоматика та кліматичний контроль створюють комфорт і затишок в приміщеннях. ТН сумісний з будь-якою циркуляційною системою опалювання, а сучасний дизайн уможливиле його встановлення в будь-яких приміщеннях.

Область застосування ТН справді безмежна. Всі вищезгадані переваги цього устаткування дають змогу легко вирішувати питання теплопостачання міського комплексу і об'єктів, розташованих на значній відстані від комунікацій: чи то фермерське господарство, селище чи АЗС на трасі.

Незамінним є ТН для теплопостачання автономних будівель, де джерелами енергії є вітро- і геліоустановки. Кількість електроенергії, одержаної за допомогою вітроустановки чи від сонячних батарей у кілька разів більшуватиметься завдяки спільній експлуатації з ТН, а одночасне застосування сонячних колекторів з ТН дасть змогу забезпечити стабільне тепло-і гаряче водопостачання (ГВП) за температур, нижчих 30 °С.

Екологічно чисті джерела теплопостачання з ТН є перспективними для рекреаційних зон Криму і Карпат. В гірських населених районах Карпат існує проблема з газопостачанням, що обумовлено складним рельєфом місцевості і значною віддаленістю між споживачами, що унеможливило прокладення газопроводів. В той же час наявність великої кількості малих річок і потічків та зон постійної дії вітрів є да-



1 – двигун тепловий; 2 – компресор; 3 - котел водогрійний; 4 – випарювач;
5 – конденсатор; 6 – насос; 7 – охолодження двигуна; 8 – підігрівання води
відхідними газами; 9 – дросельний вентиль

Рисунок 3 – Схема теплового насоса з приводом від газопоршневого двигуна

рмовим екологічно чистим джерелом енергії. Використання таких нетрадиційних джерел для виробництва електроенергії є дещо проблематичним через розпорошеність і недостатню одиничну потужність. Крім того, нерегулярність дії таких джерел енергії створює низку технічних проблем під час перетворення її в електричну енергію. Тому для вирішення проблеми енергопостачання пропонується застосувати ТН, механічна робота для привода компресора яких вироблялась би гідротурбіною або вітровим колесом. Симбіоз цих установок уможливив би вироблення значної кількості низькопотенційної (низькотемпературної) теплової енергії для теплопостачання і забезпечення гарячою водою. Так, наприклад, вітряк потужністю в два-три кВт в парі з тепловим насосом може давати 7-10 кВт теплової енергії, що достатньо для обігрівання невеликого будинку чи квартири. Кінетичну енергію води можна також використати для привода компресора ТН, який буде давати тепло, трансформуючи теплоту тієї ж води. Невелика турбіна потужністю 50 кВт разом із тепловим насосом зможе забезпечити 150-200 кВт теплової енергії, що достатньо для опалювання і гарячого водопостачання 10-15 будинків, великої школи, чи бази відпочинку.

Застосування вітрового, або водяного коліс для привода ТН конструктивно ефективніша, ніж привода з електрогенератором, для якого необхідна стабілізація частот обертання і потужності. Крім того, аналізуючи комунальні платежі можна зауважити, що витрати за електроенергію в разів десять менші за витрати на опалення і гарячу воду. Тому для споживача виробництво дешевої теплової енергії є більш актуальним, ніж виробництво електроенергії.

Загалом використання ТН, для привода яких використовується електроенергія, одержана за рахунок вітро-, гідро-, геліоустановок чи вироблена на атомних електростанціях, має

очевидну перевагу перед тепловими електростанціями, де спалюють паливо. Це пов'язано з тим, що у процесі виробництва електроенергії на теплових електростанціях менше третини енергії, що виділяється під час горіння органічного палива, перетворюється в електроенергію, а решта - викидається у навколишнє середовище. Існують також додаткові втрати, пов'язані з передаванням електроенергії до споживача, тому попри відновлення ТН втраченої теплоти технологічна схема використання електроенергії, отриманої від теплоелектростанцій, є складною. Простіше спалювати паливо безпосередньо у котлах і отримувати ту ж кількість теплоти. Проте, у випадку, коли джерелом енергії для теплопостачання і ГВП є органічне паливо, наприклад, природний газ, то ефективність його використання можна підвищити шляхом застосування технологічної схеми з ТН, що зображена на рис. 3. На схемі зображено дослідний зразок парокompресійного теплового насоса з приводом від двигуна внутрішнього згоряння для утилізації теплоти стічних вод, створеного в Англії [8]. Конструктивна схема такого ТН відрізняється від загальноприйнятої, оскільки для привода компресора 2 використовується газопоршневий двигун 1, в якому спалюється природний газ. Викиди теплоти продуктів згоряння 8 та теплота системи охолодження 7 утилізується водяним котлом 3. Сюди ж подається теплота з навколишнього середовища, яка спочатку поглинається у випарювачі 4. Пари холодоагенту, який при цьому закипає, після стискання у компресорі подаються у конденсатор 5. Тут холодоагент конденсується виділяючи теплоту. Така установка в разі спалювання природного газу у кількості в 1кВтгод теплоти, дає до 1,5...1,6 кВтгод низькопотенційної теплоти.

Більш простими за конструкцією є адсорбційні теплові насоси, що працюють за подібною схемою і при цьому використовують замість

Література

електроенергії високопотенційну теплоту згорання палива. Їх ефективність дещо нижча за компресійні ТН. В таких установках у випадку спалювання природного газу у кількості в 1кВтгод теплоти, можна одержувати до 1,3...1,4 кВтгод низькопотенційної теплоти.

Широке використання відновлюваних альтернативних джерел енергії та більш ефективне їх використання, зокрема за рахунок ТН, може відчутно вплинути на енергетичну безпеку держави, тому для розвитку таких програм необхідна державна підтримка. Адаже енергетична безпека держави – це її спроможність забезпечити ефективне використання власних паливно-енергетичних ресурсів, здійснити оптимальну диверсифікацію джерел і шляхів постачання енергоносіїв для забезпечення життєдіяльності населення та функціонування національної економіки у режимі звичайного та надзвичайного станів, попередити різкі цінові коливання на паливно-енергетичні ресурси.

1 Крижанівський Є.І. Нафтогазова енергетика / Є.І. Крижанівський // Нафтогазова енергетика. – 2006. – №1(1). – С. 5-8.

2 Козак Л.Ю. Ефективне використання високопотенційної складової теплоти згорання палива. Л.Ю.Козак // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 4. – С.32-35.

3 Козак Л.Ю. Когенерація – основа енергозаощадження / Л.Ю.Козак // Нафтогазова енергетика. – 2007. – №1(2). – С. 39-43.

4 Козак Л.Ю. Енергозаощадження в нафтогазовидобувній галузі. – Ів.-Фр.: Факел, 2008. – 145 с.

5 Інтернет джерело. General fuel cells information <http://www.fuelcelltoday.com>

6 Інтернет джерело. Теплові насоси замість російського газу / за матеріалами Євгена Лопушинського. 16.01.2009 / Джерело: Екопортал Львів.

<http://ecoclub.kiev.ua/index.php?go=News&id=538>

7 Інтернет джерело. Heat Pump Centre. <http://www.heatpumpcentre.org/>

8 Янтовский Е.И., Промышленные тепловые насосы / Е.И. Янтовский, Л.А. Левин. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 128 с.

9 Інтернет джерело. Шведські теплові насоси. <http://termo-mecmaster.com.ua>

Стаття постуила в редакційну колегію
21.05.09