



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **126947** (13) **C2**

(51) МПК (2023.01)

C01B 21/26 (2006.01)

C01B 21/28 (2006.01)

F01K 23/00

F02C 6/00

F25B 17/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: a 2021 00222	(72) Винахідник(и): Варнер Максиміліан (NO)
(22) Дата подання заявки: 14.08.2019	(73) Володілець (володільці): ЯРА ІНТЕРНЕТШІП АСА, Drammensveien 131, 0277 Oslo, Norway (NO)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 23.02.2023	(74) Представник: Михайлюк Ганна Валентинівна, реєстр. №184
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 62/764,976, 18203076.7	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: CN 105936501 A, 14.09.2016 US 4957720 A, 18.09.1990 EP 3338883 A1, 27.06.2018 WO 03/070634 A1, 28.08.2003 US 2008/216478 A1, 11.09.2008
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 17.08.2018, 29.10.2018	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: US, EP	
(41) Публікація відомостей про заявку: 24.02.2021, Бюл.№ 8	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 22.02.2023, Бюл.№ 8	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/EP2019/071786, 14.08.2019	

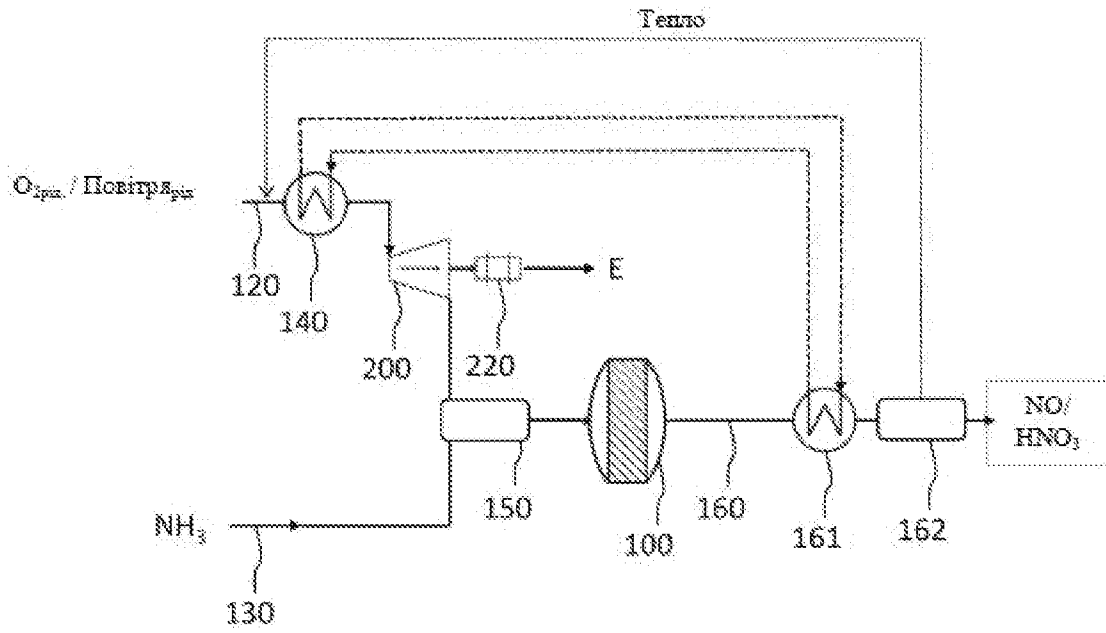
(54) СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ З РЕГЕНЕРАЦІЄЮ ВИСОКОЇ КІЛЬКОСТІ ЕНЕРГІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РІДКОГО КИСНЕВМИСНОГО ТЕКУЧОГО СЕРЕДОВИЩА

(57) Реферат:

Представлена нова концепція для способу та системи одержання азотної кислоти з високою енергоефективністю та ефективністю з матеріального погляду, де спосіб та система одержання азотної кислоти, зокрема інтегровані зі способом та системою одержання аміаку, виконані з можливістю регенерації великої кількості енергії з одержання аміаку, яку він споживає, зокрема, у формі електричної енергії, із підтриманням високого ступеня одержання азотної кислоти під час перетворення аміаку на азотну кислоту. Спосіб регенерації енергії та вироблення електричної енергії включає нагнітання рідкого газу, такого як повітря, кисень та/або N₂, подальше випарювання та нагрівання рідкого газу, що знаходиться під тиском, зокрема із застосуванням відпрацьованого тепла низької якості, виробленого під час одержання азотної кислоти та/або аміаку, і подальшого забезпечення розширення випареного рідкого газу, що знаходиться під тиском, у турбіні. Зокрема, вироблену електричну енергію щонайменше частково застосовують для подачі живлення на електролізер із виробленням водню, необхідного для одержання аміаку. Нові концепції, викладені в даній заявці, зокрема, застосовні

UA 126947 C2

в одержанні азотної кислоти на основі джерел відновлюваної енергії.



Фиг. 2А

Галузь винаходу

Даний винахід стосується технічної галузі хімічної обробки. Зокрема, даний винахід загалом стосується способу одержання азотної кислоти, зокрема способу одержання азотної кислоти в комбінації з одним або більше способами, які здійснюють вище за потоком та/або нижче за потоком в одержанні азотної кислоти, такі як одержання аміаку, зокрема одержання аміаку із застосуванням водню, що утворюється в результаті електролізу води, та одержання добрива на основі нітратів відповідно. Даний винахід також стосується систем, призначених для здійснення способу одержання азотної кислоти за даним винаходом.

Рівень техніки винаходу

Азотну кислоту зазвичай одержують за допомогою багатостадійного способу, в якому аміак окиснюється до оксидів азоту, які потім поглинаються водою з одержанням азотної кислоти. На першій стадії безводний аміак окиснюється киснем або повітрям до оксиду азоту (NO) та води (пари) у присутності каталізатора (наприклад, каталізатора на основі платини або родію). Дана стадія забезпечення спалювання аміаку є дуже екзотермічним процесом і зазвичай відбувається за температури приблизно 700–1000 °C. На наступній стадії монооксид азоту, що міститься в газі, утворюваному у результаті спалювання аміаку, додатково окиснюється до діоксиду азоту (NO₂) (наприклад, у секції окиснення). Нарешті, діоксид азоту поглинається у воді (зазвичай у спеціально призначеному абсорбері) з одержанням необхідної азотної кислоти. Перед стадією поглинання водяна пара (пара), що міститься в газі, утворюваному внаслідок спалювання аміаку, конденсується шляхом охолодження газу, утворюваного внаслідок спалювання.

Сучасні установки, що виробляють азотну кислоту, експлуатуються під тиском для досягнення вищих концентрацій кислоти та більших швидкостей та ефективності окиснення NO в абсорбері. В установках, де застосовують один тиск, як спалювання аміаку, так і поглинання оксидів азоту здійснюють за середніх значень тиску (від 3 бар (абс.) до приблизно 6 або 7 бар (абс.)) або високого тиску (від приблизно 7 бар (абс.) до 12 бар (абс.), не більш ніж 20 бар (абс.)). В установках, де застосовують два різні тиски, спалювання аміаку відбувається за середнього тиску, що становить від приблизно 3 до 6 бар (абс.), тоді як абсорбція з одержанням азотної кислоти відбувається за високого тиску, що становить від 10 до 15 бар (абс.). Такі системи зазвичай містять розширювальну турбіну (що називається турбіною для відхідних газів) для регенерації енергії із залишкового газу або відхідного газу перед його вивільненням в атмосферу. Крім того, для конденсації газів і водяної пари з топкової камери або камери згоряння аміаку між камерою згоряння та абсорбером застосовують теплообмінники. Наприклад, зазвичай у таких системах за секцією каталізатора в камері згоряння установлений утилізаційний паровий котел. Хоча сучасні установки, що виробляють азотну кислоту, таким чином, містять системи регенерації енергії, вони загалом мають погану здатність до регенерації даної енергії, зокрема для вироблення електричної енергії, також через велику кількість тепла низької якості, яке виробляється (теплом низької якості називається тепло, що має низьке економічне значення). За допомогою сучасних технологій для одержання азотної кислоти регенерується лише близько 25-30 % від енергії згоряння у вигляді виділюваної пари, та у разі застосування даної пари для створення електричної енергії зазвичай одержують термічну ефективність, що становить менше ніж 10 %.

У разі одержання аміаку із застосуванням електролізу води як джерела водню спосіб зазвичай потребує потужності, що становить 9,5 мВт-год./Т_{ННЗ}, приблизно 90 % від якої використовується електролізерами (див. Grunt & Christiansen, International Journal of Hydrogen Energy 7 (1982) 247-257)). Крім того, приблизно 20 % цієї енергії, що надходить у блоки електролізу, вивільняється у вигляді тепла низької якості за 90 °C.

Таким чином, у використовуваному в даний час способі одержання азотної кислоти регенерується тільки мала частка енергії, необхідної для одержання аміаку, який витрачається у способі одержання азотної кислоти.

Останнім часом фотоелектрична сонячна (PV) та вітрова енергія з погляду витрат почали перевершувати традиційні (наприклад, на основі викопного палива) способи одержання електричної енергії. Повсюдно очікують, що вітрова та сонячна енергія дедалі частіше будуть здатні обійти викопні види палива. Ця еволюція відкриває можливість одержання так званого "зеленого аміаку" та "зелених нітратів", де потреби в енергії під час процесу одержання будуть задоволені завдяки відновлюваним джерелам енергії.

Проте важливим питанням у даному контексті є переривчастість постачання відновлюваної енергії. Ця переривчастість постачання енергії не тільки відіграє важливу роль із погляду витрат на виробництво (тобто функціонування за зниженого навантаження або навіть простій протягом частин дня), але і в процесі одержання аміаку здійснює важливий негативний технічний ефект.

Зокрема, на відміну від електролізерів, сучасна технологія на основі контуру за способом Габера-Боша не дає змогу розпочинати роботу реактора та припиняти багато разів: каталізатор у процесі роботи та матеріали в реакторі дуже чутливі до нагрівання та охолодження. Таким чином, ця переривчастість, що виникає через відновлювальні види енергії, такі як вітрова або сонячна енергія, може мати негативні ефекти на цю частину процесу. Хоча переривчастість подачі енергії можна подолати, наприклад, шляхом застосування батарей – як у випадку сонячної енергії шляхом зберігання енергії впродовж дня та розрядження протягом ночі, це призводить до значних капітальних витрат, як із погляду вартості батареї, так і додаткових блоків для одержання PV- або вітрової енергії, необхідних для її заряджання.

Відповідно, існує необхідність у способах і системах для одержання азотної кислоти, які є високоефективними з погляду енергії та/або потребують менше енергії та є здатними ефективно перетворювати відновлювану електричну енергію на аміак, азотну кислоту та/або нітрати, щоб подолати щонайменше частково вказані вище недоліки, пов'язані із застосуванням відновлюваних джерел енергії.

Стислий опис винаходу

У першому аспекті даної заявки представлений спосіб одержання азотної кислоти, який включає стадії

(a) забезпечення каталітичного спалювання суміші аміаку та кисневмісного текучого середовища у камері згоряння аміаку з утворенням таким чином потоку, утворюваного внаслідок спалювання аміаку, при цьому потік містить оксид азоту;

(b) щонайменше часткового окиснення оксиду азоту в потоці, утворюваному внаслідок спалювання аміаку, зі стадії a) з утворенням потоку, що містить діоксид азоту;

(c) поглинання за допомогою абсорбера діоксиду азоту у водному розчині з утворенням таким чином концентрованого водного потоку, який містить азотну кислоту,

де кисневмісне текуче середовище подають у камеру згоряння аміаку за допомогою лінії подачі кисневмісного текучого середовища, при цьому в щонайменше одній секції лінії подачі кисневмісного текучого середовища кисневмісне текуче середовище являє собою рідину;

(d) підвищення тиску кисневмісної рідини у лінії подачі кисневмісного текучого середовища з одержанням таким чином кисневмісної рідини, що знаходиться під тиском, де кисневмісна рідина, що знаходиться під тиском, характеризується тиском, що становить щонайменше 10 бар (абс.), конкретно щонайменше 50 бар (абс.), більш конкретно щонайменше 100 бар (абс.) або щонайменше 150 бар (абс.) і навіть більш конкретно характеризується тиском, що становить від 150 до 250 бар (абс.);

(e) випарювання або кип'ятіння кисневмісної рідини, що знаходиться під тиском, зокрема, за допомогою тепла, рекуперованого нижче за потоком відносно камери згоряння аміаку, з одержанням таким чином кисневмісного газу, що знаходиться під тиском; і

(f) забезпечення розширення кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, у першій турбіні (200), яка, зокрема, з'єднана з генератором (220), для вироблення електричної енергії.

Кисневмісне текуче середовище являє собою, зокрема, повітря, чистий кисень (O_2) або суміш, що містить кисень (O_2). Зокрема, суміш містить щонайменше 10 мол. % O_2 , більш конкретно щонайменше 15 мол. % O_2 , навіть більш конкретно щонайменше 20 мол. % O_2 , навіть ще більш конкретно щонайменше 50 мол. % O_2 , навіть ще більш конкретно щонайменше 90 мол. % O_2 і найбільш конкретно щонайменше 95 мол. % O_2 . Зокрема, спосіб додатково включає стадію змішування кисневмісного текучого середовища з аміаком до подачі аміаку та кисневмісного текучого середовища у камеру згоряння аміаку, більш конкретно змішування відбувається в блоці змішування або на лінії змішування. У контексті даної заявки передбачається, що блок змішування або лінія змішування будуть утворювати частину лінії подачі кисневмісного текучого середовища.

Електрична енергія може подаватися на одній або більше з ранніх стадій або способів, які здійснюють вище за потоком, способу одержання азотної кислоти, такі як одержання газоподібного водню на основі електролізу в способі одержання аміаку та/або для роботи блока розділення повітря, призначеного для вироблення газоподібного азоту для застосування в способі одержання аміаку. Переважно електрична енергія може подаватися на ранніх стадіях або способах, що здійснюють вище за потоком, коли подача відновлювальної енергії переривається (наприклад, упродовж ночі для сонячної енергії).

У конкретних варіантах здійснення спосіб одержання азотної кислоти згідно з даним винаходом додатково включає стадію додаткового нагрівання або перегрівання кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, зі стадії (e) за допомогою одного або більше нагрівачів (122), виконаних із можливістю рекуперації тепла нижче за потоком відносно камери згоряння аміаку (100), перед забезпеченням розширення кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, на

стадії (f).

Відповідно до способу за даною заявкою рідке кисневмісне текуче середовище спочатку нагнітають (що потребує значно менше енергії, ніж нагнітання відповідного текучого середовища в газовій формі) і потім забезпечують його кип'ятіння та, зокрема, додатково нагрівають. Переважно під час випарювання та додаткового нагрівання кисневмісного текучого середовища можна застосовувати відпрацьоване тепло низької якості, тобто за температури, що становить нижче ніж 100 °C і менше. Таким чином, у конкретних варіантах здійснення додаткове нагрівання або перегрівання кисневмісного текучого середовища, зокрема кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, здійснюють за допомогою тепла, рекуперованого в абсорбері; за допомогою тепла, рекуперованого в конденсаторі, та/або за допомогою тепла, рекуперованого в теплообміннику (блок охолодження), розташованих нижче за потоком відносно камери згоряння аміаку. У конкретних варіантах здійснення додаткове нагрівання або перегрівання кисневмісного текучого середовища, зокрема кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, здійснюють ступінчасто, спочатку застосовуючи рекупероване тепло низької якості, таке як тепло, регенероване з блоків абсорбера та/або конденсатора, та потім застосовуючи рекупероване тепло більш високої якості, регенероване за допомогою теплообмінників із потоку, що містить NO або NO₂, перед конденсатором та абсорбером. Інакше кажучи, кисневмісний газ, що знаходиться під тиском, спершу нагрівають, застосовуючи тепло низької якості, регенероване з блоків абсорбера та/або конденсатора (які функціонують за значень температури, що становлять менше ніж 100 °C), перед додатковим нагріванням/перегріванням із застосуванням тепла більш високої якості, регенерованого за допомогою теплообмінників із потоку, що містить NO або NO₂, до того, як потік увійде в конденсатор та абсорбер.

Отже, стадію перегрівання кисневмісного текучого середовища, зокрема кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, проводять із послідовним застосуванням тепла з двох або більше наступних джерел, у послідовності використання: (1) абсорбер; (2) конденсатор; (3) теплообмінник, розташований вище за потоком від конденсатора, як наприклад, між конденсатором та блоком окиснення; та/або (4) теплообмінник, розташований вище за потоком від блока окиснення та нижче за потоком відносно камери згоряння аміаку.

Спосіб одержання азотної кислоти відповідно до даної заявки, що включає застосування рідкого кисневмісного текучого середовища, може бути об'єднаний із класичними способами або системами одержання азотної кислоти, вказаними в розділі "Рівень техніки", де тепло в газі, утвореному внаслідок спалювання аміаку (тобто потік, що містить оксид азоту), захоплюють один або більше теплообмінників або конденсаторів, розташованих нижче за потоком відносно камери згоряння аміаку та вище за потоком від абсорбера, і при цьому захоплене тепло можна застосовувати для кип'ятіння кисневмісної рідини, що знаходиться під тиском, та/або для нагрівання або перегрівання кисневмісного газу, що знаходиться під тиском. Крім того, спосіб одержання азотної кислоти відповідно до даної заявки може також бути об'єднаний з іншими заходами, спрямованими на регенерацію енергії та вироблення електричної енергії, які розглядаються в наявній новій концепції для способу та системи одержання азотної кислоти з високою енергоефективністю та ефективністю з матеріального погляду.

У певних варіантах здійснення спосіб одержання азотної кислоти додатково включає стадію попереднього нагрівання горючої суміші, утвореної на лінії змішування, зокрема, за допомогою тепла, регенерованого за допомогою теплообмінника, розташованого між блоком окиснення та конденсатором або між блоком окиснення та абсорбером.

У конкретних переважних варіантах здійснення спосіб одержання азотної кислоти додатково включає стадію одержання аміаку до стадії (a) шляхом каталітичного перетворення H₂ та N₂, при цьому потім забезпечують згоряння аміаку з утворенням NO_x і потім його перетворюють на азотну кислоту. Таким чином, у конкретних варіантах здійснення стадію одержання аміаку виконано з можливістю поліпшення ефективності з енергетичного та/або матеріального поглядів. У конкретних варіантах здійснення спосіб одержання азотної кислоти включає стадії

(a) забезпечення каталітичного спалювання аміаку в камері згоряння аміаку в присутності кисневмісного текучого середовища з утворенням таким чином потоку, що містить оксид азоту;

(b) щонайменше часткового окиснення NO_x у потоці, що містить оксид азоту, з утворенням потоку, який містить діоксид азоту;

(c) поглинання за допомогою абсорбера діоксиду азоту у водному розчині з утворенням таким чином водного потоку, який містить азотну кислоту,

де кисневмісне текуче середовище подають у камеру згоряння аміаку за допомогою лінії подачі кисневмісного текучого середовища, при цьому в щонайменше одній секції лінії подачі кисневмісного текучого середовища кисневмісне текуче середовище являє собою рідину;

(d) підвищення тиску кисневмісної рідини у лінії подачі кисневмісного текучого середовища з одержанням таким чином кисневмісної рідини, що знаходиться під тиском, де кисневмісна рідина, що знаходиться під тиском, характеризується тиском, що становить щонайменше 10 бар (абс.), конкретно щонайменше 50 бар (абс.), більш конкретно щонайменше 100 бар (абс.) або щонайменше 150 бар (абс.) і навіть більш конкретно характеризується тиском, що становить від 150 до 250 бар (абс.);

(e) випарювання або кип'ятіння кисневмісної рідини, що знаходиться під тиском, зокрема за допомогою тепла, рекуперованого нижче за потоком відносно камери згоряння аміаку, з одержанням таким чином кисневмісного газу, що знаходиться під тиском;

(f) необов'язково додаткового нагрівання та/або перегрівання кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, за допомогою одного або більше нагрівачів, виконаних із можливістю рекуперації тепла нижче за потоком відносно камери згоряння аміаку, та

(g) забезпечення розширення кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, зокрема перегрітого кисневмісного газу, у першій турбіні (200), яка, зокрема, з'єднана з генератором (220), для вироблення електричної енергії;

і при цьому спосіб додатково включає стадію одержання аміаку до стадії (a) шляхом каталітичного перетворення H_2 та N_2 у контурі синтезу за способом Габера-Боша, зокрема, у його блоці перетворення з одержанням таким чином потоку продукту, що містить аміак, при цьому азот подають до перетворювача за допомогою лінії подачі азоту, де в щонайменше одній секції лінії подачі азоту азот знаходиться в рідкому стані. У конкретних варіантах здійснення тиск рідкого азоту збільшують, зокрема, із застосуванням криогенного насоса або компресора, зокрема, до тиску, що становить щонайменше 10 бар (абс.), більш конкретно до щонайменше 50 бар (абс.), навіть більш конкретно до щонайменше 100 бар (абс.), навіть ще більш конкретно до щонайменше 150 бар (абс.) або до тиску, що знаходиться в діапазоні від 150 бар (абс.) до 250 бар (абс.), і в конкретних варіантах здійснення потім рідкий N_2 , що знаходиться під тиском, випарюють з одержанням таким чином газоподібного N_2 , що знаходиться під тиском. Газоподібний N_2 , що знаходиться під тиском, змішують зі стисненим H_2 та зі стисненим рециркульованим потоком, що містить N_2 та H_2 , які не прореагували, з утворенням таким чином реакційної суміші, яку подають у блок перетворення в контурі за способом Габера-Боша, зокрема, після попереднього нагрівання, як наприклад, за допомогою тепла, регенерованого нижче за потоком відносно блока перетворення. Потік продукту, що містить аміак, який залишає блок перетворення, подають у сепаратор для відокремлення аміаку, зокрема рідкого аміаку, одержаного за допомогою охолодження потоку продукту, що містить аміак, від H_2 та N_2 , що не прореагували.

У конкретних варіантах здійснення відокремлений аміак додатково випарюють та необов'язково нагрівають або перегрівають, зокрема, за допомогою тепла, регенерованого з контуру синтезу за способом Габера-Боша та/або в способі одержання азотної кислоти. Переважно спосіб додатково включає стадію забезпечення розширення відокремленого аміаку, зокрема перегрітого аміаку, у другій турбіні, зокрема у турбіні високого тиску, яка конкретно під час експлуатації з'єднана з генератором для вироблення електричної енергії. У додаткових переважних варіантах здійснення спосіб додатково включає стадію охолодження та конденсації розширеного аміаку та проходження конденсованого аміаку до системи регенерації енергії на основі циклу Ренкіна з використанням аміаку, при цьому щонайменше частину одержаного аміаку застосовують як робоче текуче середовище, яке подають у камеру згоряння аміаку, та застосовують третю турбіну для забезпечення виконання роботи за допомогою робочого текучого середовища, що містить аміак.

В іншому аспекті даної заявки представлена система для одержання азотної кислоти, зокрема з'єднана під час експлуатації з джерелом відновлюваної енергії та, зокрема, виконана з можливістю здійснення одного або більше варіантів здійснення способу відповідно до даної заявки, при цьому система містить:

- камеру згоряння аміаку, що містить каталізатор, виконану з можливістю каталітичного спалювання горючої суміші, що містить аміак та повітря та/або кисень, за підвищеного тиску, як наприклад, за тиску, що становить від приблизно 5,0 бар (абс.) до 20,0 бар (абс.), з утворенням потоку, що містить оксид азоту;

- лінію подачі кисню, виконану з можливістю подачі кисневмісного текучого середовища, такого як O_2 , повітря або збагачене киснем повітря, у камеру згоряння аміаку;

- лінію подачі аміаку, виконану з можливістю подачі аміаку в камеру згоряння аміаку;

- відвідну лінію для газу, утворюваного внаслідок спалювання аміаку, виконану з можливістю видалення потоку, що містить оксид азоту, із камери згоряння аміаку, у сполученні за текучим середовищем з окиснювальною секцією або блоком окиснення, виконаними з можливістю

окиснення оксиду азоту до діоксиду азоту, при цьому окиснювальна секція, зі свого боку, знаходиться в сполученні за текучим середовищем з абсорбером, виконаним із можливістю поглинання діоксиду азоту у воді з одержанням таким чином азотної кислоти;

5 де лінія подачі кисню включає систему регенерації енергії, де система регенерації енергії у послідовному порядку містить засіб для нагнітання кисневмісного текучого середовища, що знаходиться в рідкому стані, до тиску, що становить щонайменше 10 бар (абс.), конкретно щонайменше 50 бар (абс.), більш конкретно щонайменше 100 бар (абс.), навіть більш конкретно до щонайменше 150 бар (абс.) або до тиску, що знаходиться в діапазоні від 150 бар (абс.) до 250 бар (абс.), такий як криогенний насос; один або більше нагрівачів, виконаних із можливістю 10 випарювання та додаткового нагрівання кисневмісного текучого середовища, що знаходиться під тиском, і першу турбіну, таку як турбіна високого тиску, виконану з можливістю забезпечення розширення кисневмісного текучого середовища (у газоподібній формі), зокрема з'єднану під час експлуатації з генератором, де вихідний отвір турбіни знаходиться у сполученні за текучим середовищем із вхідним отвором камери згоряння аміаку. У конкретних варіантах здійснення 15 перший генератор електрично з'єднаний із блоком електролізу та/або блоком розділення повітря та/або блоком зрідження повітря.

У конкретних варіантах здійснення система одержання азотної кислоти додатково містить систему одержання аміаку, при цьому система одержання аміаку містить контур синтезу за способом Габера-Боша, при цьому контур синтезу за способом Габера-Боша містить вхідний 20 отвір для H_2 ; вхідний отвір для N_2 ; блок перетворення, виконаний із можливістю каталітичного перетворення H_2 та N_2 на аміак, з одержанням таким чином суміші продуктів, що містить аміак, при цьому блок перетворення містить вихідний отвір для суміші продуктів, яка містить аміак; сепаратор, розташований нижче за потоком відносно перетворювача та виконаний із можливістю розділення суміші продуктів, що містить аміак, на потік аміаку та потік, що містить 25 H_2 та N_2 , які не прореагували; засіб для рециркуляції H_2 та N_2 , що не прореагували, та вихідний отвір для аміаку; де вихідний отвір для аміаку знаходиться у сполученні за текучим середовищем із лінією подачі аміаку для одержання азотної кислоти. У конкретних варіантах здійснення система одержання аміаку додатково містить систему регенерації енергії на основі циклу Ренкіна з використанням аміаку, що знаходиться в сполученні за текучим середовищем із 30 вихідним отвором для аміаку, яка містить третю турбіну, виконану з можливістю забезпечення здійснення роботи за допомогою робочого текучого середовища, що містить аміак; теплообмінник, конденсатор аміаку, сполучений із тепловою взаємодією з лінією подачі N_2 , зокрема, сполучений із тепловою взаємодією з лінією подачі N_2 нижче за потоком відносно засобу для нагнітання рідкого N_2 в лінію подачі N_2 ; циркуляційний насос для аміаку та вихідний 35 отвір для аміаку, що знаходиться в сполученні за текучим середовищем із лінією подачі аміаку.

Система згідно з даним винаходом може містити один або більше додаткових блоків.

У певних варіантах здійснення система одержання азотної кислоти додатково містить блок електролізу, виконаний із можливістю розкладання води на H_2 та O_2 за допомогою електричного струму, зокрема, із відновлюваних джерел, при цьому блок електролізу містить вхідний отвір 40 для води та вихідний отвір для H_2 та вихідний отвір для O_2 ; при цьому вихідний отвір для H_2 блока електролізу заходиться в сполученні за текучим середовищем із вхідним отвором H_2 контуру синтезу за способом Габера-Боша.

У певних варіантах здійснення система одержання азотної кислоти додатково містить блок зрідження повітря, виконаний із можливістю перетворення газоподібного повітря на рідке 45 повітря, який знаходиться у сполученні за текучим середовищем із лінією подачі кисню.

У певних варіантах здійснення система одержання азотної кислоти додатково містить блок розділення повітря, виконаний із можливістю розділення повітря на O_2 та N_2 , зокрема на рідкий 50 O_2 та рідкий N_2 , при цьому блок розділення повітря містить вихідний отвір для O_2 та вихідний отвір для N_2 , де вихідний отвір для O_2 блока розділення повітря знаходиться у сполученні за текучим середовищем із лінією подачі кисню, і, зокрема, де вихідний отвір для N_2 блока розділення повітря знаходиться у сполученні за текучим середовищем із вхідним отвором для N_2 контуру синтезу за способом Габера-Боша.

У певних варіантах здійснення система одержання азотної кислоти додатково містить один або більше теплообмінників, виконаних із можливістю захоплення відпрацьованого тепла з 55 процесу спалювання аміаку, та конденсатор, призначений для конденсації води у газі, утворюваному внаслідок спалювання аміаку, де один або більше теплообмінників та конденсатор знаходяться нижче за потоком відносно камери згоряння аміаку та вище за потоком від блока абсорбера, і при цьому один або більше теплообмінників та конденсатор, зокрема, сполучені з тепловою взаємодією з нагрівачами, розташованими на лінії подачі кисню.

60 У певних варіантах здійснення система одержання азотної кислоти додатково містить блок

змішування, що знаходиться в сполученні за текучим середовищем та з'єднаний із лінією подачі аміаку та лінією кисневмісного текучого середовища, при цьому блок змішування містить ємність, трубу або реактор, виконані з можливістю перемішування кисневмісного текучого середовища та аміаку з утворенням горючої суміші до введення горючої суміші у камеру згоряння аміаку. У конкретних варіантах здійснення теплообмінник розташований між блоком змішування та камерою згоряння аміаку й виконаний із можливістю нагрівання горючої суміші, як наприклад, із застосуванням тепла, регенерованого з конденсатора.

У певних варіантах здійснення система одержання азотної кислоти додатково містить засіб нагнітання рідкого N₂ у лінії подачі N₂ до тиску, що становить щонайменше 100 бар (абс.), конкретно щонайменше 150 бар (абс.), більш конкретно до тиску від 150 бар (абс.) до 250 бар (абс.), такий як криогенний насос. Зокрема, система додатково містить засіб теплообміну між рідким азотом, що знаходиться під тиском, та системою регенерації енергії на основі циклу Ренкіна з використанням аміаку.

У певних варіантах здійснення система одержання азотної кислоти додатково містить другу турбіну, виконану з можливістю забезпечення розширення потоку аміаку, відокремленого в сепараторі, зокрема з'єднану під час експлуатації з генератором.

У даній заявці також представлено застосування системи відповідно до варіанта здійснення даної заявки, призначеної для здійснення способу згідно з одним варіантом здійснення даної заявки.

Стислий опис графічних матеріалів

Наступний опис фігур із конкретних варіантів здійснення, описаних у даному документі, наданий лише як приклад та не призначений для обмеження даного пояснення, його застосування або використання. У графічних матеріалах ідентичні посилальні позиції стосуються таких самих або подібних частин і ознак.

Фіг. 1А та 1В. Схематична блок-схема, яка відображає варіант здійснення інтегрованого одержання аміаку – азотної кислоти, демонструючи інтеграцію матеріалу та енергії (електричної енергії).

На фіг. 2А продемонстровано варіант здійснення способу виготовлення азотної кислоти, представленого в даному документі, де рідке повітря/кисень нагнітали, нагрівали/випарювали та забезпечували їх розширення у турбіні, до змішування з аміаком і подачі суміші аміаку та повітря/кисню до камери згоряння. На фіг. 2В продемонстровано варіант здійснення способу виготовлення азотної кислоти, представленого у даному документі, додатково до демонстрації того, що аміак одержують із водню, виробленого за допомогою електролізу.

На фіг. 3 продемонстровано варіант здійснення об'єднаного способу виготовлення аміаку й азотної кислоти, представленого в даному документі, де потік рідкого N₂, що знаходиться під тиском, застосовують в одержанні аміаку.

Наступні посилальні позиції застосовують в описі та на фігурах.

100	Камера згоряння аміаку
120	Лінія подачі кисню
130	Лінія подачі аміаку
131	Буферний резервуар для аміаку
140	Нагрівач
150	Блок змішування
160	Відвідна лінія для газу, утворюваного внаслідок спалювання аміаку
161	Теплообмінник
162	Конденсатор
200	Перша турбіна (турбіна для кисневмісного текучого середовища, що знаходиться під тиском)
220	Генератор
400	Модуль окиснення
500	Абсорбер
510	Труба для концентрованої азотної кислоти
700	Контур за способом Габера-Боша
710	Вхідний отвір для N ₂

711	Компресор для N ₂
720	Вхідний отвір для N ₂
721	Буферний резервуар для N ₂
722	Кріогенний насос
730	Блок перетворення
740	Сепаратор
750	Вихідний отвір для NH ₃
760	Рекомпресор
770	Друга турбіна (турбіна для аміаку, що знаходиться під тиском)
771	Генератор
780	Система регенерації енергії на основі циклу Ренкіна з використанням аміаку
781	Третя турбіна
782	Генератор
783	Циркуляційний насос для аміаку
790	Попередній нагрівач
791	Теплообмінник (у котлі для аміаку)
792	Теплообмінник, який використовує відпрацьоване тепло
793	Теплообмінник (у додатковому нагрівачі аміаку)
794	Теплообмінник, який використовує відпрацьоване тепло
795	Теплообмінник із повітряним охолодженням
796	Теплообмінник, який використовує відпрацьоване тепло
797	Теплообмінник у конденсаторі для аміаку
800	Блок електролізу
810	Вихідний отвір для N ₂
900	Блок сепаратора повітря
910	Вихідний отвір для N ₂
920	Вихідний отвір для O ₂

Докладний опис винаходу

Перед описом систем і способів за даним винаходом слід розуміти, що вони не обмежені конкретними описаними системами та способами або комбінаціями, оскільки такі системи та способи й комбінації можуть, звичайно, варіюватися. Слід також зрозуміти, що термінологія, застосовувана в даному документі, не призначена для обмеження, оскільки обсяг буде обмежуватися лише доданою формулою винаходу.

Застосовувані в даному документі форми однини включають позначувані об'єкти як у формі однини, так і у формі множині, якщо контекст явно не передбачає інше.

Терміни "що містить", "містить" та "який складається із", застосовувані в даному документі, є синонімами до "включаючи", "включає" або "що вміщує", "вміщує" та є всеохопними або відкритими та не виключають додаткові не наведені члени, елементи або стадії способу. Буде зрозуміло, що терміни "що містить", "містить" та "який складається із", застосовувані в даному документі, включають терміни "що складається з", "складається" та "складається з".

Наведення числових діапазонів за допомогою граничних значень включає всі прості та дробові числа, які потрапляють усередину відповідних діапазонів, а також процитовані граничні значення.

Термін "приблизно" або "близько", застосовуваний у даному документі, у разі посилання на вимірюване значення, таке як параметр, кількість, тривалість у часі тощо, означає, що він буде охоплювати варіації +/-10 % або менше, зокрема +/-5 % або менше, більш конкретно +/-1 % або менше та ще більш конкретно +/-0,1 % або менше від указанного значення, доки такі варіації є придатними для здійснення у розкритих аспектах і варіантах здійснення. Слід розуміти, що значення, якого стосується модифікатор "приблизно" або "близько", саме також спеціально та

конкретно розкриті.

При цьому терміни "один або більше" або "щонайменше один", як наприклад, один або більше або щонайменше один член(-и) із групи членів, є самі по собі зрозумілими, як додатковий приклад термін охоплює, між іншим, посилання на будь-який один із членів або 5 будь-які два або більше з членів, такий як будь-які ≥ 3 , ≥ 4 , ≥ 5 , ≥ 6 або ≥ 7 тощо з членів і до всіх членів.

Усі посилання, процитовані в даному описі, також включені в даний документ за допомогою посилання у їхній повноті. Зокрема, конкретно указані відомості з усіх посилань у даному документі включені за допомогою посилання.

10 Якщо не вказано інше, усі терміни, застосовувані в даному документі, включаючи технічні та наукові терміни, мають значення, що зазвичай є зрозумілим фахівцю в даній галузі. Як додаткова настанова включені визначення термінів для ліпшого розуміння ідеї, описаної в даному документі.

15 У наступних абзацах різні аспекти визначені більш докладно. Кожен аспект, визначений таким чином, може бути об'єднаний з будь-яким іншим аспектом або аспектами, якщо явно не вказано протилежне. Зокрема, будь-яка ознака, вказана як конкретна або переважна, може бути об'єднана з будь-якою іншою ознакою або ознаками, вказаними як конкретні або переважні.

20 Посилання у всьому даному описі на "один варіант здійснення" або "варіант здійснення" означає, що конкретна ознака, структура або характеристика, описані у зв'язку з варіантом здійснення, включені в щонайменше один варіант здійснення, описаний у даному документі. Таким чином, фрази "в одному варіанті здійснення" або "у варіанті здійснення", що з'являються у різних місцях у всьому даному описі, необов'язково, але можуть посилатися всі на той самий варіант здійснення. Крім того, конкретні ознаки, структури або характеристики можуть бути об'єднані будь-яким придатним способом, як буде зрозуміло фахівцю в даній галузі з даного розкриття, в одному або більше варіантах здійснення. Крім того, у той час як деякі варіанти здійснення, описані в даному документі, включають деякі, але не інші ознаки, включені в інших варіантах здійснення, передбачається, що комбінації ознак різних варіантів здійснення знаходяться в межах обсягу даного винаходу та утворюють різні варіанти здійснення, як буде зрозуміло фахівцю в даній галузі. Наприклад, у формулі винаходу та/або пронумерованих реченнях, указаних у даному документі, будь-який з указаних варіантів здійснення може використовуватися в будь-якій комбінації.

30 В описі даного винаходу посилання зроблені на супутні графічні матеріали, які утворюють частину даного документа та в яких показано за допомогою ілюстрації тільки конкретні варіанти здійснення, в яких даний винахід може бути втілений на практиці. Номери позицій, що знаходяться в дужках або виділені жирним, які прив'язані до відповідних елементів, лише наводять ці елементи як приклад, і це не призначено для обмеження відповідних елементів. Слід розуміти, що можна застосувати інші варіанти здійснення та можна здійснити структурні або логічні зміни без відступу від обсягу даного винаходу. Наступний докладний опис, таким чином, не слід наділяти обмежувальним значенням, та обсяг даного винаходу визначений 40 доданою формулою винаходу.

Значення тиску, представлені в даному документі, виражені як абсолютні значення тиску. Відповідно, коли в даному розкритті застосовують одиницю вимірювання "бар (абс.)», позначають абсолютний тиск. Інакше кажучи, одиниця вимірювання "бар (абс.)», застосовувана в даному документі, стосується тиску, включаючи атмосферний тиск.

45 Автори даного винаходу розробили нову концепцію для способу та системи одержання азотної кислоти з високими енергоефективністю та ефективністю з матеріального погляду, зокрема способу та системи одержання азотної кислоти з високою енергоефективністю та ефективністю з матеріального погляду, які об'єднані та інтегровані зі способом та системою одержання аміаку, що щонайменше частково долає вказані вище недоліки із застосуванням відновлюваних джерел енергії. Зокрема, спосіб та система одержання азотної кислоти, як докладно описано в даному документі, виконані з можливістю регенерації високої кількості енергії із спалювання й окиснення аміаку та, зокрема, також із окиснення NO, конденсації водяної пари (яка відповідає приблизно третині тепла, вивільненого під час згорання) та поглинання HNO₃, зокрема, у формі електричної енергії, як, наприклад, що має термічну ефективність, яка становить більше ніж 20 %, як наприклад, більше ніж 25 % або 30 %, із підтриманням високого ступеня одержання азотної кислоти під час перетворення аміаку на азотну кислоту. Переважно вироблена електрична енергія повертається для використання в способі та системі одержання аміаку, зокрема одержання аміаку на основі електролізу.

60 Загалом нова концепція для способу та системи одержання азотної кислоти з високою енергоефективністю та ефективністю з матеріального погляду може передбачати один або

більше заходів, спрямованих на підвищену регенерацію енергії та вироблення електричної енергії, заходів, безпосередньо пов'язаних із здійсненням заходів, спрямованих на регенерацію енергії та вироблення електричної енергії в способі одержання азотної кислоти або об'єднаному, інтегрованому способі одержання аміаку-азотної кислоти та/або заходів, 5
призначених для інтеграції електролізерів, контуру за способом Габера-Боша/одержання аміаку та одержання азотної кислоти. У даній заявці передбачені декілька заходів, що сприяють регенерації енергії або енергоефективності, які можуть бути застосовані окремо або паралельно для досягнення оптимальної енергетичної ефективності та підвищеної регенерації енергії, включаючи підвищену енергетичну ефективність та/або регенерацію зі способу 10
одержання аміаку та/або азотної кислоти із застосуванням зріджених газів, що знаходяться під тиском (наприклад, повітря, N₂).

Загалом у даному документі описані спосіб і система для одержання азотної кислоти з підвищеною регенерацією енергії та/або підвищеною енергоефективністю, зокрема, шляхом підвищеного ступеня інтеграції, яка базується на продуктах та енергії, початкових стадій 15
способу/системи одержання аміаку та кінцевих стадій способу/системи одержання азотної кислоти, як, наприклад, шляхом надання енергії, зокрема електричної енергії, регенованої під час одержання азотної кислоти, для початкових стадій способу/систем та шляхом надання продуктів, наприклад кисню, аміаку, із початкових стадій одержання аміаку для одержання азотної кислоти, зокрема, в комбінації із застосуванням нових умов експлуатації в азотній 20
кислоті та/або способі або системі одержання аміаку, як, наприклад, надання або перетворення кисневмісного текучого середовища та/або потоку N₂ на рідкий стан і потім нагнітання рідких потоків, зокрема, із наступним додатковим нагріванням рідкого потоку, що знаходиться під тиском, із випарюванням і перегріванням потоку рідини, що знаходиться під тиском.

На фіг. 1, що ілюструє головну концепцію, описану в даному документі, показаний варіант здійснення інтегрованого одержання аміаку та азотної кислоти. На відміну від способу одержання, що розглядається в даному документі, в якому інтегровані матеріал і потік енергії, у традиційному способі одержання азотної кислоти з рівня техніки, ранні стадії одержання аміаку зазвичай відокремлені від пізніх стадій одержання азотної кислоти із невеликою інтеграцією: обидва способи були створені та оптимізовані для того, щоб проводитися та функціонувати, по 25
суті, окремо.

Як показано на фіг. 1А, енергію/електричну енергію з відновлюваних джерел подають до блока електролізу та блока розділення повітря для одержання водню та азоту відповідно. Крім того, як блок електролізу, так і блок розділення повітря виробляють кисень. Як водень, так і азот подають у блок одержання аміаку, як наприклад, контур, у якому здійснюється спосіб Габера-Боша. Одержаний аміак потім подають у спосіб одержання азотної кислоти, де його спалюють із використанням кисню та перетворюють на азотну кислоту. 35

Даний кисень можна подавати за допомогою повітря, але переважно застосовують кисень, вироблений за допомогою блока електролізу та/або блока розділення повітря, збільшуючи таким чином інтенсивність реакцій під час здійснення способу одержання азотної кислоти. У результаті спалювання аміаку виробляється велика кількість тепла, яка перетворюється на електричну енергію, на основі способу одержання азотної кислоти із заходами, спрямованими на підвищену регенерацію енергії, як описано в даному документі. Вироблену електричну енергію повертають назад у способи одержання аміаку, що потребують електричної енергії, зокрема до електролізу та розділення повітря. 40

Дана концепція також додатково проілюстрована на фіг. 1В, яка демонструє варіант здійснення інтегрованого одержання аміаку та азотної кислоти за даною заявкою, при цьому варіант здійснення дає змогу щонайменше частково вирішити проблеми, пов'язані з переривчастістю відновлюваної енергії. 45

Енергію/електричну енергію з відновлюваних джерел подають до блока електролізу, блока зрідження повітря та блока розділення повітря. Рідке повітря (або кисень), N₂ та аміак можна одержати та зберігати, доки існує надлишок відновлюваної енергії. Наприклад, рідке повітря можна зберігати у великих ємностях за -190 °С та приблизно 5 бар, у такий спосіб сприяючи подоланню проблем, пов'язаних із переривчастістю подання відновлюваної енергії. Рідке повітря можна використати в блоці розділення повітря з виробленням рідкого N₂ (для одержання аміаку) та O₂ (наприклад, для спалювання/окиснення аміаку в установці, що 55
виробляє азотну кислоту). Переважно як рідкий азот, так і кисень можна легко зберігати. Забезпечують подачу водню та азоту в систему одержання аміаку, та одержаний аміак також можна зберігати, і, таким чином, він виконує функцію проміжного середовища для зберігання енергії: спалювання аміаку продукує велику кількість тепла, яке може бути перетворене на електричну енергію, як описано в даному документі. Даний спосіб є особливо доречним, якщо 60

відновлювана енергія відсутня або обмежена певною мірою. Як додатково докладно описано в даному документі, застосування рідкого повітря або рідкого кисню (в одержанні азотної кислоти) та рідкого N_2 (в одержанні аміаку) сприяє енергоефективності та регенерації енергії у способі, описаному в даній заявці.

5 Різні варіанти здійснення способу та системи одержання азотної кислоти, описані в даному документі, зокрема об'єднаних та інтегрованих способу та системи одержання аміаку та азотної кислоти, представляють численні переваги.

Способи та системи, представлені в даному документі, ефективно використовують енергію, що зберігається в аміаку. Зокрема, завдяки енергії, регенованої під час одержання азотної
10 кислоти у результаті спалювання аміаку, зокрема у формі електричної енергії, яка повертається для одержання аміаку на основі електролізу (або інших застосовуваних вище за потоком процесів під час одержання азотної кислоти, наприклад зрідження повітря), робиться внесок для подолання переривчастості подачі енергії у разі застосування відновлюваних джерел енергії. У деяких варіантах здійснення аміак, одержаний у секції одержання аміаку об'єданого та інтегрованого способу одержання аміаку та азотної кислоти, може розглядатися як проміжне
15 середовище для зберігання енергії, наче батарея, що має застосовуватися в разі, якщо не є доступною достатня кількість відновлюваної енергії, для підтримки нормального використання електролізера та контура за способом Габера-Боша із застосуванням аміаку. Завдяки горінню аміаку, таким чином, одночасно з одержанням азотної кислоти забезпечується електрична
20 енергія для початкових стадій одержання аміаку.

Це дає змогу будувати хімічні установки невеликого масштабу для одержання добрив на основі аміаку, азотної кислоти та/або нітрату, які можуть бути близько розташовані до ринку. Так само можна подолати високі витрати на транспортування та обробку, пов'язані з установками великого масштабу, які зазвичай розташовані віддалено від кінцевих ринків. Електрифікація
25 одержання H_2 за допомогою електролізерів може робити внесок для забезпечення появи таких гнучких установок меншого масштабу завдяки спрощенню технології одержання аміаку та здобуттю переваг із переривчастої відновлюваної дешевої енергії.

У даній заявці загалом представлені спосіб та система для одержання азотної кислоти з підвищеною енергетичною ефективністю, зокрема інтегровані та об'єдані спосіб і система
30 одержання аміаку та азотної кислоти з підвищеною енергоефективністю, що передбачають застосування потоків рідкого повітря, кисню, азоту та/або аміаку, де, зокрема, рідкі потоки нагнітають у рідкому стані та потім нагрівають із випарюванням рідини.

Застосування зріджених газів, як передбачається в даному документі, у різний спосіб робить внесок до енергоефективності та регенерації енергії у способі одержання азотної кислоти. Це є особливо переважним, коли гази є зрідженими із застосуванням відновлюваної енергії, зокрема
35 коли відновлювана енергія є широко доступною. Стискання або нагнітання рідини значною мірою потребує менше енергії, ніж нагнітання газу до такого самого ступеня. Зокрема, застосування рідкого кисню, таким чином, дає змогу регенерувати значну кількість енергії (наприклад, приблизно $2,4 \text{ мВт/т}_{NH_3}$).

Крім того, рідину, що знаходиться під тиском, можна випарювати та додатково нагрівати із застосуванням відпрацьованого тепла низької якості, виробленого у способі одержання азотної
40 кислоти, як наприклад, тепло, регеноване в секціях окиснення, конденсації та поглинання у способі одержання азотної кислоти. Одержаний таким чином газ, що знаходиться під тиском та є нагрітим, може бути потім розширеним у турбіні, яка, зокрема, під час експлуатації з'єднана з турбіною для вироблення електричної енергії. Так само тепло низької якості у способі одержання азотної кислоти можна поліпшити до електричної енергії.

У першому аспекті даної заявки представлений спосіб одержання азотної кислоти, який включає стадії

(i) необов'язково подачі H_2 та N_2 до блока одержання аміаку або контуру синтезу за
50 способом Габера-Боша та вироблення аміаку в ньому;

(ii) подачі горючої суміші, що містить аміак та кисневмісне текуче середовище, як, наприклад, повітря або кисень, до камери згоряння аміаку та каталітичного спалювання аміаку в камері згоряння аміаку із виробленням таким чином потоку газу, утвореного унаслідок спалювання аміаку, який містить оксид азоту;

(iii) окиснення оксиду азоту в потоці газу, утвореному внаслідок спалювання аміаку, як, наприклад, у спеціально призначеному блоці окиснення, з одержанням таким чином потоку, що містить діоксид азоту;

(iv) поглинання діоксиду азоту у водному розчині в абсорбері з утворенням таким чином водного потоку, що містить азотну кислоту;

60 де спосіб додатково включає стадію подачі або перетворення N_2 та/або кисневмісного

текучого середовища, такого як повітря, збагачене киснем повітря або кисень у рідкому стані, до їх уведення в контур за способом Габера-Боша та камеру згоряння аміаку відповідно.

Спосіб за даною заявкою додатково включає стадії (v) нагнітання рідкого N_2 зі стадії (i) та/або рідкого кисневмісного текучого середовища зі стадії (ii) з одержанням таким чином

5 одного або більше рідких потоків, що знаходяться під тиском; і
(vi) подальшого випарювання одного або більше рідких потоків, що знаходяться під тиском, з одержанням таким чином одного або більше випарених потоків, що знаходяться під тиском (тобто в газоподібному стані), та необов'язково додаткового нагрівання одного або більше випарених потоків, що знаходяться під тиском, зокрема, із застосуванням регенованого тепла

10 зі способу одержання аміаку та/або азотної кислоти, такого як способу спалювання аміаку, блока окиснення та/або абсорбера азотної кислоти, за допомогою одного або більше теплообмінників;
(vii) забезпечення розширення нагрітих випарених потоків, що знаходяться під тиском, у турбіні, яка, зокрема, під час експлуатації з'єднана з генератором для вироблення електричної енергії. У конкретних варіантах здійснення нагріті випарені N_2 та/або кисневмісний газ, що знаходяться під тиском, розширюють у турбіні, яка, зокрема, під час експлуатації з'єднана з генератором для вироблення електричної енергії, до введення N_2 у спосіб Габера-Боша або введення повітря або кисню в камеру згоряння аміаку. У певних варіантах здійснення розширення нагрітих випарених потоків, що знаходяться під тиском, зокрема забезпечення розширення нагрітого випареного кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, відбувається за дві або більше стадії.

Переважно в даному способі відпрацьоване тепло, зокрема відпрацьоване тепло низької якості, вироблене в способі одержання азотної кислоти (під час спалювання аміаку, окиснення NO та/або поглинання NO_2 у воді) та одержання аміаку (наприклад, відпрацьоване тепло, вироблене за допомогою блока електролізу), може бути ефективно регеноване та перетворене на електричну енергію завдяки високій різниці температур між відпрацьованим теплом (низької якості) та зрідженими газами, що знаходяться під тиском. Застосований у даному документі термін "відпрацьоване тепло низької якості" стосується тепла за температури нижче ніж $100\text{ }^\circ\text{C}$. Переважно вироблена електрична енергія може бути, наприклад, щонайменше частково застосована для роботи блока електролізу та/або блока розділення повітря. Зріджені гази можуть бути застосовані під час одержання азотної кислоти з аміаку та/або одержання аміаку з H_2 та N_2 .

Відповідно, певні варіанти здійснення у даному аспекті, передбаченому в даному документі, загалом стосуються способу або системи одержання азотної кислоти, де рідке кисневмісне текуче середовище, таке як рідке повітря або рідке збагачене киснем повітря, застосовують для підвищення енергоефективності та регенерації енергії під час одержання азотної кислоти. Такий спосіб одержання азотної кислоти включає стадії

(i) подачі рідкого кисневмісного текучого середовища (зрідженого кисневмісного газу), зокрема, за тиску навколишнього середовища та подальшого нагнітання рідкого кисневмісного текучого середовища до тиску, що становить щонайменше 50 бар (абс.), як наприклад, щонайменше 100 або 150 бар (абс.), зокрема до тиску, що становить від 150 до 250 бар (абс.), як наприклад, приблизно 200 бар (абс.);

(ii) випарювання рідкого кисневмісного текучого середовища, що знаходиться під тиском, шляхом нагрівання рідкого кисневмісного текучого середовища, що знаходиться під тиском, за допомогою відпрацьованого тепла низької якості, одержуваного нижче за потоком відносно камери згоряння аміаку зі способу одержання азотної кислоти, та додаткового нагрівання/перегрівання випареного кисневмісного текучого середовища, що знаходиться під тиском, зокрема, за допомогою відпрацьованого тепла зі способу одержання азотної кислоти;

(iii) забезпечення розширення гарячого газоподібного кисневмісного текучого середовища, що знаходиться під тиском, у турбіні з одержанням таким чином охолодженого кисневмісного потоку текучого середовища, який характеризується тиском, що становить від 10 до 30 бар (абс.), та температурою, що становить від $-180\text{ }^\circ\text{C}$ до $25\text{ }^\circ\text{C}$, та, зокрема, енергії, яка регенується, тобто електричної енергії, за допомогою з'єднання під час експлуатації турбіни з генератором;

(iv) необов'язкового повторного нагрівання охолодженого кисневмісного потоку текучого середовища за допомогою потоків відпрацьованого тепла до температури, що становить від $25\text{ }^\circ\text{C}$ до не більше ніж $300\text{ }^\circ\text{C}$ або навіть більше ніж $300\text{ }^\circ\text{C}$, змішування нагрітого кисневмісного текучого середовища з аміаком і подачі суміші аміак/кисневмісне текуче середовище у камеру згоряння аміаку;

60 (v) каталітичного спалювання суміші аміак/кисневмісне текуче середовище в камері

згоряння аміаку з утворенням таким чином потоку, що містить оксид азоту, із подальшим окисненням оксиду азоту до діоксиду азоту та поглинанням діоксиду азоту у воді з одержанням таким чином азотної кислоти.

5 У конкретних варіантах здійснення кисневмісне текуче середовище являє собою повітря або збагачене киснем повітря.

У конкретних варіантах здійснення газу, утворювані внаслідок спалювання, які залишають камеру згоряння аміаку, піддають одній або більше зі стадій охолодження перед стадіями окиснення та/або поглинання та тепло, видалене на таких стадіях охолодження перед стадіями окиснення та поглинання, застосовують для забезпечення подачі тепла до потоків кисневмісного текучого середовища зі стадії (ii) та/або (iv). Відповідно, у конкретних варіантах здійснення стадія (v) додатково включає стадію регенерації тепла, виробленого внаслідок спалювання аміаку, спалювання NO, поглинання NO₂ та/або конденсації за допомогою декількох блоків охолодження (тобто теплообмінників, виконаних з можливістю захоплення тепла в потоці із способу одержання азотної кислоти, такого як потік газу, утворюваний внаслідок спалювання аміаку, потік газу, що містить діоксид азоту, та потоки газу на стадії поглинання з охолодженням таким чином та/або конденсацією потоку із способу одержання азотної кислоти), та подачі цього тепла до потоків кисневмісного текучого середовища зі стадії (ii) та (iv) для випарювання рідкого кисню, повітря, збагаченого киснем, або повітря, що знаходяться під тиском, та для нагрівання або перегрівання випарених рідкого кисню, повітря, збагаченого киснем, або повітря, що знаходяться під тиском, за допомогою декількох нагрівальних блоків (тобто теплообмінників, виконаних із можливістю подачі тепла до потоку повітря). Зрозуміло, що блок охолодження у способі одержання азотної кислоти, таким чином, сполучений із тепловою взаємодією з блоком нагрівання, який контактує з потоком за способом одержання кисневмісного текучого середовища (повітря). Зокрема, блок охолодження, задіяний на етапі охолодження способу одержання азотної кислоти (наприклад, із температурами від 20 °C до 100 °C, як наприклад, на стадії конденсації або поглинання, або після конденсатора – який генерує відпрацьоване тепло низької якості), сполучений із тепловою взаємодією з блоком нагрівання, який контактує з холодним потоком кисневмісного текучого середовища (повітрям) (наприклад, для випарювання рідкого потоку повітря, що знаходиться під тиском); та/або блок охолодження, задіяний на етапі нагрівання в способі одержання азотної кислоти (наприклад, після камери згоряння аміаку або окиснювальної секції), сполучений із тепловою взаємодією з блоком нагрівання, який контактує з теплим або гарячим потоком кисневмісного текучого середовища (повітрям) (наприклад, для нагрівання та перегрівання випареного рідкого потоку повітря, що знаходиться під тиском).

35 Зрозуміло, що стадія (v) може відповідати традиційній технологічній схемі одержання азотної кислоти, як вказано в секції "Рівень техніки", тобто передбачати розширювальний прилад для відхідного газу та котел для вилучення тепла з потоку, яке можна згодом щонайменше частково використовувати для вироблення електричної енергії в циклі Ренкіна з використанням пари.

40 У додаткових варіантах здійснення спосіб та систему одержання азотної кислоти, передбачені у даному документі, можна інтегрувати зі способом або системою одержання рідкого повітря для зниження потреби в енергії у способі або системі зрідження повітря.

Як уже вказано вище, регенерація енергії може бути також здійснена в одержанні аміаку з H₂ та N₂ із застосуванням зріджених газів та нагнітання рідкого текучого середовища.

45 Відповідно, певні варіанти здійснення у даному аспекті заявки за даним винаходом загалом стосуються способу або системи одержання аміаку, зокрема об'єднаних способу або системи одержання аміаку та азотної кислоти, де рідкий азот застосовують для підвищення енергоефективності та регенерації енергії під час одержання аміаку та/або азотної кислоти.

Такий спосіб одержання аміаку та, зокрема, азотної кислоти включає стадії

50 (i) подачі рідкого азоту, зокрема, за тиску навколишнього середовища та подальшого нагнітання рідкого азоту до тиску, що становить щонайменше 50 бар (абс.), як, наприклад, щонайменше 100 або 150 бар (абс.), зокрема до тиску, що становить від 150 до 250 бар (абс.), як, наприклад, приблизно 200 бар (абс.);

55 (ii) випарювання рідкого азоту, що знаходиться під тиском, шляхом нагрівання рідкого азоту, що знаходиться під тиском, як наприклад, у конденсаторі аміаку. Таким чином зрозуміло, що криогенний азот застосовують для конденсації та регенерації аміаку, одержаного в додаткових стадіях способу;

60 (iii) змішування потоку азоту зі стадії (ii) із газоподібним воднем, який знаходився під тиском, та зі стисненим рециркульованим потоком, при цьому рециркульований потік виробляється блоком сепаратора, розташованим після реактора для перетворення аміаку, з одержанням

таким чином газоподібної реакційної суміші та попереднього нагрівання газоподібної реакційної суміші;

(iv) подачі газоподібної реакційної суміші зі стадії (iii) до реактора для перетворення аміаку з утворенням частини контуру синтезу за способом Габера-Боша та вироблення потоку продукту, який містить аміак, у перетворювачі аміаку;

(v) вилучення тепла з потоку газу, що містить аміак, за допомогою одного або більше теплообмінників і відокремлення аміаку від азоту та водню, що не прореагували, у блоці сепаратора з одержанням таким чином рециркульованого потоку, що містить азот і водень, та потоку аміаку, що містить рідкий аміак, де потік рідкого аміаку застосовують для регенерації тепла зі способу за допомогою одного або більше теплообмінників та однієї або більше турбін, які, зокрема, під час експлуатації з'єднані з генератором.

У конкретних варіантах здійснення потік рідкого аміаку щонайменше частково проходить до циклу Ренкіна з використанням аміаку або системи регенерації енергії на основі циклу Ренкіна з використанням аміаку. Переважно цикл Ренкіна з використанням аміаку на основі системи регенерації енергії передбачає конденсатор аміаку, пристосований до теплообміну з рідким азотом, що знаходиться під тиском, як докладно описано на стадії (ii).

Переважно шляхом здійснення циклу Ренкіна з використанням аміаку в способі одержання аміаку можна замінити цикл Ренкіна з використанням пари зі зменшенням таким чином складності та витрат на додаткову парову систему. Крім того, цикл Ренкіна з використанням аміаку, за якого застосовують аміак як робоче текуче середовище, є більш ефективним у захопленні тепла низької якості через нижчу точку кипіння аміаку. Зрозуміло, що застосування циклу Ренкіна з використанням аміаку не обмежується способом одержання аміаку, але може використовуватися більше широко в повному способі. Він може використовуватися для захоплення тепла низької якості з різних джерел, які знаходяться близько до цілого способу, як, наприклад, з електролізерів, тепла, що залишається в способі одержання азотної кислоти, та компресорів. Енергія, регенована в цьому разі, може використовуватися для, наприклад, забезпечення електричної енергії для електролізера та/або енергозатратних стадій способів одержання аміаку або азотної кислоти.

В іншому аспекті даної заявки представлена система одержання азотної кислоти, виконана з можливістю здійснення способу одержання азотної кислоти за даним винаходом, при цьому система містить

- камеру згоряння аміаку, що містить каталізатор, виконану з можливістю каталітичного спалювання горючої суміші, що містить аміак та повітря та/або кисень, за підвищеного тиску з утворенням потоку, що містить оксид азоту;

- лінію подачі кисню, виконану з можливістю подачі кисневмісного текучого середовища, такого як O_2 , повітря або збагачене киснем повітря, у камеру згоряння аміаку;

- лінію подачі аміаку, виконану з можливістю подачі аміаку в камеру згоряння аміаку;

- відвідну лінію для газу, утворюваного внаслідок спалювання аміаку, виконану з можливістю видалення потоку, що містить оксид азоту, із камери згоряння аміаку, у сполученні за текучим середовищем через окиснювальну секцію або блок окиснення, виконані з можливістю окиснення оксиду азоту до діоксиду азоту, з абсорбером, виконаним із можливістю поглинання діоксиду азоту у воді з одержанням таким чином азотної кислоти;

де лінія подачі кисню передбачає систему регенерації енергії, де система регенерації енергії у послідовному порядку містить засіб для нагнітання кисневмісного текучого середовища, що знаходиться в рідкому стані, такий як криогенний насос; один або більше нагрівачів, виконаних із можливістю випарювання та додаткового нагрівання кисневмісного текучого середовища, що знаходиться під тиском, і першу турбіну, таку як турбіна високого тиску, виконану з можливістю забезпечення розширення кисневмісного текучого середовища (у газоподібній формі), зокрема під час експлуатації з'єднану з генератором, де вихідний отвір турбіни знаходиться у сполученні за текучим середовищем із камерою згоряння аміаку.

У конкретних варіантах здійснення система одержання азотної кислоти додатково містить систему одержання аміаку, при цьому система одержання аміаку містить контур синтезу за способом Габера-Боша, при цьому контур синтезу за способом Габера-Боша містить вхідний отвір для H_2 ; вхідний отвір для N_2 ; блок перетворення, виконаний із можливістю каталітичного перетворення H_2 та N_2 на аміак, з одержанням таким чином суміші продуктів, що містить аміак, при цьому блок перетворення містить вихідний отвір для суміші продуктів, яка містить аміак; сепаратор, розташований нижче за потоком відносно перетворювача та виконаний із можливістю розділення суміші продуктів, що містить аміак, на потік аміаку та потік, що містить H_2 та N_2 , які не прореагували; засіб для рециркуляції H_2 та N_2 , що не прореагували, та вихідний отвір для аміаку; де вихідний отвір для аміаку знаходиться у сполученні за текучим

середовищем із лінією подачі аміаку. У конкретних варіантах здійснення система одержання аміаку додатково містить систему регенерації енергії на основі циклу Ренкіна з використанням аміаку, що знаходиться в сполученні за текучим середовищем із вихідним отвором для аміаку, яка містить третю турбіну, виконану з можливістю забезпечення здійснення роботи за допомогою робочого текучого середовища, що містить аміак; теплообмінник, конденсатор аміаку, сполучений із тепловою взаємодією з лінією подачі N_2 , зокрема, сполучений із тепловою взаємодією з лінією подачі N_2 нижче за потоком відносно засобу для нагнітання рідкого N_2 в лінію подачі N_2 ; циркуляційний насос для аміаку та вихідний отвір для аміаку, що знаходиться в сполученні за текучим середовищем із лінією подачі аміаку.

Система за даним винаходом може містити один або більше додаткових блоків, таких як блок електролізу, виконаний із можливістю розкладання води на H_2 та O_2 за допомогою електричного струму; блок зрідження повітря, виконаний із можливістю перетворення газоподібного повітря на рідке повітря, що знаходиться у сполученні за текучим середовищем із лінією подачі кисню; блок розділення повітря, виконаний із можливістю розділення повітря на O_2 та N_2 , зокрема рідкий O_2 та рідкий N_2 ; один або більше теплообмінників, виконаних із можливістю захоплення відпрацьованого тепла зі способу спалювання аміаку, та конденсатор, призначений для конденсації води у газі, утворюваному внаслідок спалювання аміаку, не обов'язково термічно з'єднаний із нагрівачами, розташованими на лінії подачі кисню; блок змішування, що знаходиться в сполученні за текучим середовищем та з'єднаний з лінією подачі аміаку та лінією подачі кисневмісного текучого середовища; засіб для нагнітання рідкого N_2 на лінії подачі N_2 та, зокрема, засіб теплообміну між рідким азотом, що знаходиться під тиском, та системою регенерації енергії на основі циклу Ренкіна з використанням аміаку; другу турбіну, виконану з можливістю забезпечення розширення потоку аміаку, відокремленого в сепараторі, зокрема під час експлуатації з'єднану з генератором.

У деяких варіантах здійснення камера згоряння аміаку виконана з можливістю функціонування за тиску щонайменше 1,1 бар (абс.), більш конкретно щонайменше 1,2 бар (абс.), щонайменше 1,3 бар (абс.), щонайменше 1,4 бар (абс.), щонайменше 1,5 бар (абс.), щонайменше 2,0 бар (абс.), щонайменше 2,5 бар (абс.), щонайменше 3,0 бар (абс.), щонайменше 4,0 бар (абс.), щонайменше 5,0 бар (абс.).

Системи та способи за даним аспектом дають змогу одержувати азотну кислоту в більш ефективний із погляду енергії спосіб. Зокрема, регенерується більша кількість енергії, вивільненої протягом різних стадій способу (спалювання, окиснення та поглинання). Ця вилучена енергія може бути перетворена на електричну енергію із застосуванням генераторів. Електрична енергія може використовуватися, наприклад, щоб подавати енергію водним електролізерам, призначеним для одержання водню для застосування під час виготовлення аміаку. Крім того, рідке повітря, азот та/або аміак можуть бути виготовлені в надлишку, коли енергія з відновлюваних джерел є широко доступною, та можуть легко зберігатися. Коли енергія з відновлюваних джерел є недостатньо доступною, повітря та аміак, що зберігаються, можуть використовуватися для вироблення азотної кислоти, тоді як регеновану енергію, зокрема регеновану в способі одержання азотної кислоти, застосовують для подачі енергії до способів, що знаходяться вище за потоком (наприклад, одержання аміаку).

У конкретних варіантах здійснення застосовують стандартні готові турбіни. Це забезпечує стандартизацію та, отже, зменшує витрати, пов'язані із застосуванням унікальних компонентів.

Системи та способи за даним винаходом є сумісними з одержанням азотної кислоти. Відповідно, зменшення витрат, пов'язане з кривою росту виробництва, можна досягти завдяки тому, що встановлюють велику кількість ідентичних стандартизованих установок, що виробляють азотну кислоту.

Спосіб та система одержання азотної кислоти, зокрема об'єднані та інтегровані спосіб та система одержання аміаку та азотної кислоти, як передбачено в даній заявці в різних аспектах і варіантах здійснення, описаних у даному документі, можуть додатково передбачати стадію та/або засоби/системи для додаткової обробки азотної кислоти до продукту у вигляді добрива, такого як продукт у вигляді добрива, що являє собою нітрат амонію або нітрат кальцію.

Даний винахід додатково проілюстрований наступними прикладами та ілюстративними варіантами здійснення.

Приклади

Приклад 1

На фіг. 2А продемонстровано один варіант здійснення способу виготовлення азотної кислоти, представленого в даному документі, із зображенням того, як енергія може бути регенована з спалювання аміаку під час одержання азотної кислоти. Аміак подають за допомогою лінії (130) подачі аміаку, де його спочатку змішують із кисневмісним текучим

середовищем у блоці (150) змішування, перед тим як його подають у камеру (100) згоряння, що містить каталізатор. Газ, утворюваний унаслідок спалювання аміаку, залишає камеру (100) згоряння через відвідну лінію (160) для газу, утворюваного внаслідок спалювання аміаку. Кисневмісне текуче середовище, зокрема повітря, збагачене киснем повітря або O_2 , подають за допомогою лінії (120) подачі кисню у рідкій формі, у цьому випадку рідкий кисень (O_2) або рідке повітря. Рідке кисневмісне текуче середовище випарювали та перегрівали за допомогою одного або більше нагрівачів (140) на лінії (120) подачі кисню. Один або більше нагрівачів (140) вилучають тепло з одного або більше теплообмінників (161) та/або конденсатора (162) на відвідній лінії (160) для газу, утворюваного внаслідок спалювання аміаку. Забезпечують розширення перегрітого кисневмісного текучого середовища в першій турбіні (200) перед тим, як його змішують з аміаком і подають у камеру (100) згоряння. Перша турбіна механічно з'єднана з генератором (220), який може бути використаний для вироблення електричної енергії (E), у формі рециркульованої енергії. У певних варіантах здійснення розширення перегрітого кисневмісного текучого середовища відбувається за дві або більше стадії з повторним нагріванням потоку кисневмісного текучого середовища за допомогою теплообмінника між різними стадіями розширення. В інших варіантах здійснення суміш аміак-повітря може також бути попередньо нагрітою перед надходженням до камери згоряння аміаку.

На фіг. 2B продемонстровано один варіант здійснення способу виготовлення азотної кислоти, представленого в даному документі, із зображенням такого самого принципу для регенерації енергії, як на фіг. 2A, але цього разу додатково об'єднаного зі способом одержання аміаку на основі електролізу. У секції одержання азотної кислоти газ, утворюваний унаслідок спалювання аміаку, подають у модуль (400) окиснення для перетворення NO на NO_2 та потім до абсорбера (500), де NO_2 утворює азотну кислоту після абсорбції у воді. Азотна кислота може залишати абсорбер (500) за допомогою труби (510) для концентрованої азотної кислоти. Аміак, що подається, одержують у межах системи одержання азотної кислоти в інтегрованому контурі (700) за способом Габера-Боша, де вихідний отвір (750) для аміаку контуру за способом Габера-Боша з'єднаний з лінією (130) подачі аміаку. H_2 подають до контуру (700) за способом Габера-Боша за допомогою вхідного отвору (710) для H_2 та одержують у блоці (800) електролізу, де воду піддають електролізу з одержанням H_2 та O_2 , щонайменше частково із застосуванням відновлюваної енергії та електричної енергії, регенованої в системі одержання азотної кислоти, як наприклад, із застосуванням першої турбіни (200) та генератора (220). Блок (800) електролізу інтегрований у систему одержання азотної кислоти шляхом з'єднання вхідного отвору (810) для H_2 блока (800) електролізу із вхідним отвором (710) для H_2 контуру (700) за способом Габера-Боша. O_2 , утворений у блоці (800) електролізу, можна застосовувати в камері (100) згоряння. Повітря відокремлюють у блоці (900) сепаратора повітря, в якому N_2 залишає блок (900) сепаратора повітря через вихідний отвір (910) для N_2 ; та O_2 залишає блок (900) сепаратора повітря через вихідний отвір (920) для O_2 . Блок сепаратора повітря інтегрований у систему одержання азотної кислоти шляхом з'єднання вхідного отвору (910) для N_2 блока (900) сепаратора повітря із вхідним отвором (720) для N_2 контуру (700) за способом Габера-Боша та шляхом з'єднання вхідного отвору (920) для O_2 блока (900) сепаратора повітря із лінією (120) подачі кисню. У блок сепаратора повітря можна подавати живлення за допомогою щонайменше частково відновлюваної (зеленої) енергії або електричної енергії, регенованої в будь-якому іншому місці в системі одержання азотної кислоти, наприклад, за допомогою першої турбіни (200), яка з'єднана з генератором (220).

Аміак можна зберігати в лінії подачі аміаку, наприклад у буферному резервуарі. Аміак, який зберігається, можна застосовувати як енергетичний резерв, оскільки він може вивільняти велику кількість енергії під час спалювання в камері згоряння в способі одержання азотної кислоти.

Зокрема, кисневмісне текуче середовище в лінії (120) можна послідовно перегрівати на різних стадіях за допомогою декількох нагрівачів.

Наприклад, перший нагрівач може бути розташований на так званому "контурі охолодження", де тепло поглинає абсорбер (500), та згодом це тепло застосовують для випарювання або додаткового нагрівання кисневмісного текучого середовища, що знаходиться під тиском. Наприклад, другий нагрівач можна застосовувати для додаткового нагрівання випареного кисневмісного текучого середовища за допомогою тепла, регенованого за допомогою теплообмінника/конденсації. Наприклад, третій нагрівач може регенерувати тепло з теплообмінника близько до камери згоряння аміаку. Зазвичай циркулювання робочого текучого середовища в іншому контурі охолодження/нагрівання забезпечується за допомогою циркуляційного насоса. Робоче текуче середовище, застосовуване в даному документі, може бути робочим текучим середовищем будь-якого типу, придатним для даної конкретної цілі та

вибраним фахівцем у даній галузі, наприклад стисненою водою/бутаном. Робоче текуче середовище зазвичай вибране на основі тиску та температури, за яких відбувається теплообмін.

Приклад 2

5 На фіг. 3 продемонстровано один варіант здійснення об'єднаного способу виготовлення
аміаку й азотної кислоти, представлено в даному документі, де потік рідкого N_2 , що
знаходиться під тиском, застосовують в одержанні аміаку, із зображенням того, як енергія може
бути регенерована в контурі (700) за способом Габера-Боша на основі рідкого азоту. У даному
10 варіанті здійснення N_2 подають у рідкій формі з буферного резервуара (721) для N_2 або
безпосередньо з блока розділення повітря. Рідкий N_2 нагнітали за допомогою криогенного
насоса (722) та потім випарювали в нагрівачі/випарнику (797) перед тим, як він увійде в контур
(700) за способом Габера-Боша через вхідний отвір (720) для N_2 . N_2 змішують із H_2 через
15 рециркульованими N_2 та H_2 , що не прореагували, які були стиснені в компресорі (760). Суміш,
що містить N_2 та H_2 , попередньо нагрівають у попередньому нагрівачі (790) перед тим, як вона
увійде в блок (730) перетворення, де її піддають екзотермічній реакції з утворенням гарячої
реакційної суміші аміаку та H_2 та N_2 , що не прореагували. Реакційну суміш подають у сепаратор
(740), де потік аміаку відокремлюють від H_2 та N_2 , що не прореагували, при цьому останні
20 рециркулюють та повертають у контур за способом Габера-Боша. Тепло видаляють із
реакційної суміші на різних стадіях. На першій стадії тепло видаляють за допомогою
теплообмінника (793), який функціонує як перегрівач для відокремленого потоку аміаку
(газоподібного – завдяки випарюванню в теплообміннику 791). На другій стадії тепло видаляють
у попередньому нагрівачі (790), де тепло переносять до суміші H_2 та N_2 перед тим, як вона
надходить у блок (730) перетворення. На третій стадії тепло видаляють у теплообміннику (791),
25 який функціонує як котел для відокремленого аміаку. На четвертій стадії аміак у реакційній
суміші конденсують у теплообміннику (792), який використовує відпрацьоване тепло, перед тим,
як він надходить у сепаратор (740), який містить вихідний отвір (750) для аміаку. У сепараторі
(740) аміак відокремлюють у вигляді рідини, яку кип'ятять у випарнику/теплообміннику (791).
Утворений газоподібний аміак перегрівач у теплообміннику (перегрівачі) (793). Забезпечують
30 розширення перегрітого аміаку в третій турбіні (770), яка механічно з'єднана з генератором
(771), для регенерації енергії. Розширений аміак додатково охолоджують у теплообміннику
(794), який використовує відпрацьоване тепло, та в теплообміннику (795) із повітряним
охолодженням. Охолоджений аміак надходить у систему (780) регенерації енергії на основі
циклу Ренкіна з використанням аміаку, де його циркуляцію забезпечують за допомогою
35 циркуляційного насоса (783), його нагрівають за допомогою теплообмінника (796), який
використовує відпрацьоване тепло, перед тим, як забезпечують його розширення у четвертій
турбіні (781), яка механічно з'єднана з генератором (782) для регенерації енергії. Розширений
аміак пропускають через конденсатор (797) аміаку, де тепло переносять до N_2 , що подається.
Частина рідкого аміаку залишає систему (780) регенерації енергії на основі циклу Ренкіна з
40 використанням аміаку, для зберігання в буферному резервуарі (131) для аміаку або подавати в
камеру (100) згоряння для каталітичного спалювання під час одержання азотної кислоти.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

45 1. Спосіб одержання азотної кислоти, який включає стадії
(а) каталітичного спалювання суміші аміаку та кисневмісного текучого середовища, зокрема
повітря та/або кисню, у камері (100) згоряння аміаку з утворенням таким чином потоку,
утворюваного внаслідок спалювання аміаку;
50 (b) щонайменше часткового окиснення оксиду азоту в потоці, утворюваному внаслідок
спалювання аміаку, зі стадії (а) до діоксиду азоту;
(с) поглинання у водному розчині за допомогою абсорбера (500) діоксиду азоту, що міститься в
потоці зі стадії (b), з утворенням таким чином концентрованого водного розчину азотної кислоти,
де кисневмісне текуче середовище подають у камеру (100) згоряння аміаку за допомогою лінії
(120) подачі кисневмісного текучого середовища, де в щонайменше одній секції лінії (120)
55 подачі кисневмісного текучого середовища кисневмісне текуче середовище являє собою рідину;
(d) підвищення тиску кисневмісної рідини у лінії (120) подачі кисневмісного текучого середовища
з одержанням таким чином кисневмісної рідини, що знаходиться під тиском, де кисневмісна
рідина, що знаходиться під тиском, характеризується тиском, що становить щонайменше 10 бар
(абс.), конкретно щонайменше 50 бар (абс.), більш конкретно щонайменше 100 бар (абс.) або
60 щонайменше 150 бар (абс.) і навіть більш конкретно характеризується тиском, що становить від

150 до 250 бар (абс.);

(е) випарювання або кип'ятіння кисневмісної рідини, що знаходиться під тиском, одержаної на стадії (d), зокрема за допомогою тепла, рекуперованого нижче за потоком відносно камери (100) згоряння аміаку, з одержанням таким чином кисневмісного газу, що знаходиться під тиском; і

5 (f) забезпечення розширення кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, у першій турбіні (200), яка, зокрема, з'єднана з генератором (220), для вироблення електричної енергії.

2. Спосіб за п. 1, де кисневмісний газ, що знаходиться під тиском, зі стадії (е) додатково нагрівають або перегрівають за допомогою одного або більше нагрівачів (140), виконаних із
10 можливістю рекуперації тепла нижче за потоком відносно камери (100) згоряння аміаку, перед розширенням кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, на стадії (f).

3. Спосіб за п. 2, де додаткове нагрівання або перегрівання кисневмісного текучого середовища, зокрема кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, здійснюють за допомогою
15 тепла, рекуперованого в абсорбері (500), за допомогою тепла, рекуперованого в конденсаторі (162), та/або за допомогою тепла, рекуперованого в одному або більше теплообмінниках (блок охолодження) (161), розташованих нижче за потоком відносно камери (100) згоряння аміаку.

4. Спосіб за п. 2 або 3, де додаткове нагрівання або перегрівання кисневмісного текучого середовища, зокрема кисневмісного газу, що знаходиться під тиском, здійснюють ступінчасто,
20 спочатку застосовуючи рекупероване тепло низької якості, таке як тепло, регенероване з блоків абсорбера (500) та/або конденсатора (162), та потім застосовуючи рекупероване тепло більш високої якості, регенероване за допомогою теплообмінників (161) із потоку, що містить NO або NO₂, перед конденсатором (162) та абсорбером (500).

5. Спосіб за будь-яким із попередніх пунктів, що додатково включає стадію одержання аміаку перед стадією (а) шляхом каталітичного перетворення H₂ та N₂ в контурі (700) синтезу за
25 способом Габера-Боша, зокрема у його блоці (730) перетворення, з одержанням таким чином потоку продукту, що містить аміак,

де N₂ подають до контуру (700) синтезу за способом Габера-Боша за допомогою лінії (720) подачі азоту, де в щонайменше одній секції лінії (720) подачі азоту азот знаходиться в рідкому
30 стані, і при цьому тиск рідкого азоту збільшують, зокрема із застосуванням криогенного насоса або компресора (722), до тиску, що становить щонайменше 10 бар (абс.), конкретно щонайменше 50 бар (абс.), більш конкретно щонайменше 100 бар (абс.), навіть більш конкретно щонайменше 150 бар (абс.), або до тиску, що знаходиться в діапазоні від 150 до 250 бар (абс.), і, зокрема, подальшого випарювання рідкого N₂, що знаходиться під тиском, з одержанням таким чином газоподібного N₂, що знаходиться під тиском.

6. Спосіб за п. 5, що включає стадію подачі потоку продукту, який містить аміак, у сепаратор
35 (740) для відокремлення аміаку, зокрема рідкого аміаку, одержаного шляхом охолодження потоку продукту, що містить аміак, від H₂ та N₂, що не прореагували, та подальшого випарювання та необов'язкового нагрівання або перегрівання відокремленого аміаку із застосуванням тепла, регенерованого в способі одержання аміаку та/або азотної кислоти.

7. Спосіб за п. 6, що додатково включає стадію забезпечення розширення відокремленого
40 аміаку, зокрема перегрітого аміаку, у другій турбіні (770), яка, зокрема, під час експлуатації з'єднана з генератором (771).

8. Спосіб за п. 7, що додатково включає стадію охолодження та конденсації розширеного аміаку та проходження конденсованого аміаку до системи (780), що функціонує відповідно до циклу
45 Ренкіна з використанням аміаку, де аміак застосовують як робоче текуче середовище та третю турбіну (781) застосовують для забезпечення виконання роботи за допомогою робочого текучого середовища, що містить аміак.

9. Система одержання азотної кислоти, яка, зокрема, під час експлуатації з'єднана з джерелом відновлюваної енергії та, зокрема, виконана з можливістю здійснення способу за будь-яким із
50 пп. 1-8, яка містить

- камеру (100) згоряння аміаку, що містить каталізатор, виконану з можливістю каталітичного спалювання горючої суміші, що містить аміак та повітря та/або кисень, за підвищеного тиску, наприклад за тиску, що становить від приблизно 5,0 до приблизно 20,0 бар (абс.);

- лінію (120) подачі кисню у сполученні за текучим середовищем із камерою (100) згоряння для
55 подачі кисневмісного текучого середовища, такого як O₂, повітря або збагачене киснем повітря, до камери (100) згоряння аміаку;

- лінію (130) подачі аміаку у сполученні за текучим середовищем із камерою (100) згоряння аміаку;

- відвідну лінію (160) для газу, утворюваного внаслідок спалювання аміаку, для видалення потоку газу, утворюваного внаслідок спалювання аміаку, що містить оксид азоту, з камери (100)
60 згоряння аміаку в сполученні за текучим середовищем через окиснювальну секцію або блок

- (400) окиснення, виконані з можливістю окиснення оксиду азоту до діоксиду азоту, з абсорбером (500) для поглинання діоксиду азоту у воді з одержанням таким чином азотної кислоти; де лінія (120) подачі кисню містить систему регенерації енергії, де система регенерації енергії у послідовному порядку містить засіб для нагнітання кисневмісного текучого середовища, що знаходиться в рідкому стані, наприклад до тиску, що становить щонайменше 10 бар (абс.), конкретно щонайменше 50 бар (абс.), більш конкретно щонайменше 100 бар (абс.), навіть більш конкретно щонайменше 150 бар (абс.), або до тиску, що знаходиться в діапазоні від 150 до 250 бар (абс.); один або більше нагрівачів (140), виконаних із можливістю випарювання та, зокрема, додаткового нагрівання кисневмісного текучого середовища, що знаходиться під тиском, та першу турбіну (200), виконану з можливістю забезпечення розширення кисневмісного текучого середовища (у газоподібній формі), де вихідний отвір турбіни знаходиться у сполученні за текучим середовищем із камерою (100) згоряння аміаку; яка **відрізняється** тим, що система додатково містить
- одне або більше з блока (800) електролізу, блока зрідження повітря та/або блока (900) розділення повітря, де блок (800) електролізу виконаний із можливістю розкладання води на H_2 та O_2 за допомогою електричного струму, де блок зрідження повітря виконаний із можливістю перетворення газоподібного повітря на рідке повітря, знаходиться у сполученні за текучим середовищем із лінією подачі кисню; і при цьому блок (900) розділення повітря виконаний із можливістю розділення повітря на O_2 та N_2 , зокрема на рідкий O_2 та рідкий N_2 , і де перша турбіна (200) під час експлуатації з'єднана з першим генератором (220), де вказаний перший генератор електрично з'єднаний із блоком (800) електролізу та/або блоком (900) розділення повітря, та/або блоком зрідження повітря.
10. Система одержання азотної кислоти за п. 9, яка додатково містить систему одержання аміаку, при цьому система одержання аміаку містить контур (700) синтезу за способом Габера-Боша, при цьому контур (700) синтезу за способом Габера-Боша містить вхідний отвір (710) для H_2 ; вхідний отвір (720) для N_2 ; блок (730) перетворення, виконаний із можливістю каталітичного перетворення H_2 та N_2 на аміак, з одержанням таким чином суміші продуктів, що містить аміак, при цьому блок перетворення містить вихідний отвір для суміші продуктів, що містить аміак; сепаратор (740), розташований нижче за потоком відносно перетворювача та виконаний із можливістю розділення суміші продуктів, що містить аміак, на потік аміаку та потік, що містить H_2 та N_2 , що не прореагували; засіб для рециркуляції H_2 та N_2 , що не прореагували, та вихідний отвір для аміаку; де вихідний отвір для аміаку знаходиться в сполученні за текучим середовищем із лінією (130) подачі аміаку, і, зокрема, додатково містить систему (780) регенерації енергії на основі циклу Ренкіна з використанням аміаку, яка знаходиться в сполученні за текучим середовищем із вихідним отвором для аміаку, що містить третю турбіну (781), виконану з можливістю забезпечення здійснення роботи за допомогою робочого текучого середовища, що містить аміак; теплообмінник (796), конденсатор (797) аміаку, сполучений із тепловою взаємодією з лінією подачі N_2 , зокрема сполучений із тепловою взаємодією з лінією подачі N_2 нижче за потоком відносно засобу для нагнітання рідкого N_2 в лінії подачі N_2 ; циркуляційний насос (783) для аміаку та вихідний отвір для аміаку в сполученні за текучим середовищем із лінією (130) подачі аміаку.
11. Система одержання азотної кислоти за п. 9 або 10, яка додатково містить один або більше з наступних блоків:
- блок (800) електролізу, виконаний із можливістю розкладання води на H_2 та O_2 за допомогою електричного струму, зокрема із відновлюваних джерел, блок електролізу, що містить вхідний отвір для води і вихідний отвір для H_2 та вихідний отвір для O_2 ; де вихідний отвір для H_2 блока електролізу знаходиться у сполученні за текучим середовищем із вхідним отвором (710) для H_2 контуру (700) синтезу за способом Габера-Боша;
- блок (900) розділення повітря, виконаний із можливістю розділення повітря на O_2 та N_2 , зокрема на рідкий O_2 та рідкий N_2 , при цьому блок розділення повітря містить вихідний отвір для O_2 та вихідний отвір для N_2 , де вихідний отвір для O_2 блока розділення повітря знаходиться у сполученні за текучим середовищем із лінією подачі кисню, і при цьому вихідний отвір для N_2 блока розділення повітря знаходиться у сполученні за текучим середовищем із вхідним отвором (720) для N_2 контуру (700) синтезу за способом Габера-Боша;
- один або більше теплообмінників (161), виконаних із можливістю захоплення відпрацьованого тепла з процесу спалювання аміаку, та конденсатор (162), призначений для конденсації води у газі, утворюваному внаслідок спалювання аміаку, де один або більше теплообмінників (161) та конденсатор (162) знаходяться нижче за потоком відносно камери (100) згоряння аміаку та вище за потоком від блока (500) абсорбера, і при цьому один або більше теплообмінників (161) та конденсатор (162), зокрема, сполучені з тепловою взаємодією з одним або більше

нагрівачами (140);

- блок (150) змішування, що знаходиться в сполученні за текучим середовищем та з'єднаний із лінією (130) подачі аміаку та лінією (120) подачі кисневмісного текучого середовища, при цьому блок змішування містить ємність, трубу або реактор, виконані з можливістю перемішування

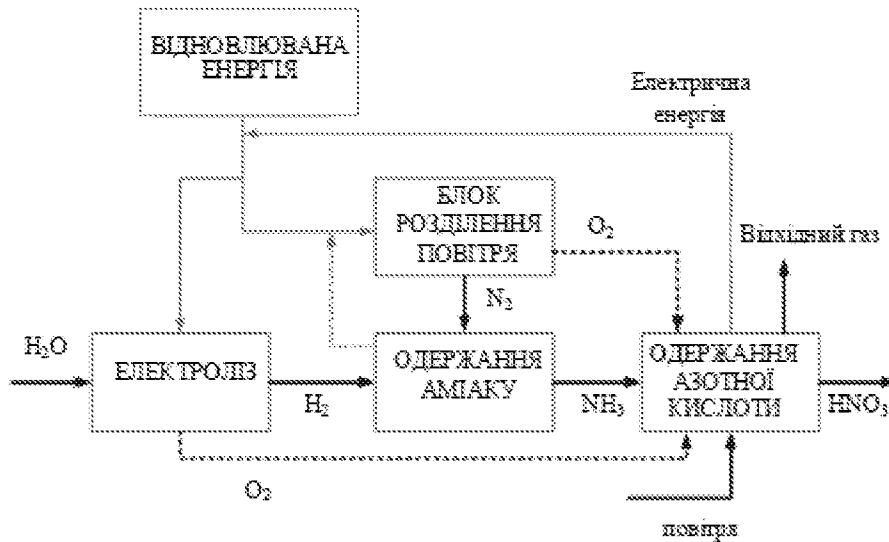
5

кисневмісного текучого середовища та аміаку з утворенням горючої суміші до введення горючої суміші у камеру (100) згоряння аміаку;

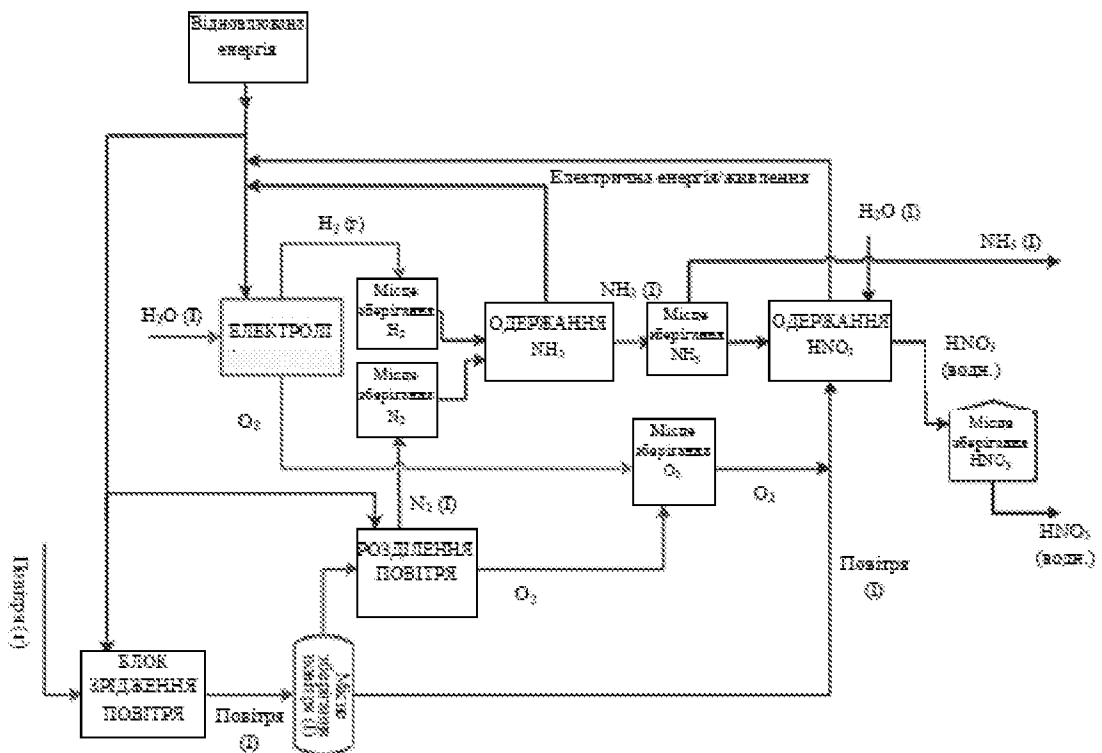
- засіб для нагнітання рідкого N_2 у лінії (720) подачі N_2 до тиску, що становить щонайменше 100 бар (абс.), конкретно щонайменше 150 бар (абс.), більш конкретно до тиску від 150 до 250 бар (абс.), та/або

10

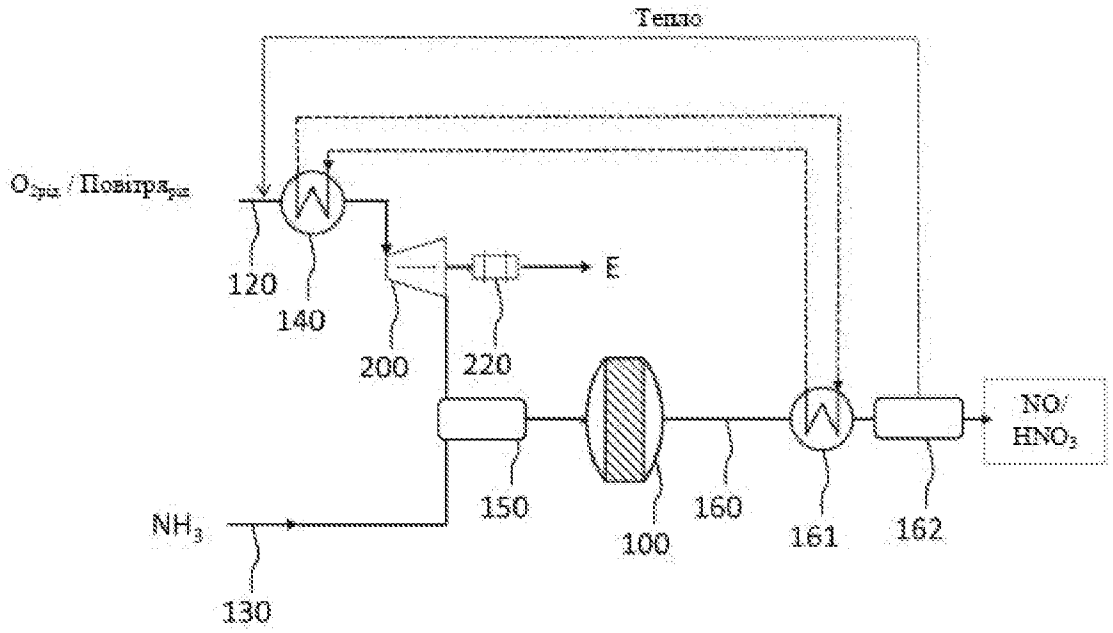
- другу турбіну (770), виконану з можливістю забезпечення розширення потоку аміаку, відокремленого в сепараторі (740), зокрема з'єднану під час експлуатації з генератором (771).



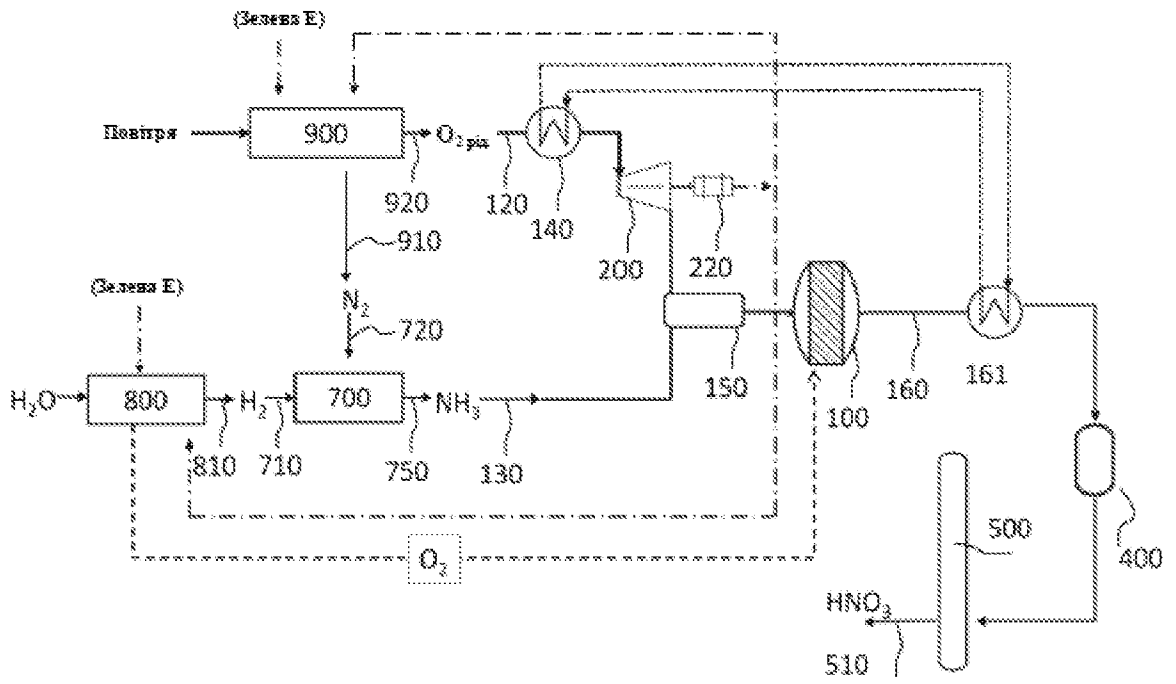
Фіг. 1А



Фіг. 1В



Фиг. 2А



Фиг. 2В

