



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **92229** (13) **C2**  
(51) **МПК (2009)**  
**F01K 25/00**  
**F03G 7/04** (2006.01)  
**F24J 3/08** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

### (54) СПОСІБ І СИСТЕМА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ З ТЕПЛООВОГО ДЖЕРЕЛА

1

(21) а200814334  
(22) 14.05.2007  
(24) 11.10.2010  
(86) РСТ/AU2007/000646, 14.05.2007  
(31) 2006902575  
(32) 15.05.2006  
(33) AU  
(46) 11.10.2010, Бюл.№ 19, 2010 р.  
(72) МОГХТАДЕРІ БЕХДАД, АУ, ДОРООДЧІ ЕЛ-ХАМ, АУ  
(73) НЬЮКАСЛ ІННОВЕЙШН ЛІМІТЕД, АУ  
(56) UA 36067 A, F24J3/08, 16.04.2001  
GB 1398040 A, F01K13/00, 18.06.1975  
US 3875749 A, F01K25/10, 08.04.1975  
US 4357802 A, F03G4/02, 09.11.1982  
US 4393657 A, F01K3/18, 19.07.1983  
(57) 1. Спосіб виробництва енергії з теплового джерела, який включає в себе наступні етапи: стиснення робочого текучого середовища для підвищення його температури; теплообмін між згаданим робочим текучим середовищем і згаданим тепловим джерелом для перегріву згаданого робочого текучого середовища; розширення згаданого перегрітого робочого текучого середовища для приведення в дію турбіни і, тим самим, зниження температури текучого середовища; конденсацію згаданого робочого текучого середовища для подальшого зменшення його температури; і повернення згаданого робочого текучого середовища до згаданого етапу стиснення, причому спосіб додатково включає в себе етап регенерації тепла згаданого робочого текучого середовища, при цьому робоче текуче середовище, що проходить між згаданим етапом стиснення і згаданим етапом теплообміну, обмінюється теплом з робочим текучим середовищем, що проходить між згаданим етапом розширення і згаданим етапом конденсації, причому згадані етапи здійснюються в термодинамічному циклі в надкритичній області над лінією насичення згаданого робочого текучого середовища, а згаданий етап регенерації тепла здійснюється при ізоентальпичних умовах для створення постійного теплообміну.

2

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що температуру на згаданому етапі регенерації тепла контролюють для підтримання згаданих ізоентальпичних умов.  
3. Спосіб за п. 2, який **відрізняється** тим, що етап регенерації тепла включає в себе контроль температури щонайменше одного з робочого текучого середовища, що проходить між етапом стиснення і етапом теплообміну, і робочого текучого середовища, що проходить між етапом розширення і етапом конденсації.  
4. Спосіб за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що температура на згаданому етапі регенерації тепла така, що  $\Delta h/\Delta T \neq 0$ , де  $\Delta h$  являє собою різницю ентальпій робочого текучого середовища, що проходить між етапом стиснення і етапом теплообміну, і робочого текучого середовища, що проходить між етапом розширення і етапом конденсації, а  $\Delta T$  є різницею температур робочих текучих середовищ.  
5. Спосіб за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що включає в себе етап моніторингу температури на згаданому етапі теплообміну.  
6. Спосіб за п. 5, який **відрізняється** тим, що етап регенерації тепла включає в себе контроль тиску щонайменше одного з робочого текучого середовища, що проходить між етапом стиснення і етапом теплообміну, і робочого текучого середовища, що проходить між етапом розширення і етапом стиснення, у відповідь на згаданий етап моніторингу температури, тим самим контролюючи температуру згаданого щонайменше одного робочого текучого середовища.  
7. Спосіб за будь-яким із пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що тиск на згаданому етапі регенерації тепла контролюють для забезпечення згаданих ізоентальпичних умов.  
8. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що етап регенерації тепла включає в себе контроль тиску щонайменше одного робочого текучого середовища, що проходить між етапом стиснення і етапом теплообміну, і робочого текучого середовища, що проходить між етапом розширення і етапом конденсації.

(13) **C2**  
(11) **92229**  
(19) **UA**

9. Спосіб за будь-яким із пп. 6-8, який **відрізняється** тим, що етап регенерації тепла включає в себе контроль тиску робочого текучого середовища, що проходить між етапом стиснення і етапом теплообміну.
10. Спосіб за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що робочий тиск вище, ніж критична точка робочого текучого середовища.
11. Спосіб за п. 10, який **відрізняється** тим, що робочий тиск складає менше 30 МПа.
12. Спосіб за п. 11, який **відрізняється** тим, що робочий тиск складає менше 15 МПа.
13. Спосіб за п. 12, який **відрізняється** тим, що робочий тиск знаходиться між 8 МПа і 12 МПа.
14. Спосіб за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що робоча температура знаходиться між 100 °C і 200 °C.
15. Спосіб за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що критичний тиск робочого текучого середовища знаходиться між 3,3 МПа і 7,5 МПа.
16. Спосіб за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що критична температура робочого текучого середовища знаходиться між 30 °C і 200 °C.
17. Спосіб за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що робоче текуче середовище складається з одного компонента.
18. Спосіб за п. 17, який **відрізняється** тим, що робоче текуче середовище вибране з групи, що складається з двоокису вуглецю, н-пентану ( $C_5H_{12}$ ), HFC-245ca ( $CF_2H-CF_2-CFH_2$ ), HFC-245fa ( $CF_3-CH_2-CF_2H$ ), HFC-134a ( $CH_2F-CF_3$ ), холодоагенту 125 і пентафторетану ( $F_4CH_2F$ ).
19. Спосіб за будь-яким із пп. 1-16, який **відрізняється** тим, що робоче текуче середовище є багатокомпонентним робочим текучим середовищем.
20. Спосіб за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що теплове джерело включає в себе геотермальне теплове джерело або джерело відпрацьованого тепла.
21. Спосіб за п. 20, який **відрізняється** тим, що геотермальне теплове джерело включає в себе колектор сухої нагрітої породи або колектор гарячої води.
22. Спосіб за п. 20, який **відрізняється** тим, що джерело вторинного тепла включає в себе охолоджувальну воду або відпрацьовану пару із звичайної електростанції.
23. Спосіб за п. 22, який **відрізняється** тим, що звичайна енергоустановка включає енергоустановку, що працює на вугіллі, торфі, нафті, газу або іншому спалюваному викопному паливі.
24. Система для виробництва енергії з теплового джерела, яка включає в себе:  
компресор для стиснення робочого текучого середовища, щоб підвищити його температуру;  
перший теплообмінник, виконаний з можливістю з'єднання по текучому середовищу із згаданим компресором і згаданим тепловим джерелом, для теплообміну між згаданим робочим текучим середовищем і згаданим тепловим джерелом для перегріву згаданого робочого текучого середовища;  
турбіну, виконану з можливістю з'єднання по текучому середовищу із згаданим теплообмінником

для розширення згаданого перегрітого робочого текучого середовища, знижуючи за рахунок цього його температуру;

другий теплообмінник для конденсації згаданого робочого текучого середовища, щоб додатково знизити його температуру, при цьому згаданий другий теплообмінник виконаний з можливістю з'єднання по текучому середовищу із згаданою турбіною і згаданим компресором, і регенератор тепла, виконаний з можливістю з'єднання по текучому середовищу між згаданим компресором і згаданим першим теплообмінником для попереднього нагріву згаданого робочого текучого середовища до входу в згаданий перший теплообмінник і виконаний з можливістю з'єднання по текучому середовищу між згаданою турбіною і згаданим другим теплообмінником для охолодження згаданого робочого текучого середовища після виходу із згаданої турбіни, в якій робоче текуче середовище, що проходить між згаданим компресором і згаданим першим теплообмінником, обмінюється теплом із згаданим робочим текучим середовищем, що проходить між згаданою турбіною і згаданим конденсатором, при цьому згадана система працює по термодинамічному циклу в надкритичній області над лінією насичення згаданого робочого текучого середовища, а згаданий регенератор працює при ізентальпічних умовах для створення постійного теплообміну.

25. Система за п. 24, яка **відрізняється** тим, що регенератор тепла включає в себе засіб для контролю температури всередині згаданого регенератора для підтримання згаданих ізентальпічних умов.

26. Система за п. 25, яка **відрізняється** тим, що засіб контролю температури контролює температуру щонайменше одного з робочого текучого середовища, що проходить між компресором і першим теплообмінником, і робочого текучого середовища, що проходить між турбіною і конденсатором.

27. Система за будь-яким із пп. 24-26, яка **відрізняється** тим, що температура в згаданому регенераторі тепла така, що  $\Delta h/\Delta T \neq 0$ , де  $\Delta h$  є різницею ентальпій робочого текучого середовища, що проходить між компресором і першим теплообмінником, і робочого текучого середовища, що проходить між турбіною і конденсатором, а  $\Delta T$  є різницею температур робочих текучих середовищ.

28. Система за будь-яким із пп. 24-27, яка **відрізняється** тим, що включає в себе засіб моніторингу температури всередині згаданого регенератора.

29. Система за п. 28, яка **відрізняється** тим, що засіб моніторингу температури включає в себе одну або дві термопари, розміщені всередині регенератора.

30. Система за п. 28 або п. 29, яка **відрізняється** тим, що регенератор включає в себе засіб контролю тиску щонайменше одного з робочого текучого середовища, що проходить між компресором і першим теплообмінником, і робочого текучого середовища, що проходить між турбіною і конденсатором, у відповідь на згаданий засіб моніторингу температури, контролюючи за рахунок цього тем-

пературу згаданого щонайменше одного робочого текучого середовища.

31. Система за будь-яким із пп. 24-27, яка **відрізняється** тим, що регенератор тепла включає в себе засіб контролю тиску всередині згаданого регенератора тепла для забезпечення згаданих ізоентальпічних умов.

32. Система за п. 31, яка **відрізняється** тим, що засіб контролю тиску контролює тиск щонайменше одного з робочого текучого середовища, що проходить між компресором і першим теплообмінником, і робочого текучого середовища, що проходить між турбіною і конденсатором.

33. Система за будь-яким із пп. 30-32, яка **відрізняється** тим, що засіб контролю тиску контролює тиск робочого текучого середовища, що проходить між компресором і першим теплообмінником.

34. Система за будь-яким із пп. 30-33, яка **відрізняється** тим, що засіб контролю тиску контролює верхній тиск згаданого щонайменше одного робочого текучого середовища, щоб викликати зміну нижньої температури.

35. Система за будь-яким із пп. 30-34, яка **відрізняється** тим, що засіб контролю тиску включає в себе щонайменше один або більше клапанів для контролю тиску згаданого щонайменше одного робочого текучого середовища.

36. Система за п. 35, яка **відрізняється** тим, що клапани є дросельними клапанами.

37. Система за будь-яким із пп. 24-36, яка **відрізняється** тим, що робочий тиск вище, ніж критична точка робочого текучого середовища.

38. Система за п. 37, яка **відрізняється** тим, що робочий тиск складає менше 30 МПа.

39. Система за п. 38, яка **відрізняється** тим, що робочий тиск складає менше 15 МПа.

40. Система за п. 39, яка **відрізняється** тим, що робочий тиск знаходиться між 8 МПа і 12 МПа.

41. Система за будь-яким із пп. 24-40, яка **відрізняється** тим, що робоча температура знаходиться між 100 °C і 200 °C.

42. Система за будь-яким із пп. 24-41, яка **відрізняється** тим, що критичний тиск робочого текучого середовища знаходиться між 3,3 МПа і 7,5 МПа.

43. Система за будь-яким із пп. 24-42, яка **відрізняється** тим, що критична температура робочого текучого середовища знаходиться між 30 °C і 200 °C.

44. Система за будь-яким із пп. 24-43, яка **відрізняється** тим, що робоче текуче середовище складається з одного компонента.

45. Система за п. 44, яка **відрізняється** тим, що робоче текуче середовище вибране з групи, що складається з двоокису вуглецю, н-пентану ( $C_5H_{12}$ ), HFC-245ca ( $CF_3H-CF_2-CF_2H$ ), HFC-245fa ( $CF_3-CH_2-CF_2H$ ), HFC-134a ( $CH_2F-CF_3$ ), холодоагенту 125 і пентафторетану ( $F_4CH_2F$ ).

46. Система за будь-яким з пп. 24-43, в якій робоче текуче середовище є багатокомпонентним робочим текучим середовищем.

47. Система за будь-яким із пп. 24-46, яка **відрізняється** тим, що теплове джерело включає в себе геотермальне теплове джерело або джерело відпрацьованого тепла.

48. Система за п. 47, яка **відрізняється** тим, що геотермальне теплове джерело включає в себе колектор сухої нагрітої породи або колектор гарячої води.

49. Система за п. 47, яка **відрізняється** тим, що джерело вторинного тепла включає в себе охолоджувальну воду або відпрацьовану пару з традиційної електростанції.

50. Система за п. 49, яка **відрізняється** тим, що звичайна енергоустановка включає енергоустановку, що працює на вугіллі, торфі, нафті, газу або іншому спалюваному викопному паливі.

Даний винахід належить до способу і системи для виробництва енергії з теплового джерела і, зокрема, до способу і системи для виробництва енергії з геотермального теплового джерела.

Винахід був спочатку розроблений для використання при виробництві енергії з геотермального теплового джерела і буде описаний далі з посиланням на це застосування. Однак необхідно розуміти, що винахід не обмежений цією конкретною сферою застосування.

Будь-яке обговорення попереднього рівня техніки протягом опису ніяким чином не повинно бути розцінене як допущення того, що подібний попередній рівень широко відомий або становить частину загального знання в цій галузі.

Зростаюче хвилювання відносно споживання викопного палива і скорочення парникових газів привело до досліджень і розробок, направлених на підвищення ефективності виробництва енергії і на відновлювані джерела енергії. Таким відновлюваним джерелом енергії є геотермальна енергія, яку одержують з термальної енергії, яка зберігається глибоко під землею. У той час, як підвищення

ефективності виробництва енергії є загальною задачею для всіх джерел енергії, особливий інтерес це представляє для установок геотермальної енергії.

Виробництво електроенергії з геотермальної енергії в основному має на увазі витягання геотермального текучого середовища з колектора і перетворення термальної енергії, яка зберігається в геотермальному текучому середовищі, в механічну роботу і потім в електрику. Звичайні цикли геотермальної енергії в загальному випадку можуть бути класифіковані на прямі парові цикли без конденсації, прямі парові цикли з конденсацією (одиначний потік або подвійний потік), бінарні цикли і комбіновані цикли. Всі, крім прямих парових циклів з конденсацією, використовують робоче текуче середовище для обміну теплом з геотермальних тепловим джерелом і приведення в дію турбіни для виробництва енергії. Прямі парові цикли з конденсацією обмежені геотермальними колекторами сухої пари, які більш рідкі, ніж інші геотермальні колектори, такі як колектори гарячої води і колектори сухої нагрітої породи.

Однак, ці звичайні парові цикли спочатку були розроблені для широкомасштабного одержання енергії з викопного палива, де доступні джерела підвищених температур для теплообміну. Отже, в цих звичайних силових циклах випаровування і конденсація робочого текучого середовища відбуваються при постійних температурах. У контексті геотермальних джерел результатом цього є великі неузгодженості в температурах між робочим текучим середовищем і геотермальним тепловим джерелом під час процесів підведення тепла або відведення тепла в термодинамічному циклі. Наприклад, в бінарному циклі різниця температур між робочим і геотермальним текучими середовищами в первинному теплообміннику може бути такою високою як від 80°C до 100°C. У термінах термодинаміки, великі різниці температур в процесі теплообміну збільшують ентропію енергетичного циклу, зменшуючи за рахунок цього ефективність, зокрема, ККД другого закону термодинаміки, що належить до ексергії (працездатності) процесу теплообміну, причому енергії, що приводять в результаті до слабого відновлення для виробництва потужності.

Для вирішення цієї задачі в циклі Калини використовують багатокомпонентну зеотропну суміш аміаку і води як робоче текуче середовище, а також додаткове абсорбційне і дистиляційне обладнання для відновлення суміші при низькій температурі в кінці циклу. Багатокомпонентне робоче текуче середовище має змінну температуру фазового переходу під час випаровування так, що випаровування робочого текучого середовища відбувається в цілому спектрі температур. Тому температура суміші може більш близько відповідати температурі геотермального текучого середовища для збільшення кількості термальної енергії, яку відновлюють, і зниження ентропії циклу, поліпшуючи, таким чином, ефективність процесу теплообміну при низькотемпературних застосуваннях, таких як геотермальні теплові джерела, на протилежність виробленню енергії на основі викопного палива.

Недолік циклу Калини полягає в тому, що абсорбційне і дистиляційне обладнання, що додається в цикл, додатково ускладнює систему і значно збільшує вартість промислової установки в порівнянні з іншими типами промислових установок. Крім того, цикл Калини має підвищену чутливість відносно тиску і складу аміачно-водної суміші, що обмежує роботу циклу по цілому ряду температур можливих геотермальних колекторів і фактично встановлює нижню межу мінімальної температури, при якій глибоке джерело геотермальної енергії може бути використане в промисловому масштабі.

Розкриття винаходу

Перший об'єкт даного винаходу стосується способу виробництва енергії з теплового джерела, який включає в себе:

- стиснення робочого текучого середовища для підвищення його температури;
- теплообмін між згаданим робочим текучим середовищем і згаданим тепловим джерелом для

перегріву згаданого робочого текучого середовища;

- розширення згаданого перегрітого робочого текучого середовища для приведення в дію турбіни, і за рахунок цього зниження температури текучого середовища;

- конденсацію згаданого робочого текучого середовища для подальшого зменшення його температури; і

- повернення згаданого робочого текучого середовища до згаданого етапу стиснення,

- спосіб додатково включає в себе етап регенерації тепла згаданого робочого текучого середовища,

- при цьому робоче текуче середовище, що проходить між згаданим етапом стиснення і згаданим етапом теплообміну, обмінюється теплом з робочим текучим середовищем, що проходить між згаданим етапом розширення і згаданим етапом конденсації,

- в якому згадані етапи здійснюють в термодинамічному циклі в надкритичній області над зоною насичення згаданого робочого текучого середовища, причому згаданий етап регенерації тепла здійснюють при ізоентальпичних умовах для створення постійного теплообміну.

Інший об'єкт даного винаходу стосується системи для виробництва енергії з теплового джерела, яка включає в себе:

- компресор для стиснення робочого текучого середовища, щоб підвищити його температуру;

- перший теплообмінник, виконаний з можливістю з'єднання із згаданим компресором і згаданим тепловим джерелом, для теплообміну між згаданим робочим текучим середовищем і згаданим тепловим джерелом для перегріву згаданого робочого текучого середовища;

- турбіну, виконану з можливістю з'єднання із згаданим теплообмінником для розширення згаданого перегрітого робочого текучого середовища, знижуючи за рахунок цього його температуру;

- другий теплообмінник для конденсації згаданого робочого текучого середовища, щоб додатково знизити його температуру, при цьому згаданий другий теплообмінник виконаний з можливістю з'єднання із згаданою турбіною і згаданим компресором, і

- регенератор тепла, виконаний з можливістю з'єднання між згаданим компресором і згаданим першим теплообмінником для попереднього нагріву згаданого робочого текучого середовища до входу в згаданий перший теплообмінник і виконаний з можливістю з'єднання між згаданою турбіною і згаданим другим теплообмінником для охолодження згаданого робочого текучого середовища після виходу із згаданої турбіни, в якому робоче текуче середовище, що проходить між згаданим компресором і згаданим першим теплообмінником, обмінюється теплом із згаданим робочим текучим середовищем, що проходить між згаданою турбіною і згаданим конденсатором,

при цьому згадана система працює по термодинамічному циклу в надкритичній області над зоною/куполем насичення згаданого робочого текучого середовища, а згаданий регенератор пра-

цює при ізоентальпічних умовах для створення постійного теплообміну.

Переважно, температуру на етапі регенерації тепла контролюють для забезпечення згаданих ізоентальпічних умов. Етап регенерації тепла переважно включає в себе контроль температури щонайменше одного робочого текучого середовища, що проходить між етапом стиснення і етапом теплообміну, і робочого текучого середовища, що проходить між етапом розширення і етапом конденсації. Переважно, температура на згаданому етапі регенерації тепла така, що  $\Delta h/\Delta T \neq 0$ , де  $\Delta h$  являє собою різницю ентальпій робочого текучого середовища, що проходить між етапом стиснення і етапом теплообміну, і робочого текучого середовища, що проходить між етапом розширення і етапом конденсації, а  $\Delta T$  є різницею температур робочих текучих середовищ.

Переважно, спосіб додатково включає в себе етап моніторингу температури на згаданому етапі теплообміну. Етап регенерації тепла, переважно, включає в себе контроль тиску щонайменше одного з робочого текучого середовища, що проходить між етапом стиснення і етапом теплообміну, і робочого текучого середовища, що проходить між етапом розширення і етапом стиснення, у відповідь на згаданий етап моніторингу температури, контролюючи за рахунок цього температуру згаданого щонайменше одного робочого текучого середовища.

Переважно, тиск на згаданому етапі регенерації тепла контролюють, щоб забезпечити згадані ізоентальпічні умови. Етап регенерації тепла переважно включає в себе контроль тиску щонайменше одного робочого текучого середовища, що проходить між етапом стиснення і етапом теплообміну, і робочого текучого середовища, що проходить між етапом розширення і етапом конденсації. Переважно, етап регенерації тепла включає в себе контроль тиску робочого текучого середовища, що проходить між етапом стиснення і етапом теплообміну. Переважно, етап регенерації тепла включає в себе контроль верхнього тиску згаданого одного робочого текучого середовища, щоб викликати зміни в нижній температурі.

Переважно, регенератор тепла включає в себе засіб для контролю температури всередині згаданого регенератора тепла для забезпечення згаданих ізоентальпічних умов. Переважно, засіб контролю температури контролює температуру щонайменше одного з робочого текучого середовища, що проходить між компресором і першим теплообмінником, і робочого текучого середовища, що проходить між турбіною і конденсатором. Переважно, температура в згаданому регенераторі тепла така, що  $\Delta h/\Delta T \neq 0$ , де  $\Delta h$  є різницею ентальпій робочого текучого середовища, що проходить між компресором і першим теплообмінником, і робочого текучого середовища, що проходить між турбіною і конденсатором, а  $\Delta T$  є різницею температур робочих текучих середовищ.

Система переважно включає в себе засіб для моніторингу температури всередині згаданого регенератора. Засіб моніторингу температури переважно включає в себе одну або дві термопари,

розміщені всередині регенератора. Регенератор переважно включає в себе засіб для контролю тиску щонайменше одного з робочого текучого середовища, що проходить між компресором і першим теплообмінником, і робочого текучого середовища, що проходить між турбіною і конденсатором, у відповідь на згаданий засіб моніторингу температури, контролюючи за рахунок цього температуру згаданого щонайменше одного робочого текучого середовища.

Система переважно включає в себе засіб контролю тиску всередині згаданого регенератора для забезпечення згаданих ізоентальпічних умов. Засіб контролю тиску переважно контролює тиск щонайменше одного з робочого текучого середовища, що проходить між компресором і першим теплообмінником, і робочого текучого середовища, що проходить між турбіною і конденсатором. Засіб контролю тиску переважно контролює тиск робочого текучого середовища, що проходить між компресором і першим теплообмінником. Засіб контролю тиску переважно контролює верхній тиск згаданого щонайменше одного робочого текучого середовища, щоб викликати зміну нижньої температури. Засіб контролю тиску переважно включає в себе щонайменше один або більше клапанів для контролю тиску згаданого щонайменше одного робочого текучого середовища. Клапани переважно є дросельними клапанами.

Переважно, робочий тиск, використовуваний в способі і в системі, вище, ніж критична точка робочого текучого середовища. Переважно, робочий тиск складає менше 30 МПа. Переважно, щоб робочий тиск складав менше 15 МПа. Переважно, робочий тиск знаходиться між 8 і 12 МПа. Переважно, робоча температура, використовувана в способі і в системі, знаходиться між 100°C і 200°C.

Переважно, робоче текуче середовище має критичний тиск між 3,3 МПа і 7,5 МПа. Переважно, критична температура робочого текучого середовища знаходиться між 30°C і 200°C.

Переважно, щоб робоче текуче середовище складалося з одного компонента. Альтернативно, якщо треба, може бути використана багатокомпонентне робоче текуче середовище.

Переважно, робоче текуче середовище включає в себе двоокис вуглецю, н-пентан ( $C_5H_{12}$ ), HFC-245ca ( $CF_2H-CF_2-CF_2H$ ), HFC-245fa ( $CF_3-CH_2-CF_2H$ ), HFC-134a ( $CH_2F-CF_3$ ), холодоагент 125 і пентафторетан ( $F_4CH_2F$ ).

Теплове джерело переважно включає в себе геотермальне теплове джерело або джерело відпрацьованого тепла. Геотермальне теплове джерело переважно включає в себе колектор сухої нагрітої породи або колектор гарячої води. Альтернативно, джерело вторинного тепла включає в себе охолоджувальну воду або відпрацьовану пару із звичайної енергоустановки, включаючи енергоустановку, на якій спалюють вугілля, торф, нафту, газ або інше викопне паливо.

Короткий опис креслень

Переважні варіанти здійснення винаходу будуть детально описані тільки за допомогою прикладів з посиланнями на прикладені креслення, на яких:

фіг. 1 - фазова діаграма робочого текучого середовища в координатах температура-ентропія;

фіг. 2 - фазова діаграма циклу Ренкіна в координатах температура-ентропія;

фіг. 3 - фазова діаграма в координатах температура-ентропія, яка ілюструє спосіб за першим варіантом здійснення винаходу;

фіг. 4 - схематичне креслення системи за першим варіантом здійснення винаходу;

фіг. 5 - графік зміни ентальпії залежно від температури для чистого робочого текучого середовища;

фіг. 6 - схематичне креслення регенератора для системи згідно з другим варіантом здійснення винаходу;

фіг. 7 - фазова діаграма в координатах температура-ентропія, яка ілюструє спосіб згідно з другим варіантом здійснення винаходу;

фіг. 8 - графік, що ілюструє порівняння ККД термічної конверсії за другим варіантом здійснення винаходу і звичайного енергетичного циклу;

фіг. 9 - графік, що ілюструє порівняння ексергетичної ефективності за другим варіантом здійснення винаходу і звичайного енергетичного циклу;

фіг. 10 - графік, що ілюструє порівняння питомої роботи, одержаної за другим варіантом здійснення винаходу, і звичайного енергетичного циклу.

Здійснення винаходу

На фіг. 1 представлена діаграма станів робочого текучого середовища в області температура (Т) - ентропія (S). На графіку пунктирні лінії Р є ізобарами, які представляють постійне значення тиску. Купол насичення А визначає границю, на якій робоче текуче середовище знаходиться в насиченому стані. Самі звичайні енергетичні цикли, такі як цикл Ренкіна, показаний на фіг. 2, працюють в або біля фази насичення робочого текучого середовища, як визначено куполом насичення А, таким чином, що будь-яка фазовий зміна, пов'язана з циклом, відбувається при постійному тиску і температурі. Це означає, що енергія від теплового джерела втрачається під час фазових змін робочого текучого середовища всередині купола насичення А. Навпаки, варіанти здійснення винаходу дозволяють уникнути цих теплових втрат, працюючи над куполом насичення А.

На фіг. 3 і 4 показаний перший варіант здійснення винаходу. Як найкращим чином показано на фіг. 3, спосіб виробництва енергії з теплового джерела включає в себе етап 10 стиснення робочого текучого середовища для підвищення його температури (стани S4-S1) і етап 11 теплообміну між робочим текучим середовищем і тепловим джерелом для перегріву робочого текучого середовища (стани S1'-S2). На етапі 12 перегріте робоче текуче середовище розширюється, щоб привести в рух турбіну, знижуючи за рахунок цього свою температуру (стани S2-S3). Потім на етапі 13 робоче текуче середовище конденсується для додаткового зниження температури (стани S3'-S4), перед тим як повернутися на етап 10 стиснення. Спосіб додатково включає в себе етап 14 регенерації тепла, в якому робоче текуче середовище, проходячи між етапом 10 стиснення і етапом 11 теплообміну (стани S1-S1'), обмінюється теплом з

робочим текучим середовищем, що проходить між етапом 12 розширення і етапом 13 конденсації (стани S3-S3'). Таким чином, фактично робоче текуче середовище є попередньо нагрітим після етапу 10 стиснення і перед обміном тепла з тепловим джерелом на етапі 11, при цьому робоче текуче середовище є охолодженим після етапу 12 розширення перед етапом 13 конденсації. Ці етапи 10-14 здійснюють в термодинамічному циклі (S1-S1'-S2-S3-S3'-S4) всередині надкритичної області SC над куполом А насичення робочого текучого середовища, а етап 14 регенерації тепла здійснюють при ізоентальпічних умовах для створення постійного теплообміну.

Спосіб, поданий на фіг. 3, може бути здійснений в системі 15 для виробництва енергії з теплового джерела 16, як найкращим чином показано на фіг. 4. Система включає в себе компресор 17 у вигляді нагнітального насоса для стиснення робочого текучого середовища, щоб підвищити його температуру, і перший теплообмінник 18 у вигляді високотемпературного теплообмінника, виконаного з можливістю з'єднання по текучому середовищу з компресором 17 і тепловим джерелом 16 для теплообміну між робочим текучим середовищем і тепловим джерелом 16, щоб перегріти робоче текуче середовище. Турбіна 19 виконана з можливістю з'єднання по текучому середовищу з високотемпературним теплообмінником 18 для розширення перегрітого робочого текучого середовища і зменшення за рахунок цього його температури. Другий теплообмінник 20 у вигляді низькотемпературного теплообмінника виконаний з можливістю з'єднання по текучому середовищу з турбіною 19 і компресором 17 для конденсації робочого текучого середовища, щоб додатково знизити його температуру, використовуючи більш холодне текуче середовище, одержане з відповідного резервуара 21 холодної води. Регенератор 22 тепла виконаний з можливістю з'єднання по текучому середовищу з компресором 17 і першим теплообмінником 18 для попереднього нагріву робочого текучого середовища перед входом у високотемпературний теплообмінник і виконаний з можливістю з'єднання по текучому середовищу між турбіною 19 і низькотемпературним теплообмінником 20 для охолодження робочого текучого середовища після виходу з турбіни 19. Регенератор 22 тепла використовує «гаряче» робоче текуче середовище, що проходить між турбіною 19 і низькотемпературним теплообмінником 20 (потік 24) для попереднього нагріву «холодного» текучого середовища, що проходить між компресором 17 і високотемпературним теплообмінником 18 (потік 23). Система 15 працює по термодинамічному циклу (S1-S1'-S2-S3-S3'-S4) всередині надкритичної області SC над куполом А насичення робочого текучого середовища, а регенератор 22 працює при ізоентальпічних умовах для створення безперервного теплообміну.

Термодинамічний цикл (S1-S1'-S2-S3-S3'-S4) є по суті подібним циклу Ренкіна, хоч він піднятий в надкритичну область SC над куполом А насичення робочого текучого середовища, а стани S1-S1' і S3-S3' знаходяться при ізоентальпічних умовах.

Проводячи весь термодинамічний цикл ( $S1-S1'-S2-S3-S3'-S4$ ) в надкритичній області SC над куполом A насичення, цей повністю надкритичний процес скорочує втрати ефективності, пов'язані з високотемпературним теплообмінником 18 і низькотемпературним теплообмінником 20. Іншими словами, в станах  $S1-S1'-S2$  і  $S3-S3'-S4$  робоче текуче середовище перегріте і сконденсоване при змінних температурах швидше, ніж при постійній температурі, як в звичайних енергетичних циклах. Це мінімізує температурну неузгодженість між геотермальним текучим середовищем і робочим текучим середовищем, і між охолоджувальним текучим середовищем і робочим текучим середовищем. Таким чином, ентропія термодинамічного циклу ( $S1-S1'-S2-S3-S3'-S4$ ) скорочується, а ефективність перетворення енергії зростає.

Додатково, регенератор 22 тепла скорочує таким чином кількість енергії, необхідної для процесу підведення тепла, здійснюваного компресором 17, поліпшуючи за рахунок цього ефективність термодинамічного циклу ( $S1-S1'-S2-S3-S3'-S4$ ) всередині надкритичної області SC над куполом A насичення робочого текучого середовища.

Крім того, оскільки етап 14 регенерації тепла здійснюють при ізоентальпічних умовах, завжди існує градієнт температури, що діє як рушійна сила для безперервного теплообміну між паралельними потоками 23 і 24 робочих текучих середовищ всередині регенератора 22.

Важливість здійснення етапу регенерації при ізоентальпічних умовах краще усього показана на фіг. 5, де показана залежність різниці ентальпій потоків ( $\Delta h$ ) «холодного» і «гарячого» текучих середовищ залежно від температури ( $T$ ) для чистої речовини як робочого текучого середовища, такого як двоокис вуглецю, при надкритичних умовах SC. Результуюча крива показує максимум  $P_m$  при  $\Delta h/\Delta T=0$ , де немає температурного градієнта для запуску процесу теплообміну. Отже, існування точки максимуму  $P_m$  для  $\Delta h$  знижує ефективність термодинамічного циклу, оскільки запобігає постійному теплообміну і таким чином скорочує ефективність перетворення енергії.

І, навпаки, в переважному варіанті здійснення винаходу температуру контролюють таким чином, що ентальпія на етапі регенерації тепла залишається постійною; тобто при ізоентальпічних умовах, а температура така, що  $\Delta h/\Delta T \neq 0$ , забезпечуючи, що градієнт температури існує протягом всього етапу 14 регенерації тепла, результатом чого є продовження процесу теплообміну між потоками 23 і 24 «холодного» і «гарячого» робочих текучих середовищ, що проходять через регенератор 22 тепла.

Крім того, поліпшена ефективність, одержана в способі і системі 15, оптимізована за рахунок роботи при тиску вище критичної точки робочого текучого середовища. Отже, вибираючи відповідний тип робочого текучого середовища, система 15 може працювати в межах бажаного ряду значень тиску, щоб відповідати будь-яким обмеженням по робочій вартості або вимогам безпеки. У цьому контексті, робочий тиск, використовуваний в способі і в системі, переважно менше 15 МПа, на-

віть хоч робочий тиск може бути до 30 МПа. Зокрема, було виявлено, що робочий тиск, що знаходиться між 8 і 12 МПа, дозволяє здійснити широкий вибір придатних робочих текучих середовищ. Робота при цьому переважному робочому тиску дозволяє застосовувати варіанти здійснення винаходу на більшому діапазоні температур, звичайно між  $100^{\circ}\text{C}$  і  $200^{\circ}\text{C}$ .

Приклади високотемпературних теплообмінників включають в себе бойлери і парові генератори. Придатними низькотемпературними теплообмінниками є повітроохолоджувачі і водоохолоджувачі конденсатори.

Передбачається, що цей варіант здійснення винаходу застосовний до більшості теплових джерел і, зокрема, може бути використаний як частина виробництва циклу додаткової електроенергії з використанням відпрацьованого тепла із звичайних електростанцій, що спалюють вугілля, або електростанцій на основі іншого викопного палива, такого як торф, і електростанцій на основі нафти і газу.

Особливо переважний варіант здійснення винаходу для геотермальних теплових джерел показаний на фіг. 6 і 7, де відповідним ознакам надані ті ж цифрові позиції. У цьому варіанті здійснення винаходу враховано, що для геотермальних теплових джерел результатом безпосередньої близькості ліній постійного тиску  $P$  в надкритичній області SC може бути маленький ККД виходу енергії, а максимальні температури циклу є відносно низькими в порівнянні з іншими тепловими джерелами. Зокрема, хоч варіант здійснення винаходу має всі ознаки системи 15, показаної на фіг. 4, регенератор 22 тепла має систему моніторингу температури (не показана). Система моніторингу температури включає в себе множину термодатчиків, розміщених в різних місцях в регенераторі 22, які в робочому порядку з'єднані з блоком центрального процесора (CPU). Регенератор 22 також включає в себе множину дросельних клапанів 26, встановлених на трубопроводі 27 потоку 24 «гарячого» робочого текучого середовища між турбіною 19 і теплообмінником 20, як найкращим чином показано на фіг. 6. Дросельні клапани в робочому порядку з'єднані з блоком центрального процесора (CPU).

Як показано на фіг. 7, термодинамічний цикл згідно з цим способом може бути описаний в термінах переходу між станами робочого текучого середовища таким чином:

Стани  $S1-S1'$ : відновлення тепла при постійній ентальпії в регенераторі 22 тепла;

Стани  $S1'-S2$ : підведення тепла при постійному тиску у високотемпературному теплообміннику 18;

Стани  $S2-S3'$ : розширення в турбіні 19 для виходу роботи;

Стани  $S3'-S3$ : відновлення тепла при постійній ентальпії в регенераторі 22 тепла;

Стани  $S3-S3''$ : відновлення тепла при постійній ентальпії в регенераторі 22 тепла;

Стани  $S3''-S4$ : відведення тепла при постійному тиску в низькотемпературному теплообміннику 20;

Стани S4-S1: підвищення тиску сконденсованого робочого текучого середовища в рідкій формі нагнітальним насосом (компресором) 17.

Робота системи 15 згідно з цим варіантом здійснення винаходу буде описана детально з посиланнями на фіг. 4-6. Робоче текуче середовище у вигляді CO<sub>2</sub> в цьому прикладі входить в нагнітальний насос (компресор) 17 в стані S4 як насичене (або злегка стиснене) текуче середовище і стискується до робочого тиску високотемпературного теплообмінника 18. Температура робочого текучого середовища дещо підвищується під час цього процесу стиснення за рахунок невеликих змін його питомого об'єму.

Робоче текуче середовище CO<sub>2</sub> потім входить в регенератор 22 тепла, який звичайно працює при тому ж тиску, що і високотемпературний теплообмінник 18, як стиснене текуче середовище в стані S1 і виходить як фаза нагрітої пари в стані S1'. Це процес відновлення тепла, для якого необхідну термальну енергію подають за допомогою гарячого робочого текучого середовища CO<sub>2</sub>, що виходить з турбіни в стані S3', небагато вище мінімального тиску циклу, і яку піддають змінам тиску для забезпечення ізоентальпічних умов в регенераторі 22.

Потім пара в стані S1' входить у високотемпературний теплообмінник 18, в якому температура пари додатково зростає, або її перегрівають таким чином, що робоче текуче середовище CO<sub>2</sub> стає перегрітою парою на виході в стані S2. Необхідне тепло для підвищення температури робочого текучого середовища між станами S1' і S2 подають за допомогою гарячого геотермального текучого середовища з придатного геотермального теплового джерела 16.

Перегріта пара в стані S2 потім входить в турбіну 19, де вона розширюється і генерує електрику, обертаючи вал електричного генератора (не показаний). Під час процесу розширення тиск і температура робочого текучого середовища CO<sub>2</sub> падають доти, поки текуче середовище не досягне стану S3'. У цьому стані робоче текуче середовище CO<sub>2</sub> все ще має значну термальну енергію, яка потім використовується шляхом пропускання текучого середовища через регенератор 22 тепла для нагріву «холодного» робочого текучого середовища CO<sub>2</sub>, що входить в регенератор 22 тепла в стані S1. В результаті теплообміну в регенераторі 22 тепла між відносно гарячим і холодним робочими текучими середовищами CO<sub>2</sub>, температура гарячого робочого текучого середовища CO<sub>2</sub> падає до температури стану S3'', а температура холодного робочого текучого середовища CO<sub>2</sub> підвищується до температури стану S1'.

У регенераторі 22 дросельні клапани 26 спочатку повністю відкриті, а потім 24 гарячого CO<sub>2</sub> обмінюється теплом з потоком 23 холодного CO<sub>2</sub>. Коли система моніторингу температури, наприклад, використовуючи одну термопару або більше, встановлює, що температура конкретної області в регенераторі 22 наближається до значення, при якому  $\Delta h/\Delta T=0$ , CPU посилає сигнал до самого ближнього верхнього дросельного клапана, наприклад, клапана 26а. У відповідь, дросельний клапан 26а частково закривається таким чином, що результуюче падіння тиску стискає потік 24 «гарячого» робочого текучого середовища до більш низького тиску, забезпечуючи, таким чином, що регенератор 22 тепла працює при постійній ентальпії (стані S3'-S3 і S3-S3''), так що  $\Delta h/\Delta T \neq 0$ , а процес теплообміну продовжується в регенераторі 22. Це регулювання локалізованого тиску всередині регенератора 22 може бути повторене декілька разів, залежно від робочих умов, доти, поки потік 24 «гарячого» робочого текучого середовища не вийде з регенератора 22 при мінімальному тиску циклу в стані S3''. Під час цього переходу зі стану S3' на вхід в регенератор 22 до стану S3'' на виході з регенератора 22 робоче текуче середовище проходить через стан S3.

Робоче текуче середовище CO<sub>2</sub>, що виходить з гарячої сторони регенератора 22 тепла в стані S3'', потім конденсується при постійному тиску в низькотемпературному теплообміннику 20, відводячи тепло до охолоджувального середовища з резервуара 21 охолоджувального середовища. Сконденсоване робоче текуче середовище CO<sub>2</sub> остаточно виходить з низькотемпературного теплообмінника 20 і входить в нагнітальний насос 17 для завершення циклу.

Хоч цей варіант здійснення винаходу був описаний, будучи, зокрема, застосовним до геотермальних теплових джерел, він може бути також використаний для циклу виробництва додаткової електроенергії з використанням відпрацьованого тепла, в якому тепловим джерелом є робоче текуче середовище основного енергетичного циклу. Наприклад, низькотемпературна пара, що виходить з основного циклу турбіни, в електростанціях, які спалюють вугілля.

Хоч у варіантах здійснення винаходу був використаний двоокис вуглецю, як робоче текуче середовище можуть бути вибрані інші робочі текучі середовища, включаючи, н-пентан (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>), HFC-245ca (CF<sub>3</sub>H-CF<sub>2</sub>-CFH<sub>2</sub>), HFC-245fa (CF<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>H), HFC-134a (CH<sub>2</sub>F-CF<sub>3</sub>), холодоагент 125 і пентафторетан (F<sub>4</sub>CH<sub>2</sub>F). Порівняльні властивості кожного робочого текучого середовища представлені нижче в таблиці 1.



Таблиця 1

Властивості робочих текучих середовищ, придатних для використання у винаході

Робоче текуче середовище	Критичний тиск	Критична температура	Безпека	Міра збитку, що завдається озонному шару
двоокис вуглецю ( $\text{CO}_2$ )	7,38 МПа	30,9°C	незаймиста	$\approx 0$
н-пентан ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )	3,37 МПа	196,6°C	займиста	$\approx 0$
HFC-245ca ( $\text{CF}_3\text{H}-\text{CF}_2-\text{CFH}_2$ )	3,86 МПа	178,5°C	незаймиста	$\approx 0$
HFC-245fa ( $\text{CF}_3-\text{CH}_2-\text{CF}_2\text{H}$ )	3,64 МПа	157,6°C	незаймиста	$\approx 0$
HFC-134a ( $\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}_3$ )	4,1 МПа	101,2°C	незаймиста	$\approx 0$
холодоагент 125 або пентафторетан ( $\text{F}_4\text{CH}_2\text{F}$ )	3,7 МПа	66,8°C	незаймиста	$\approx 0$

Було виявлено, що інші робочі текучі середовища можуть бути використані з критичним тиском, що знаходиться між 3,3 МПа і 7,5 МПа, і критичною температурою між 30°C і 200°C. Крім того, в інших варіантах здійснення винаходу в способі і в системі застосовують багатокомпонентне робоче текуче середовище замість робочого текучого середовища, що складається з одного компонента.

Ефективність термічної конверсії і ексергетична ефективність другого варіанта здійснення винаходу на фіг. 6 і 7 були обчислені як функція різниці температур між геотермальним текучим середовищем при виробництві і відведенні свердловин  $\Delta T_{\text{geo}}$ . Ефективність термічної конверсії і ексергетичну ефективність переважного варіанта здійснення винаходу порівняли з ефективністю термічної конверсії і ексергетичною ефективністю звичайних енергетичних циклів. Робочим текучим середовищем, вибраним для другого варіанта здійснення винаходу, був двоокис вуглецю.

Як найкращим чином показано на фіг. 8, ефективність термічної конверсії другого варіанта здійснення винаходу (позначеного як  $\text{CO}_2\text{-RGSC}$ ) була вищою, ніж ефективність термічної конверсії звичайних енергетичних циклів. Для другого варіанта здійснення винаходу ефективність термічної конверсії знаходиться в межах від 10% до 18%, з середнім значенням, яке дорівнює 16,5%. На відміну від звичайних енергетичних циклів, включаючи цикл Каліни, ефективність термічної конверсії не змінюється і застигає близько номінального значення між 11% і 12%. Подібним чином ексергетична ефективність варіанта здійснення винаходу була вищою, ніж ексергетична ефективність звичайних енергетичних циклів, оскільки  $\Delta T_{\text{geo}}$  зростає, як найкращим чином показано на фіг. 9. Таким чином, фіг. 8 і 9 показують, що ефективність термічної конверсії і ексергетична ефективність варіанта здійснення винаходу значно вище ефектив-

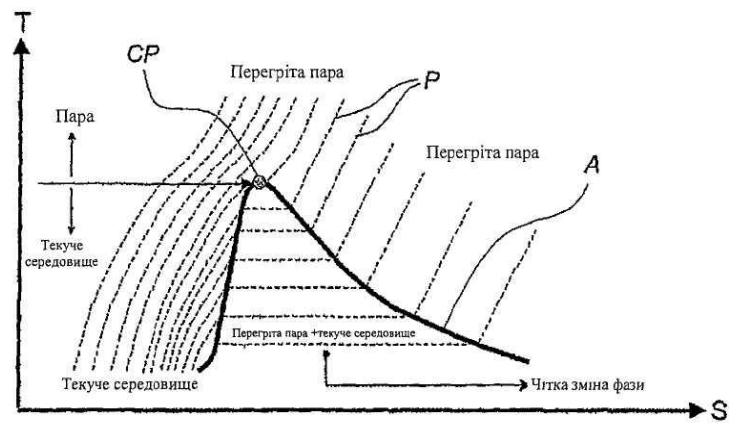
ності термічної конверсії і ексергетичної ефективності звичайних енергетичних циклів.

Ці поліпшені показники ефективності термічної конверсії і ексергетичності обумовлюють, що в цьому варіанті здійснення винаходу може бути вироблено більше енергії на одиницю енергії, що подається, ніж в звичайному енергетичному циклі. Це проілюстровано на фіг. 10, де показаний графік питомої енергії ( $W_{\text{spc}}$ ) відносно  $\Delta T_{\text{geo}}$ . Кількість роботи, витягнутої з геотермального текучого середовища, і, отже, кількість виробленої енергії були значно вищі для варіанта здійснення винаходу, ніж для звичайних енергетичних циклів, особливо оскільки  $\Delta T_{\text{geo}}$  зростає.

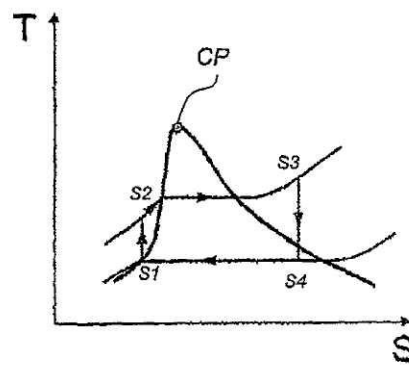
Таким чином, варіанти здійснення винаходу описують спосіб і систему для виробництва енергії з теплового джерела, включаючи геотермальне теплове джерело, з поліпшеним ККД в порівнянні із звичайними енергетичними циклами, які вимагають додаткового обладнання, яке ускладнило б систему або вартість установки. Альтернативно або додатково, винахід стосується способу економічного витягання більшої кількості тепла при більш низькій температурі, ніж при звичайних технологіях, розширюючи, таким чином, число потенційних теплових джерел, які можуть бути комерційно використані.

У інших варіантах здійснення винаходу на етапі регенерації контролюють безпосередньо температуру замість контролю тиску робочого текучого середовища. У одному варіанті здійснення винаходу температуру і тиск робочого текучого середовища, що проходить між етапом розширення і етапом конденсації (або робочого текучого середовища між турбіною і конденсатором), контролюють для підтримання ізоентальпічних умов.

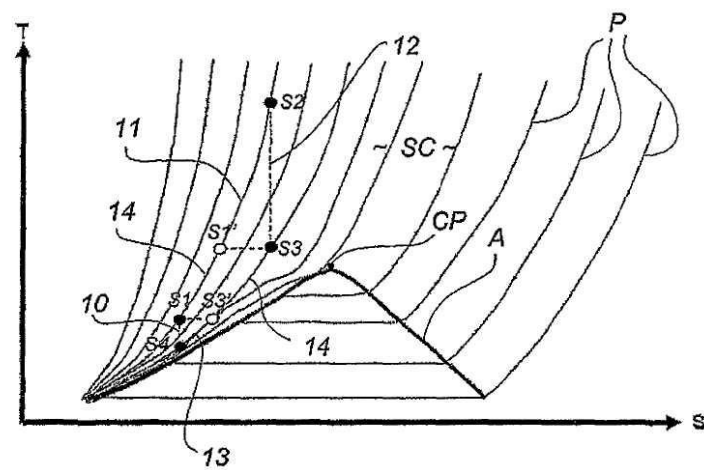
Хоч винахід був описаний з посиланнями на конкретні приклади, фахівці в даній галузі техніки повинні розуміти, що винахід може бути здійснений в багатьох інших формах.



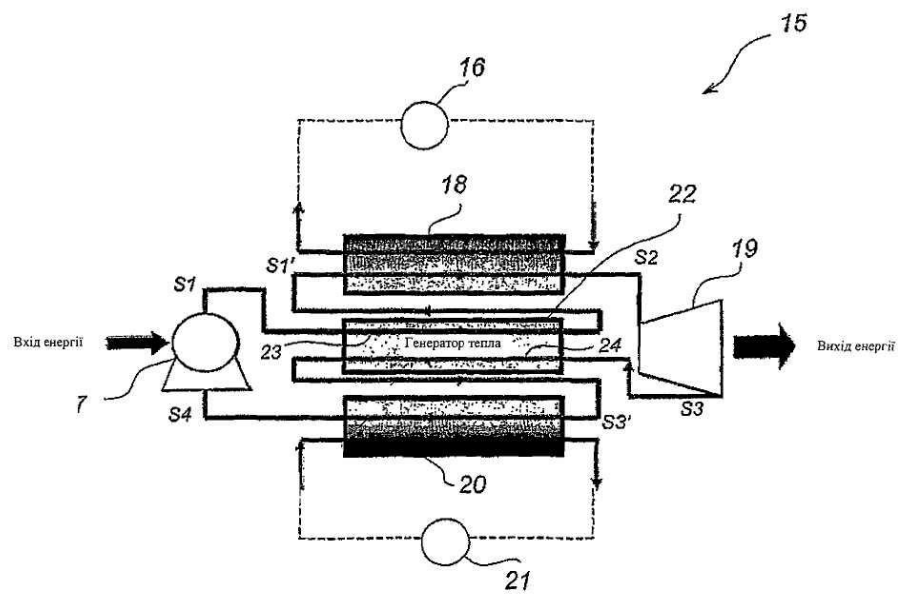
Фіг. 1



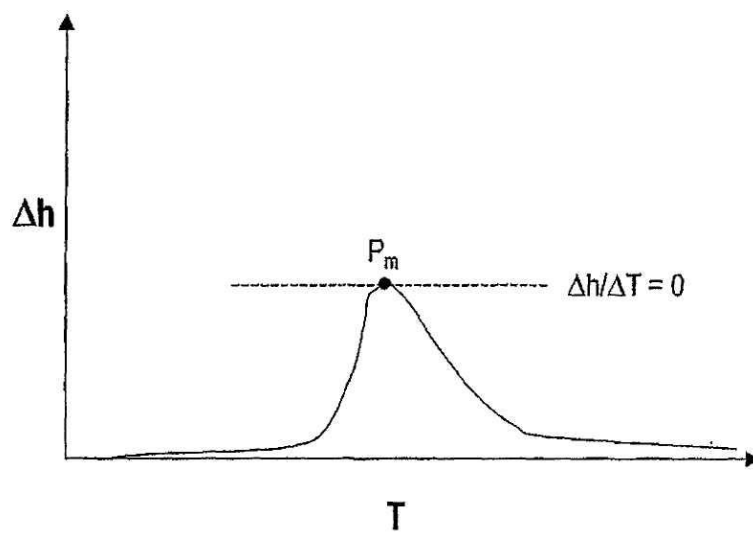
Фіг. 2



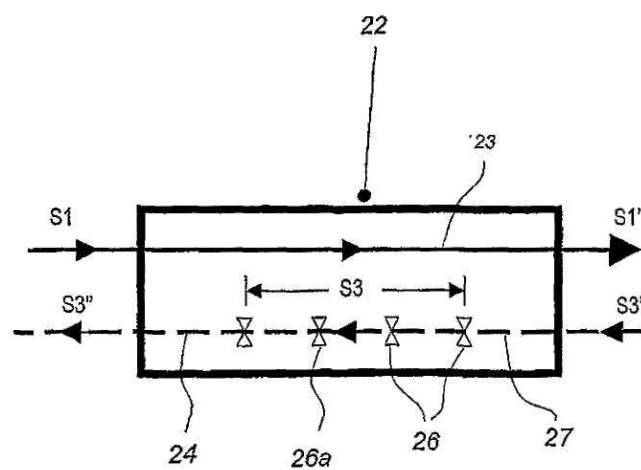
Фіг. 3



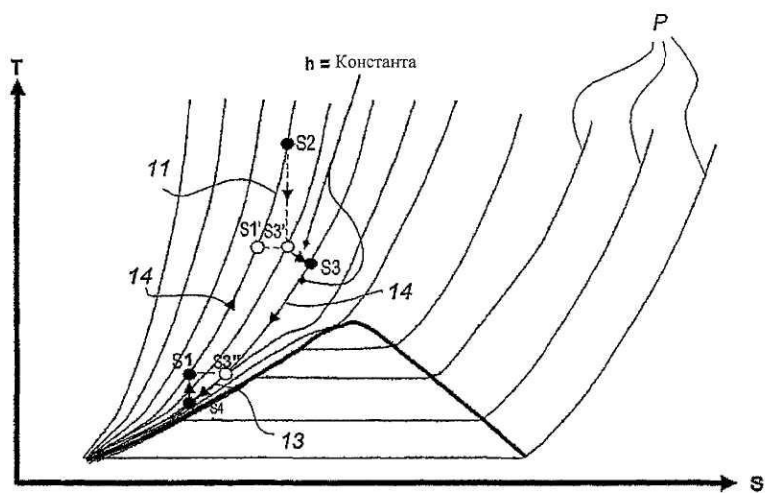
Фіг. 4



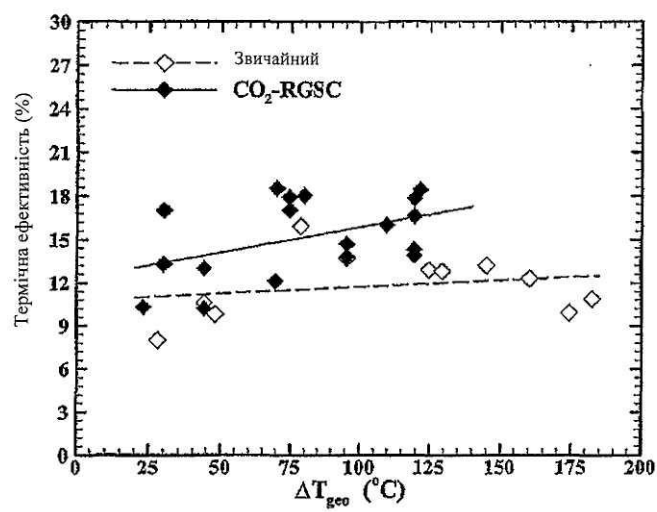
Фіг. 5



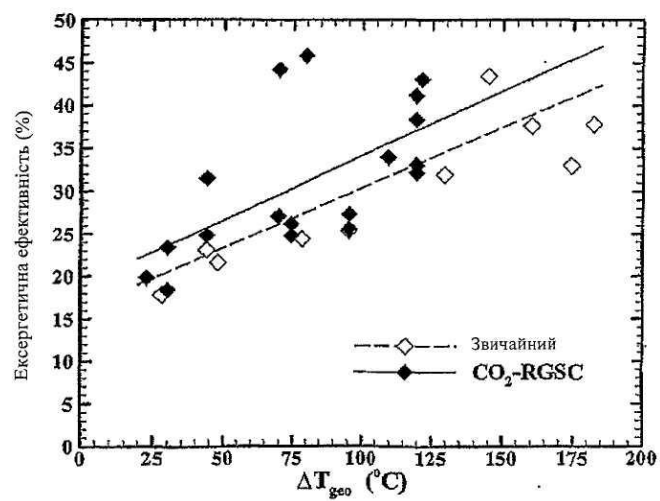
Фиг. 6



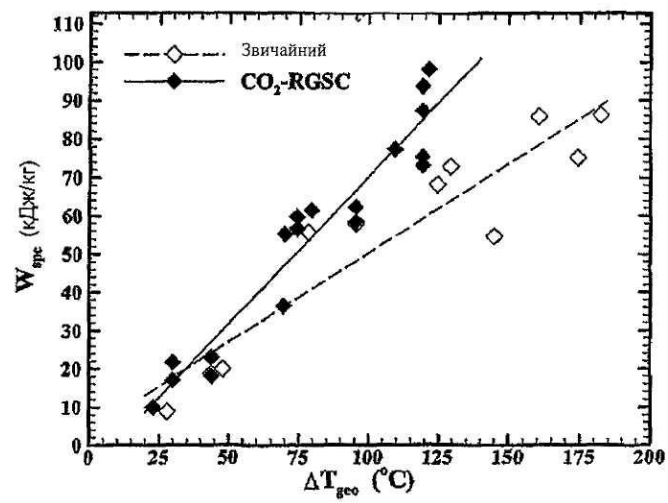
Фиг. 7



Фіг. 8



Фіг. 9



Фіг. 10