



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **146564** (13) **U**  
(51) МПК (2021.01)  
**F24F 11/00**  
**F24F 11/46** (2018.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

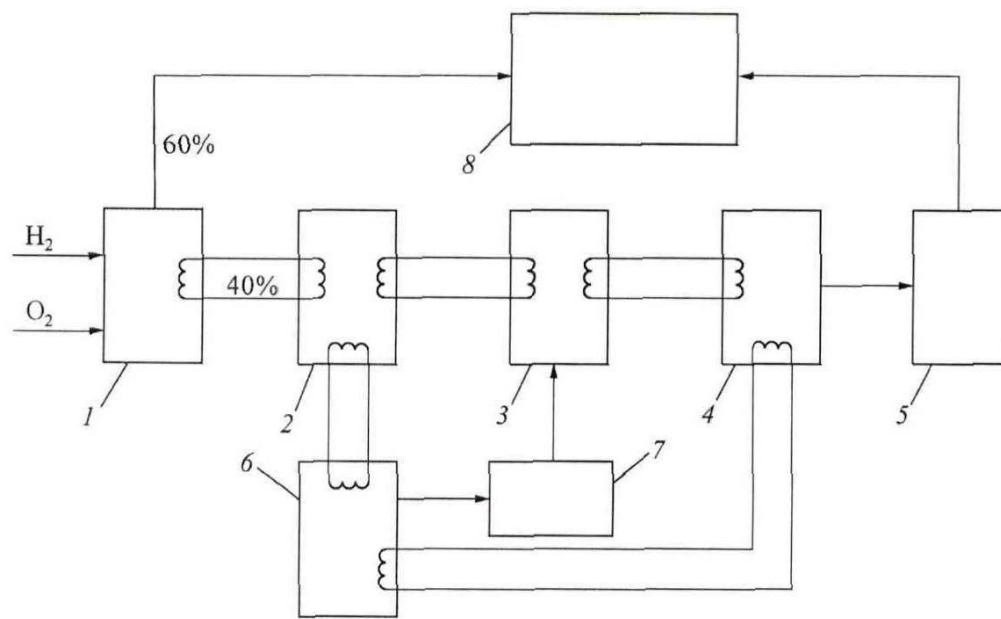
<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2020 04865</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Браверман Вячеслав Якович (UA),</b> <b>Круш Ігор Борисович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>29.07.2020</b>	<b>(73)</b> Володілець (володільці): <b>Браверман Вячеслав Якович,</b> вул. Говорова, 10-б, кв. 158, м. Одеса, 65009 (UA), <b>Круш Ігор Борисович,</b> Французький бульвар, 22, кор. 1, кв. 122, м. Одеса, 65009 (UA)
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>04.03.2021</b>	<b>(74)</b> Представник: <b>Михайлова Тетяна Вікторівна, реєстр.</b> <b>№84</b>
<b>(46)</b> Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>03.03.2021, Бюл.№ 9</b>	

**(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ЩО ГЕНЕРУЄТЬСЯ ВОДНЕВИМ ПАЛИВНИМ ЕЛЕМЕНТОМ**

**(57) Реферат:**

Спосіб підвищення енергоефективності виробництва електричної енергії, що генерується водневим паливним елементом, що включає рекуперацію тепла, яка виділяється, шляхом нагрівання рідини в баку-акумуляторі з подальшим використанням нагрітої рідини в системах теплообміну. Рекуперацію тепла, що виділяється, здійснюють в баку-акумуляторі теплової енергії, що містить рідину, з подальшим випаровуванням рідини у випарнику з утворенням газоподібного продукту та його використанням в системах теплообміну. Як систему теплообміну використовують турбіну, що виробляє електроенергію, при цьому як рідину використовують матеріал з фазовим переходом, наприклад технічний парафін.

**UA 146564 U**



Фиг.1

Корисна модель належить до теплотехніки і може бути використана в системах теплообміну, призначених для відновлення і використання відпрацьованого непридатного тепла від різних джерел, наприклад водневого паливного елемента.

Європейський союз прийняв рішення зробити Європу до 2050 року кліматично нейтральним континентом. З цієї метою скорочення шкідливих викидів в атмосферу до 2030 року має становити 55 %. Дослідження консорціуму "Газ для клімату" (див. Gas Decarbonisation Pathways 2020-2050. April 2020) показало, що цього можна досягти лише за умови повної декарбонізації енергетичної системи ЄС. Вирішальну роль в досягненні цієї мети відіграє воднева енергетика. Одним з магістральних шляхів розвитку водневої енергетики є широке використання водневих паливних елементів (ВПЕ).

Водневі паливні елементи перспективні як для побудови розподілених енергетичних мереж, так і організації автономного електроживлення віддалених об'єктів. Сировиною для паливних елементів може бути не тільки водень, але і метан. Різні системи на основі ВПЕ для постійного і резервного живлення встановлені вже в 19 країнах світу. На 2018 рік загальна кількість систем на ВПЕ в світі перевищує 1127560 установок. Прогноз загальної виручки від продажів стаціонарних систем на ВПЕ в 2022 році складає 40 млрд доларів США.

В водневому паливному елементі водень (метан) і кисень перетворюється в електроенергію з виділенням тепла, 60 % цієї енергії перетворюється в електричну енергію, а інші 40 % виділяються з теплом. Один ВПЕ виробляє відносно невеликий електричний потенціал - близько 0,7 вольт. В силу цього для виробництва необхідного обсягу електроенергії ВПЕ збираються в паливні водневі електростанції. У електростанцій, що працюють на ВПЕ, найнижчі викиди шкідливих речовин.

Останнім часом прагнення до максимального використання непридатного тепла різних процесів помітно виросло. Найбільш простий варіант - це використовувати дармове тепло для систем центрального опалення житлових будинків. Але для цього потрібно, щоб споживачі знаходилися безпосередньо близько до джерела тепла. Крім цього, температура непридатного тепла часто перевищує ту, яка необхідна для систем центрального опалення, отже, значна частина енергії втрачається. Також дуже часто необхідність в опаленні обмежена. З цієї причини розробляються невеликі електростанції, засновані на принципі органічного циклу Ренкіна (ОЦР).

Якщо напрацьоване тепло від паливного елемента утилізувати і також виробляти з нього електроенергію, то його ефективність може бути доведена до 76 %, в силу цього в способі корисної моделі, що заявляється, теплова енергія кількістю 40 %, що виділяється ВПЕ, може бути використана для додаткової генерації ще 6 % електроенергії. Перетворення непридатного тепла в електроенергію дозволяє розміщувати електростанції в будь-якому необхідному місці і передавати цю енергію будь-яким споживачам по високовольтних електричних мережах. На основі ВПЕ стаціонарними енергетичними установками вже вироблено понад 300 млн кВт електроенергії на більш ніж 80-ти станціях по всьому світу (див. С.И. Тихонов, А.В. Ильин, Ю.Н. Лукьянов, и др. "Автономные энергетические установки малой мощности с использованием низкопотенциального тепла").

В даний час на міжнародні ринки США і Європи вже введені електростанції на ВПЕ до декількох мегават в одному блоці. Системи первинного електропостачання на ВПЕ займають особливе місце. Практично ці структури є складовими частинами майбутніх систем масового електропостачання на екологічно чистому паливі. Вже сьогодні ці системи дозволяють успішно вирішувати проблеми енергопостачання у випадках, коли утруднений доступ до існуючих електромереж, або у випадках відсутності вільних потужностей для підключення нових споживачів.

Існують дві технології рекуперації відібраного після генератора органічного циклу тепла. Одна технологія передбачає використання для цієї мети проміжного теплоносія (наприклад, води), друга технологія прямої рекуперації тепла - без проміжного теплоносія.

Коефіцієнт корисної дії систем рекуперації тепла відхідних після генератора газів з використанням проміжного теплоносія значно нижче, ніж при прямій рекуперації тепла. З іншого боку, при прямому нагріванні органічна низькокипляча рідина може нагрітися газами до більш високих температур, що може загорітися або деградувати.

Відомий ряд фірм, які займаються дослідженням і серійним випуском установок, що працюють по ОЦР. До них можна віднести: італійську Turboden srl; американську Ormat Technologies Inc; німецьку ADORATEC GmbH. GMK GmbH; Російську компанію "БПЦ Інжиніринг". Компанія Capstone Turbine Софогатіон виробляє готові блоки ОЦР-турбіни одиничної потужності 50 і 125кВт (WHG 50, WHG 125) для автономних систем генерації електроенергії.

Відомий патент (JP) № 2480680 автора Мацумото Сатоси (JP), в якому описана когенераційна система на паливних елементах, що містить канал рекуперації тепла, в якому послідовно і циркулярно з'єднані перший запірний клапан, рекупераційний теплообмінник, виконаний з можливістю рекуперації непридатного тепла паливного елемента, другий запірний клапан і резервуар для зберігання гарячої води. У рекупераційній трубі, що з'єднує перший запірний клапан, другий запірний клапан і рекупераційний теплообмінник, встановлений клапан скидання тиску каналу рекуперації тепла, виконаний з можливістю відкривання, коли внутрішній тиск в рекупераційній трубі, розташований ближче до рекупераційного теплообмінника, ніж перший запірний клапан і другий запірний клапан, перевищує заданий тиск. Когенераційна система на паливних елементах дозволяє отримувати гарячу воду шляхом рекуперації та використання непридатного тепла паливного елемента для опалення.

Відоме використання органічного циклу Ренкіна (ОЦР) для регенерації тепла, що відходить (див. Патент US № 2502880). Патент стосується способу регенерації тепла, що відходить, яке в подальшому використовується для роботи генератора і вироблення електроенергії. Рекуперація і використання непридатного тепла паливних елементів для опалення проводиться шляхом нагрівання води в резервуарі для гарячої води за допомогою теплообмінника. Відома система містить блок паливних елементів, що містить паливний елемент, рекупераційний теплообмінник і блок зберігання гарячої води з резервуаром для зберігання гарячої води.

Відомий спосіб вибраний за найбільш близький аналог. Найближчий аналог і спосіб, що заявляється, мають наступні загальні ознаки: здійснюють рекуперацію тепла паливного елемента шляхом нагрівання води в резервуарі для гарячої води за допомогою теплообмінника і подальше її використання.

Автори запропонованої корисної моделі давно займаються акумуляцією теплової енергії, наприклад патент UA № 115816 "Акумулятор теплоти з фазовим переходом" і патент UA № 125300 "Економайзер димових газів твердопаливного котла" вже використовуються. Пристрій за патентом UA 115816 було в 2019 році введено в експлуатацію в дитячому садку села Кагарлик Біляївського району Одеської області "Інноваційна енергозберігаюча система опалення та кондиціонування". Центральним елементом цієї системи є бак накопичувач з вбудованим матеріалом парафіном.

Економайзер димових газів по патенту UA 125300 був впроваджений при виробництві твердопаливних котлів на підприємстві ТОВ "Завод Металіст-Шабо".

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення енергоефективності виробництва електричної енергії, що генерується водневим паливним елементом завдяки утилізації теплової енергії і перетворення її в електричну енергію.

У запропонованому способі підвищення енергоефективності виробництва електричної енергії, що генерується паливним водневим елементом, утилізація теплової енергії здійснюється два рази:

- перший раз за рахунок акумуляції в баку-акумуляторі - 40 % від всієї теплової енергії, що надходить від водневого паливного елемента, що дозволяє підвищити ефективність виробництва електроенергії ОЦР на 6 %;

- вдруге за рахунок рекуперації тепла після турбіни/генератора, що дозволяє підвищити ефективність виробництва електроенергії ОЦР ще на 10 %.

Всього запропонованим способом можна довести коефіцієнт використання первинної енергії до 76 %. Капітальні вкладення в 1 кВт встановленої потужності енергетичної установки з ОЦР становлять близько 1-2,5 тис. дол. США.

Поставлена задача вирішується в способі підвищення енергоефективності виробництва електричної енергії тим, що генерується водневим паливним елементом, що включає рекуперацію тепла, що виділяється, шляхом нагрівання рідини в баку-акумуляторі з подальшим використанням нагрітої рідини в системах теплообміну, тим, що рекуперацію тепла, що виділяється, здійснюють в баку-акумуляторі теплової енергії, що містить рідину, з подальшим випаровуванням рідини в випарнику з утворенням газоподібного продукту, та його наступне використання в системах теплообміну, при цьому як систему теплообміну використовують турбіну, що виробляє електроенергію, а як рідину використовують матеріал з фазовим переходом, наприклад технічний парафін.

Новим в корисній моделі, яка заявляється, є те, що рекуперацію тепла, що виділяється, здійснюють в баку-акумуляторі теплової енергії, що містить матеріал з фазовим переходом, а використання накопиченого тепла здійснюють шляхом випаровування нагрітої органічної низькокиплячої рідини в випарнику з утворенням газоподібного продукту з наступним використанням його в системах теплообміну, а саме газоподібний продукт служить для

обертання турбіни, що виробляє електроенергію, при цьому як матеріал з фазовим переходом використовують, наприклад, технічний парафін.

Технологічна схема перетворення непридатного низькопотенційного тепла, що виділяється водневим наливним елементом, наведена на фіг. 1, де:

- 5 1) батарея паливних водневих елементів;
- 2) бак - акумулятор з фазовим переходом;
- 3) випарник органічної низькокиплячої рідини;
- 4) турбіна;
- 5) генератор;
- 10 6) економайзер;
- 7) накопичувач конденсату;
- 8) електростанція.

Низькопотенційна теплова енергія, що виділяється водневим елементом, накопичується в баку-акумуляторі і далі перетворюється також в електроенергію, вироблену з використанням органічного циклу Ренкіна (ОЦР). Цикл для створення пари використовує органічну низькокиплячу робочу рідину (ОНРР), як такою може виступати, наприклад, пентан  $C_5H_{12}$ , який після температури  $+36\text{ }^{\circ}\text{C}$  переходить в газоподібний стан. Спочатку низькопотенційне тепло від водневого елемента надходить в бак-акумулятор, в якому знаходиться технічний парафін з фазовим переходом при температурі плавлення  $54\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Далі це тепло надходить у випарник, де нагріває ОНРР, перетворюючи її в пару. Використання матеріалу з фазовим переходом дає можливість тривалий час підтримувати постійну температуру, тим самим забезпечуючи стабільність параметрів одержуваної пари. Далі пара органічної рідини надходить в парову турбіну, де здійснює роботу, при цьому генератор, що знаходиться на одному валу з турбіною, виробляє електроенергію.

Таким чином, відходить тепловий потік від бака-акумулятора трансформується ОЦР в електричну енергію з ККД до 25-26 %. При цьому також виділяється до 75 % непридатного тепла. Для підвищення ефективності ОЦР нами пропонується відпрацьоване після турбіни дармове тепло також використовувати для попереднього підігріву органічної робочої рідини. Для цього в цикл додається економайзер (рекуператор) тепла. Пар після відбору теплоти охолоджуючого контуру генератора назад повертається у випарник, де додатково нагріває і випаровує ОНРР. Це дає можливість акумулювати додатково в баку теплову енергію і відповідно збільшити ККД циклу ще як мінімум на 10 % і довести його до 35 %.

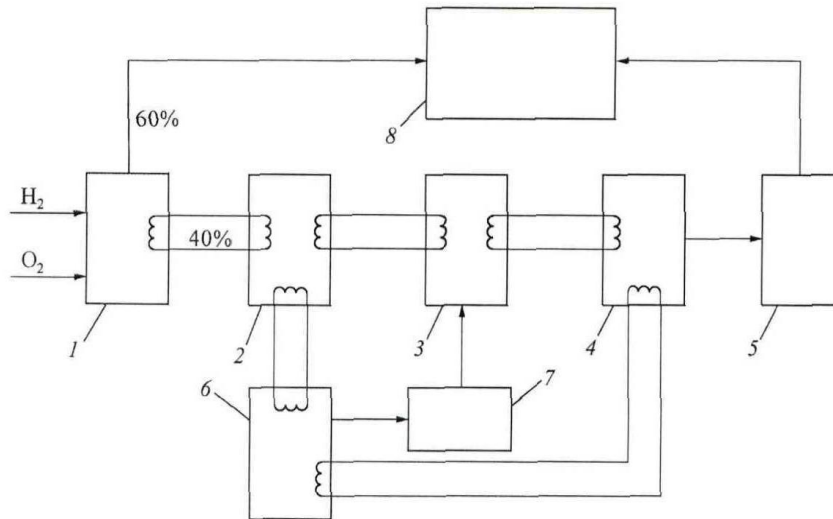
Ключовим елементом таких систем перетворення низькопотенційного тепла паливних водневих елементів в електричну енергію є бак-акумулятор, де накопичується теплова енергія за рахунок теплоакumuлюючого матеріалу з фазовими переходами. Він, по-перше, власне і акумулює теплову енергію, а по-друге, за рахунок теплоакumuлюючого матеріалу з фазовим переходом утримує постійну температуру носія триваліший час (див. Фіг. 2), що і дозволяє турбіні ОРС циклу працювати стійко. Робоча область циклу знаходиться між точками D і F. На Фіг. 2 наведено графік зміни температури в баку-акумуляторі, який є накопичувачем, що містить теплоакumuлюючий матеріал.

Батарея паливних водневих елементів 1 перетворює до 60 % всієї, що надходить в неї енергії, в електричну, яка подається прямо на електростанцію 8. Решта 40 % енергії, яка виділяються викидними теплом і за допомогою водяного теплообмінника акумулюються в баку-акумуляторі 2, в якому знаходиться матеріал з фазовим переходом при температурі  $54\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У свою чергу, акумульоване в баку-акумуляторі 2, тепло передається в випарник 3, де нагріває органічну низькокиплячу рідину, переводячи її в газоподібний стан. Пара подається на лопатки турбіни 4, змушуючи її обертатися. Вал з турбін з'єднаний з валом генератора 5 і при обертанні генератор 5 виробляє електроенергію, яка передається на електростанцію 8. Відпрацьований після турбіни 4 пара подається в економайзер 6. У економайзері 6 пара органічної рідини знову переходить в рідку фазу, підігрівуючи відповідно воду в баку-акумуляторі 2. Отриманий конденсат органічної рідини подається в накопичувач конденсату 7, звідки при необхідності, додається до основного об'єму рідини в випарнику. Цикл завершується. Запропонований спосіб дозволяє з 40 % непридатного тепла отримати додатково ще 14-16 % електричної енергії.

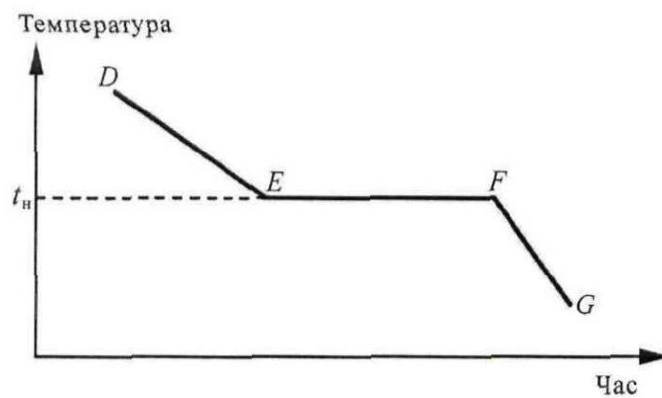
#### 55 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб підвищення енергоефективності виробництва електричної енергії, що генерується водневим паливним елементом, що включає рекуперацію тепла, яка виділяється, шляхом нагрівання рідини в баку-акумуляторі з подальшим використанням нагрітої рідини в системах теплообміну, який **відрізняється** тим, що рекуперацію тепла, що виділяється, здійснюють в

баку-акумуляторі теплової енергії, що містить рідину, з подальшим випаровуванням рідини у випарнику з утворенням газоподібного продукту та його використанням в системах теплообміну, як систему теплообміну використовують турбіну, що виробляє електроенергію, при цьому як рідину використовують матеріал з фазовим переходом, наприклад технічний парафін.



Фіг.1



Фіг.2