



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **49702** (13) **U**
(51) МПК
C01B 3/56 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ОТРИМАННЯ ЧИСТОГО ВОДНЮ

1

(21) u200911190

(22) 04.11.2009

(24) 11.05.2010

(46) 11.05.2010, Бюл. № 9, 2010 р.

(72) ШЛЯХТОВ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ, АРТЕМ'ЄВ
ВАЛЕРІЙ ІВАНОВИЧ, ЗІМІН ІГОР В'ЯЧЕСЛАВО-
ВИЧ

(73) ШЛЯХТОВ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ, АРТЕМ'ЄВ
ВАЛЕРІЙ ІВАНОВИЧ, ЗІМІН ІГОР В'ЯЧЕСЛАВО-
ВИЧ

(57) 1. Спосіб отримання чистого водню, який по-
лягає в окисненні заліза (Fe) водяною парою
(H₂O), отримуючи оксид заліза (Fe₃O₄ та Fe₂O₃) і
водень (H₂), та регенерації заліза (Fe) шляхом
відновлення для повторного використання віднов-
лювальним газом, що містить відновлювач (CO),
який **відрізняється** тим, що водяну пару (H₂O)
пропускають через залізо (Fe) у протитечії, отри-
муючи оксид заліза (Fe₃O₄ та Fe₂O₃) розігрітим,
далі через розігрітий оксид заліза (Fe₃O₄ та Fe₂O₃)
також у протитечії пропускається охолоджений

2

відновлювальний газ (CO), який не містить азоту
(N₂), отримуючи охолодженням чисте відновлене
залізо (Fe), яке повертається на отримання водню
(H₂), та розігрітим окислювальний газ (CO₂), що
також не містить азоту, а наприкінці розігрітий оки-
слювальний газ (CO₂) також у протитечії пропуска-
ється через вугілля (C), отримуючи охолодженням
відновлювальний газ (CO), що не містить азоту,
частина котрого повертається на відновлення за-
ліза (Fe), а частина на отримання, наприклад, еле-
ктроенергії.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що ене-
ргія водяної пари (Q₁), а також енергія, що виникає
при екзотермічних реакціях окислювання заліза
водяною парою (O₂) та відновлення заліза (O₃)
відновлювальним газом за допомогою відповідно
гарячих оксиду заліза (Fe₃O₄ та Fe₂O₃) та окислю-
вального газу (CO₂) використовується в ендотер-
мічній реакції вуглекислотної конверсії вугілля
(Q₄).

Корисна модель відноситься до галузі теплое-
нергетики, а саме до способу конверсії звичайних
копальних палив, побутового сміття, в присутності
повітря та водяної пари і може знайти застосуван-
ня при отриманні чистого водню для використання
в паливних елементах як продукт керованої реак-
ції газифікації, а також для використання в опалю-
вальних котельнях куди надходить потік повітря
збідненого киснем, який містить тепло високої те-
мператури, який можна використовувати, напри-
клад, у підсистемах генерування енергії, що вклю-
чені в наступний технологічний ланцюг.

Відомий спосіб отримання аміаку, який поля-
гає у високотемпературній кисневій конверсії вуг-
леводню, конверсії окислу вуглецю на рідиннофа-
зному каталізаторі, очищенні газу від двоокису
вуглецю, сірчанистих з'єднань і залишків окису
вуглецю з використанням тепла реакції здійсню-
ють під тиском до 400 атм. [а. с. СРСР №330728,
опубл. 25.04.77, бюл. №15].

Відомий також спосіб конверсії вугілля з отри-
манням якісного водню для паливних сумішей і

діоксиду вуглецю, готового до утилізації, який по-
лягає у спаленні вугілля, яке здійснюється без
змішування, і проходить у три етапи, на яких зава-
нтажують перший реактор з псевдооживленим ша-
ром вугілля і водяною парою високої температури,
який окислює частину вугілля, і отримують чистий
газоподібний водень і діоксид вуглецю, здійсненні
циркуляції між першим, другим та третім реакто-
рами, які вміщують суміш псевдооживлених твер-
дих часток, суміші твердих псевдооживлених час-
ток, які вміщують вугілля, з'єднання кальцію, які
присутні в вигляді CaO, CaCO₃ і їх сумішей, і
з'єднання заліза, які присутні у вигляді FeO, Fe₂O₃
і їх сумішей, проводять реакцію CaO, який присут-
ний в першому реакторі, з діоксидом вуглецю до
утворення CaCO₃, проводять реакцію CaCO₃ у
другому реакторі до відновлення CaO і одночасно
проводять реакцію вугілля і/або напівкоксу з вугіл-
ля з Fe₂O₃ для утворення FeO і діоксиду вуглецю,
окислюють FeO, який присутній у третьому реак-
торі, для відновлення Fe₂O₃ і отримують повітря,
збіднене киснем, при підвищеній температурі і

(13) **U**

(11) **49702**

(19) **UA**

видаляють чистий водень, діоксид вуглецю і збіднене повітря в вигляді окремих потоків з першого, другого і третього реакторів. При цьому тверді частки у другому реакторі псевдоожижають з використанням водяної пари високої температури, а тверді частки у третьому реакторі псевдоожижають з використанням стисненого повітря. Температура в першому реакторі знаходиться в діапазоні 650...850°C, температура у другому реакторі знаходиться в діапазоні 1000...1100°C, температура в третьому реакторі знаходиться в діапазоні 1400...1600°C, тиск у системі реакторів знаходиться в діапазоні 2...20 атмосфер. Співвідношення атомів кальцію, які присутні в вигляді CaO і CaCO₃, і заліза, яке присутнє в вигляді FeO і Fe₂O₃, у твердих частках, які циркулюють між псевдоожиженими шарами, знаходиться між 1,5...2. Швидкості твердих часток, які циркулюють між другим і третім реакторами, така, що співвідношення FeO, що попадає в третій реактор, до кисню в повітрі, що попадає в третій реактор, більш, ніж 4 моль FeO до 1 моль FeO і O₂, але менше ніж 5 моль FeO до 1 моль кисню. Тиск перегрітої водяної пари складає біля 7 атмосфер [Патент США від 30.07.2002 року].

Відомий також, обраний як прототип, спосіб отримання водню шляхом по-перше продування водяної пари над розжареним до-красна залізом з метою здійснення реакції $4\text{H}_2\text{O} + 3\text{Fe} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$, по-друге - отримання відновлювального газу при неповному згоранні вугілля або коксу з метою здійснення реакції $\text{C} + 1/2\text{O}_2 + 1,86\text{N}_2 = \text{CO} + 1,86\text{N}_2$, а по-третє - відновлення та нагрівання заліза з метою здійснення реакції $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{CO} = 3\text{Fe} + 4\text{CO}_2$ для повторного використання заліза у процесі отримання чистого водню. [Г. Реми, Учебник неорганической химии. Том «Водород и главные группы периодической системы». ОНТИ ГОСХИМТЕХИЗДАТ, Ленинградское отделение. 1933. 445с.].

Загальними суттєвими ознаками відомого способу й того, що заявляється є окислення заліза (Fe) водяною парою (H₂O), отримуючи окислене залізо (Fe₃O₄ або Fe₂O₃) і водень (H₂), та регенерації заліза (Fe) шляхом відновлення для повторного використання відновлювальним газом, що містить відновлювач (CO).

Недоліками відомого способу є те, що відновлювальний газ отримують шляхом повітряної конверсії вугілля або коксу, при цьому він вміщує відновлювач (CO), який після відновлення заліза переходить у окислювач (CO₂), а також нейтральний азот (N₂), який без змін після відновлення заліза переходить у газ і є перешкодою для використання окислювача (CO₂) для отримання відновлювального газу (CO) в режимі регенерації відповідно з реакцією $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$, що значно збільшує енерговитрати, а чистий водень отримується в незначній кількості. Тобто відновлення заліза здійснюється за реакцією $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4(\text{CO} + 1,86\text{N}_2) = 3\text{Fe} + 4(\text{CO}_2 + 1,86\text{N}_2)$, а при пропусканні такого газу через вугілля пройде реакція $\text{C} + \text{CO}_2 + 1,86\text{N}_2 = 2\text{CO} + 1,86\text{N}_2$.

В основу корисної моделі поставлено задачу отримання чистого водню та зниження енерговитрат.

Поставлена задача вирішується за рахунок окислення заліза (Fe) водяною парою (H₂O), отримуючи оксид заліза (Fe₃O₄ та Fe₂O₃) і водень (H₂), та регенерації заліза (Fe) шляхом відновлення для повторного використання відновлювальним газом, що містить відновлювач (CO), при цьому водяну пару (H₂O) пропускають через залізо (Fe) у протитечії, отримуючи оксид заліза (Fe₃O₄ та Fe₂O₃) розігрітим, далі через розігрітий оксид заліза (Fe₃O₄ та Fe₂O₃) також у протитечії пропускається охолоджений відновлювальний газ (CO), який не містить азоту (N₂), отримуючи охолодженим чисте відновлене залізо (Fe), яке повертається на отримання водню (H₂), та розігрітий окислювальний газ (CO₂), що також не містить азоту, а наприкінці розігрітий окислювальний газ (CO₂) також у протитечії пропускається через вугілля (C), отримуючи охолодженим відновлювальний газ (CO), що не містить азоту, частина котрого повертається на відновлення заліза (Fe), а частина на отримання, наприклад, електроенергії.

При здійсненні способу енергія водяної пари (Q₁), а також енергія, що виникає при екзотермічних реакціях окислювання заліза водяною парою (Q₂) та відновлення заліза (Q₃) відновлювальним газом за допомогою відповідно гарячих оксиду заліза (Fe₃O₄ та Fe₂O₃) та окислювального газу (CO₂) використовується в ендотермічній реакції вуглекислотної конверсії вугілля (Q₄).

Сутність пропонованої корисної моделі пояснюється кресленням, на якому зображено:

- Фіг.1 - технологічна схема отримання чистого водню.

де Q₁ - енергія пари;

Q₂ - енергія, яка отримана при окисленні заліза;

Q₃ - енергія, яка отримана при відновленні заліза;

Q₄ - енергія, яка витрачена на конверсію вугілля.

Заявлений спосіб здійснюється таким чином.

Водяна пара направляється в реактор 1, де її пропускають у протитечії через нагрітий потік порошку заліза (Fe), який просувають у протитечії пари, за рахунок цього залізо окислюється до гарячих оксидів (Fe₃O₄ та Fe₂O₃) і отримується водень (H₂).

Отриманий оксид заліза (Fe₃O₄ та Fe₂O₃) направляється в реактор 2, де він відновлюється відновлювальним газом (CO), який рухається назустріч потоку порошку заліза (Fe), а також отримується гарячий вуглекислий газ (CO₂).

Отриманий гарячий вуглекислий газ (CO₂), направляється в реактор 3 і просувається в протитечії вугілля, за рахунок цього шляхом вуглекислотної конверсії вугілля отримується охолоджений відновлювальний газ (CO).

Надлишок відновлювального газу (CO) направляється в якості двигунного палива на виробництво електроенергії за допомогою електростанції на базі, наприклад, двигуна внутрішнього згорання.

При цьому, енергія водяної пари (Q₁), а також енергія, що виникає при екзотермічних реакціях окислювання заліза водяною парою (Q₂) та відновлення заліза (Q₃) відновлювальним газом за до-

помогою відповідно гарячих оксиду заліза (Fe_3O_4 та Fe_2O_3) та окислювального газу (CO_2) використовується в ендотермічній реакції вуглекислотної конверсії вугілля (Q_4).

Вугілля на процес подається холодним, за рахунок цього відновлювальний газ, потім відновлене залізо, в наприкінці, водень отримують охолодженими, що зменшує втрати теплової енергії з отриманим воднем.

Застосування запропонованої корисної моделі забезпечує отримання значної кількості чистого водню, використовуючи при цьому незначну кількість вугілля і чистого заліза, чистих вуглекислого та чадного газів, а охолоджений відновлювальний газ використовувати для отримання електроенергії.



Фіг. 1