



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 86236

(13) C2

(51) МПК (2009)

F03G 6/00

F24J 2/00

F25B 25/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИХ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ

1

(21) а200613124

(22) 12.12.2006

(24) 10.04.2009

(46) 10.04.2009, Бюл.№ 7, 2009 р.

(72) НЕБИЛИЦЯ КАТЕРИНА СЕРГІЇВНА, UA

(73) НЕБИЛИЦЯ КАТЕРИНА СЕРГІЇВНА, UA

(56) WO 2006072808 A1, F03G 6/00 (2006.01),
13.06.2006

WO 8100596 A1, 3 F03G 7/02, 05.03.1981

US 5029444, 5 F01K 25/06, 09.07.1991

RU 2032082 C1, 6 F01K 13/00, F24J 2/14,
27.03.1995DE 10152968 C1, 7 F01K 27/00, F03G 6/00, F24J
2/04, 30.04.2003

RU 2111422 C1, 6 F24J 2/42, 20.05.1998

Свен Уделл. Солнечная энергия и другие альтер-
нативные источники энергии/ Пер.со швед. - М.:
Знание, 1980. - С. 64(57) 1. Спосіб перетворення сонячної енергії в
електричну у паросиловому термодинамічному
циклі, який **відрізняється** тим, що здійснюють
теплову мультиплікацію енергії в процесі: робоче
тіло основного паросилового циклу попередньо
нагрівають за рахунок теплоти від стискування
повітря в допоміжному газовому циклі, з наступ-
ним перегрівом в сонячному колекторі, причому

2

механічну енергію від розширення робочого тіла
основного циклу частково або повністю передають
компресору допоміжного циклу.2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що
основний цикл здійснюють за абсорбційним
паросиловим термодинамічним циклом.3. Спосіб за пп. 1 і 2, який **відрізняється** тим, що в
допоміжному циклі рекупераційно здійснюють на-
грів вхідного потоку повітря довкілля за рахунок
теплоти вихідного потоку стиснутого повітря.4. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що при-
наймні частину стиснутого потоку повітря зріджу-
ють за рахунок проведення двоступеневого дета-
ндерного циклу глибокого охолодження та
сепараційного виділення рідкої фази, накопичують
в криюємності для акумулювання і використовують
безпосередньо як криопродукт або шляхом отри-
мання теплоти з низькопотенціальних джерел,
зокрема з повітря довкілля, переводять в стиснене
повітря, що використовують безпосередньо або
трансформують в інші види високопотенціальної
енергії.5. Спосіб за пп. 3, 4, який **відрізняється** тим, що
безпосередньо або шляхом теплообміну викорис-
товують холод, який отримано внаслідок прове-
дження адіабатного розширення стиснутого повітря.

Винахід відноситься до термодинамічних со-
нячних систем і може бути використаний для по-
будови автономних систем енергозабезпечення,
отримання стиснутого повітря, холоду, криопродук-
ту, проведення кондиціонування та утилізації низь-
копотенціальної теплоти природного та техноген-
ного походження.

За прототип вибрано широко відомий спосіб
перетворення енергії сонячного випромінювання в
електричну енергію через термодинамічний паро-
сильовий цикл [1, 4]. Системи, які функціонують по
зазначеному способу спрощено називають соняч-
ними термодинамічними системами. Незважаючи
на стадійність перетворення сонячної енергії та
наявність вузлів обертання в таких системах, і

вони і на сьогодні складають успішну конкуренцію
сонячним системам прямого перетворення енергії
(фотоелектричним, електротермічним, термоелек-
трохімічним і т.п.) в силу більшого загального ККД,
меншої собівартості вироблення енергії, суттєво
більшій установленій потужності та більш ефекти-
вними засобами проведення акумулювання енер-
гії.

Водночас існуючі сонячні термодинамічні сис-
теми мають недоліки, які пов'язані з низькою щіль-
ністю сонячної енергії та нерівномірністю її надхо-
дження, що суттєво впливає на експлуатаційну
ефективність енергосистем. Так, в порівнянні до
аналогічних експлуатаційних показників систем

(13) C2

(11) 86236

(19) UA

традиційної паливної енергетики сонячні термодинамічні системи характеризуються:

- більш високою собівартістю вироблення енергії;
- сезонною та добовою нестабільністю вироблення енергії, а також розбіжністю в часі між виробленням та потребами у її споживанні;
- значно вищою питомою металоємністю та потребують значної площі під геліостати.

Вказані недоліки зумовили закриття єдиної в Україні Керченської СЕС-5, унеможливили створення сонячних систем малої та середньої потужності, незважаючи на суттєвий потенціал сонячного випромінювання в Україні $1,5...2 \text{ МВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ в рік.

Спільною ознакою прототипу та заявленого способу є проведення перетворення сонячної енергії в електричну через термодинамічний паросиловий цикл.

В основу запропонованого винаходу поставлено задачу підвищити експлуатаційну ефективність сонячних термодинамічних систем шляхом проведення теплової мультиплікації енергії, що дозволить залучити в процес додаткову енергію з джерел низькопотенційної теплоти, отримати стиснене повітря, досягти інтегрованості та енергоємності засобів акумулювання енергії, розширити функціональність енергосистеми внаслідок багатонаправленого використання супутнього ефекту охолодження, який пов'язаний з адіабатним розширенням газу та нагрівом кріомаси.

Поставлена задача вирішується за рахунок проведення допоміжного газового циклу, який забезпечує отримання стисненого повітря та попередній нагрів робочого тіла основного паросилового циклу. Попередній нагрів дозволяє проводити перетворення сонячного випромінювання в енергію стисненої пари на вищому температурному рівні, чим забезпечує підвищення енергетичної ефективності енергосистеми. Отримання стиснутого повітря дозволяє проводити акумулювання енергії шляхом накопичення його в ресивері чи шляхом глибокого охолодження зріджувати та накопичувати в кріоемності. Розширення стисненого повітря в адіабатному процесі спричиняє зниження його температури, що використовується для вирішення задачі розширення функціональності енергосистеми - отримання зрідженого повітря, холоду та здійснення процесу кондиціонування.

У запропонованому винаході в якості термодинамічного циклу може бути використаний довільний паросиловий цикл, зокрема, цикл Ренкіна, який добре вивчений і широко використовується в енергосилових установках. Найбільш доцільним в енергетичному плані є використання паросилових циклів з перегрівом пари [2, 281] та абсорбційних силових циклів, зокрема, циклу Каліни [3]. Недоліком вказаних циклів є недостатньо високий ККД, який навіть для абсорбційних паросилових циклів не перевищує 40...50%.

Основною відмінністю від зазначених термодинамічних циклів є отримання стиснутого повітря шляхом використання повітряного компресорного циклу, проведення передачі теплоти політропного стискування повітря до основного паросилового

циклу та проведення обміну тиском між робочими тілами основного і допоміжного циклів.

В запропонованому винаході для отримання кріомаси можуть бути використані відомі цикли глибокого охолодження, але серед них відрізняється ефективністю цикл двохступінчатого детандерного охолодження з виділенням рідкої фази [4, 105]. Відмінність полягає у функціональній направленості процесу, оскільки в запропонованому способі накопичення зрідженого повітря в основному орієнтоване на здійснення акумуляції, та досягнення максимальної узгодженості з основним процесом перетворення енергії сонячного випромінювання.

Особливості здійснення запропонованого способу «теплової мультиплікації енергії сонячних термодинамічних систем» комплексно представлено структурною схемою Фіг.1, на якій показано енергетичні та масові потоки між основними і структурними одиницями.

У відповідності до схеми Фіг.1 енергія сонячного випромінювання $E_{\text{вс}}$ направляється на сонячний колектор СК, де перетворюється в енергію стиснутої сухої пари $E_{\text{п}}$. Шляхом обміну тиском між робочими тілами основного паросилового та допоміжного компресорного циклів в силовій установці СУ енергія $E_{\text{п}}$ перетворюється в енергію стиснутого повітря $E_{\text{сп}}$ (варіант на Фіг.1 не показано). Можливим є перетворення енергії $E_{\text{сп}}$ в механічний момент $E_{\text{м}}$, який надає руху компресору К і дозволяє отримати енергію стиснутого повітря $E_{\text{сп}}$ (див. Фіг.1). В останньому випадку частина енергії $E_{\text{м}}$ силовій установки може бути перетворена в електричну енергію, що зумовить часткове зменшення потужності, тому не приймається за основний варіант. Важливим є передача теплоти $q_{\text{п}}$ політропного стиснення повітря в компресорі К, яка дозволяє здійснювати попередній нагрів робочого тіла основного паросилового циклу, що суттєво підвищує енергетичну ефективність системи в цілому. Теплота $q_{\text{п}}$ складається з теплової енергії, яка екстрагується з атмосфери довкілля $q_{1\text{срд}}$, та частини енергії деформації, від механічної роботи над робочим тілом компресора.

Стиснуте повітря проходить пневморесивер ПВ, який не призначений для акумулювання енергії, а запобігає виникненню пульсацій потоку на перехідних режимах установки.

За допомогою розподільника Р можливо визначати як окремі режими роботи, так і їх сукупність. Окремими режимами роботи є:

- вивід стиснутого повітря;
- передача стиснутого повітря на модуль зрідження повітря МЗ з метою акумулювання кріомаси $m_{\text{км}}$ в кріососуді $A_{\text{кр}}$;
- перетворення енергії стиснутого повітря шляхом розширення його в детандері та отримання електричної енергії $E_{\text{ел}}$ за допомогою електричного перетворювача ЕП.

Перевагою запропонованого способу є забезпечення оптимального інтегрування в енергосистему модуля кріогенного акумулювання енергії. Перетворення стиснутого повітря в кріомасу шляхом двохступінчатого детандерного охолодження з виділенням рідкої фази (заряд) та наступного

отримання стиснутого повітря (розряд) проходить з високим термічним ККД, оскільки в процесі заряду в результаті проведення ізотермічного потискування основного потоку відводиться менша теплота в порівнянні з $q_{2\text{срд}}$, яка екстрагується з джерела низькопотенційної теплоти випаровником В, що зумовлює компенсацію втрат зумовлених незворотністю процесів кріогенного циклу. Робота розширення в детандерах високого та низького температурних рівнів йде на покриття втрат компресора підтискування частини потоку зарядки акумулятора $A_{\text{кр}}$.

Іншою перевагою є безвтратне отримання холоду, оскільки його напрацювання є супутнім ефектом роботи енергосистеми на всіх режимах роботи. Так, у випадку роботи детандера Д внаслідок розширення потоку стисненого повітря в умовах близьких до адіабатних, останній охолоджується внаслідок перетворення більшої частини внутрішньої енергії в механічну роботу, яка виводиться з системи. Охолоджений потік має температуру 120...150K, що дозволяє проводити довільний холодильний процес шляхом безпосереднього використання, теплообміном чи змішуванням з теплим потоком повітря для здійснення кондиціонування, при цьому від об'єкта охолодження буде забезпечено відведення теплоти $q_{3\text{срд}}$. У випадку роботи установки на режимі розрядки акумулятора $A_{\text{кр}}$ з об'єкта охолодження буде вилучено теплоту $q_{2\text{срд}}$ такими ж методами як і для попереднього режиму.

З термодинамічної точки зору спосіб «теплової мультиплікації енергії сонячних термодинамічних систем» полягає в підвищенні якості енергії низькопотенційної теплоти за рахунок більш впорядкованої енергії сонячного випромінювання, яка представляє собою енергію високого потенціалу. Такий процес досягається шляхом переведення низькопотенційної теплоти доквілля на вищий температурний рівень, передачу її в ізотермічних чи політропічних умовах до робочого тіла основного циклу та перетворення її ексергетичної складової у енергію високого потенціалу. З точки зору енерговитрат, переведення теплоти доквілля на вищий температурний рівень в межах 50...100K є вигідним, оскільки зумовлює їх збільшення лише на 20...30%, але дозволяє в більшості компенсувати втрати на повернення в термодинамічний цикл робочого тіла паросилового чи абсорційносилового циклу.

У випадку вилучення теплової енергії з доквілля на рівні 120...150K та враховуючи, що питома теплоємність повітря $c_p = 1,03 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$, а густина повітря $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$, щільність додатково залученої в процес перетворення енергії буде становити $160...180 \text{ кДж/м}^3$. Для порівняння - при об'ємній витраті в $1 \text{ м}^3/\text{с}$, з врахуванням густини теплової енергії повітря приведеної до 1 м^2 , щільність потоку буде становить близько 160 кВт/м^2 , що значно перевищує щільність сонячної енергії в найбільш сприятливих умовах - 1 кВт/м^2 . Практично, враховуючи термічний і адіабатний ККД реальних термодинамічних процесів, слід очікувати збільшення потужності сонячних термодинамічних систем, що працюють за заявленим способом, в 1,5...2 рази

від існуючих при однаковій площі активної поверхні дзеркал.

Щільність енергії крімаси повітря знаходиться з рівня теплоти, яка підводиться для її випаровування. Для двохстадійного нагріву та розширення щільність енергії буде становити 650 кДж/кг , що з врахуванням густини зрідженого повітря 873 кг/м^3 та при використанні кріососуда ємністю лише 1 м^3 автономність роботи установки потужністю 10 кВт складе понад 15 годин, що задовольняє вимогам до засобів малої та середньої альтернативної енергетики.

Побудова сонячних енергосистем, які працюють за способом «теплової мультиплікації енергії» хоч має більш складнішу структурну будову, але добре піддається уніфікації, оскільки процеси на різних етапах перетворення енергії зводяться до розширення чи стискування з однаковим рівнем потужностей, що дозволяє використовувати пневмоагрегати однакового виконання та типу. В якості таких агрегатів доцільно використовувати турбодетандери з аеростатичними опорами, які характеризуються значною питомою потужністю, ресурсом роботи, малою металоемністю та технологічністю виготовлення і виготовлення яких освоєно вітчизняною промисловістю. Слід зазначити, що внаслідок проведення попереднього прогріву робочого тіла основного циклу, вимоги до його температурного приросту в сонячному колекторі знижуються, тому рівень концентрації сонячної енергії може бути незначний і забезпечений навіть циліндрично-параболічними оптичними системами, які характеризуються високою технологічністю і меншою вартістю.

Із вище викладеного слідує, що сумісне перетворення сонячної енергії та енергії низькопотенційної теплоти надає ряд експлуатаційних переваг сонячним системам нового покоління. По-перше, спрощується проведення акумулювання енергії на проміжному етапі перетворення з мінімальними апаратними затратами при використанні пневматичних чи кріогенних акумуляторів, що дозволяє підвищити стабільність вироблення електричної енергії і автономність систем енергопостачання. По-друге, за рахунок отримання додаткової потужності, внаслідок перетворення теплоти повітря доквілля зменшується металоемність та вартість комбінованих систем енергопостачання.

Зазначені експлуатаційні переваги суттєво позначаються на енерговіддачі, собівартості вироблення електричної енергії, рентабельності та термінах окупності, що має позначитися на темпах їхнього впровадження. Особливо перспективним є застосування способу теплової мультиплікації енергії сонячних термодинамічних установок в «малій» енергетиці, орієнтованій на широке застосування у сільській місцевості для вирішення енергетичних потреб фермерських господарств, різноманітних дрібних та кооперативних споживачів, малих підприємств, яка дотепер не мала відповідного розвитку в силу низької техніко-експлуатаційної та економічної ефективності сонячних енергосистем.

Список використаних джерел:

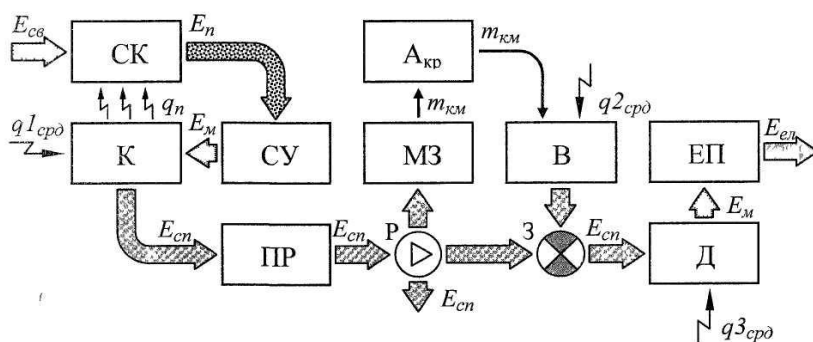
1. Уделл Свен. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии /Пер. со швед.- М.: «Знание», 1980.

2. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: Підруч. для студ. енерг. спец. вищ. навч. закл. - К.: Техніка. 2001. - 315с.

3. Prof. Pall Valdimarsson, Larus Eliasson. Factors influencing the economics of the Kalina

power cycle and situations of superior performance. International Geothermal Conference, Reykjavik, Sept. 2003 Session # 1.

4. Архаров А.М.и др. Техника низких температур / Архаров А.М., Буткевич К.С., Головинцов А.Г. и др.; Под ред. Е.И. Миколина и И.В. Марфениной. - М.-Л.: Энергия, 1964.- 448с.



Фиг.