



УКРАЇНА

(19) UA (11) 57085 (13) C2

(51) 7 F25J3/02

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

(54) СПОСІБ ЗРІДЖЕННЯ ГАЗОВОГО ПОТОКУ З ВИСОКИМ ВМІСТОМ МЕТАНУ (ВАРІАНТИ)

1

(21) 99127083
(22) 18 06 1998
(24) 16 06 2003
(86) PCT/US98/12742, 18 06 1998
(31) 60/050,280
(32) 20 06 1997
(33) US
(31) 60/079,612
(32) 27 03 1998
(33) US
(46) 16 06 2003, Бюл. № 6, 2003 р.
(72) Томас Юджин Р., US, Бовен Рональд Р., US,
Кол Ерік Т., US, Кімбл Едвард Л., US
(73) ЕКСОНМОБІЛ АПСТРІМ РІСЕРЧ КОМПАНІ,
US
(56) US 5 036 671
(57) 1 Спосіб зрідження газового потоку з високим
вмістом метану, що подається під тиском вище
приблизно 3100 кПа, який відрізняється тим, що
включає в себе наступні етапи
- розширення газового потоку (11) до більш низького
тиску для утворення газової фази та рідкого
продукту з високим вмістом метану, температура
якого перевищує приблизно -112°C, а тиск достатній
для того, щоб рідкий продукт знаходився в
точці початку кипіння або нижче,
- фазове розділення (40) газової фази та рідкого
продукту з високим вмістом метану, та
- введення рідкого продукту з високим вмістом
метану в засіб зберігання (90) для зберігання при
температурі вище приблизно -112°C
2 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що до-
датково включає в себе охолодження газового
потoku (11) до здійснення розширення газового
потoku (11) до більш низького тиску
3 Спосіб за п. 2, який відрізняється тим, що до-
датково включає в себе охолодження газового
потoku (11) в теплообміннику (236, 237), який охо-
лоджується системою охолодження (238) із замк-
нутим циклом
4 Спосіб за п. 3, який відрізняється тим, що сис-
тема охолодження (238) із замкнутим циклом як
основний хладагент використовує пропан
5 Спосіб за п. 3, який відрізняється тим, що сис-
тема охолодження (238) із замкнутим циклом як
основний хладагент використовує діоксид вугле-
цю

2

6 Спосіб за п. 2, який відрізняється тим, що до-
датково включає в себе етап охолодження газове-
го потоку шляхом теплообміну з фазово розділе-
ним газом, в результаті чого відбувається
нагрівання газової фази
7 Спосіб за п. 6, який відрізняється тим, що до-
датково включає в себе стиснення нагрітої газової
фази, охолодження стиснутої газової фази та по-
вертання охолодженої стиснутої газової фази в
газовий потік (11) для рециркуляції
8 Спосіб за п. 6, який відрізняється тим, що до-
датково включає в себе охолодження газового
потoku в теплообміннику, який охолоджується сис-
темою охолодження із замкнутим циклом, що ви-
переджає етап охолодження стиснутої газової фа-
зи
9 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що додат-
ково включає в себе об'єднання газового потоку з
випарами газів, які виникають у результаті випа-
ровування зрідженого природного газу, що випе-
реджає зрідження газового потоку
10 Спосіб за п. 1, в якому газовий потік (11) мі-
стить метан та вуглеводневі компоненти, більш
важкі ніж метан, який відрізняється тим, що до-
датково включає в себе видалення основної час-
тини більш важких вуглеводнів шляхом фракціо-
нування для утворення парового потоку з високим
вмістом метану та рідинного потоку з високим вмі-
стом більш важких вуглеводнів, після чого паровий
потік зріджується шляхом розширення відповідно
до етапу розширення газового потоку (11) до
більш низького тиску для утворення газової фази
та рідкого продукту з високим вмістом метану
11 Спосіб за п. 10, який відрізняється тим, що
додатково включає в себе охолодження газового
потoku, що випереджає фракціонування газового
потoku
12 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що
зрідження газового потоку здійснюється без допо-
моги системи охолодження із замкнутим циклом
13 Спосіб зрідження газового потоку (201) з висо-
ким вмістом метану, що подається під тиском ви-
ще приблизно 3100 кПа до метановідгінної колони
(231), що виробляє паровий потік (207) з високим
вмістом метану та рідинний потік (206) із зменше-
ним вмістом метану, який відрізняється тим, що
включає в себе такі етапи

(13) C2
(11) 57085
(19) UA

- пропускання парового потоку (207) з високим вмістом метану через теплообмінник (240) для отримання нагрітого парового потоку (208) та стиснення (241) нагрітого парового потоку для додаткового стиснення парового потоку,
- охолодження (242) стиснутого потоку,
- розгалуження охолодженого стиснутого потоку на перший охолоджений потік (211) та другий охолоджений потік (213) та пропускання першого охолодженого потоку через теплообмінник (240) для додаткового охолодження першого охолодженого потоку,
- розширення (245) першого охолодженого потоку для утворення газової та рідкої фаз,
- фазове розділення (246) газової та рідкої фаз, отриманих за допомогою розширення першого охолодженого потоку, в результаті чого утворюється перша парова фаза (216) та зріджений газ (217) з високим вмістом метану, температура якого перевищує приблизно -112°C , а тиск достатній для того, щоб зріджений газ із високим вмістом метану знаходився в точці початку кипіння або нижче,
- розширення (248) другого охолодженого потоку до більш низького тиску, в результаті чого він додатково охолоджується з утворенням газової та рідкої фаз, і
- фазове розділення (249) газової та рідкої фаз, утворених за допомогою розширення другого охолодженого потоку, в результаті чого отримуються друга парова фаза (215) та зріджений газ (214) із високим вмістом метану, температура якого перевищує приблизно -112°C , а тиск достатній для того, щоб зріджений газ знаходився в точці початку кипіння або нижче

14 Спосіб за п. 13, який відрізняється тим, що додатково включає в себе об'єднання другої парової фази (215) з паровим потоком (207) із високим вмістом метану, що подається з метановидільної колони (231), та пропускання об'єднаного газового потоку через теплообмінник (240)

15 Спосіб за п. 13, який відрізняється тим, що додатково включає в себе об'єднання першої та другої парових фаз (216, 215) та пропускання об'єднаного газового потоку через теплообмінник (240)

16 Спосіб за п. 14, який відрізняється тим, що охолодження стиснутого нагрітого парового потоку, отриманого шляхом пропускання парового потоку із високим вмістом метану через теплообмінник, здійснюється шляхом непрямого теплообміну (243) з хладагентом системи охолодження з замкнутим циклом (238)

17 Спосіб за п. 13, який відрізняється тим, що додатково включає пропускання рідинного потоку (206) із зменшеним вмістом метану до принаймні однієї фракціонуючої колони (250), яка виробляє верхній паровий потік (218), та об'єднання верхнього парового потоку (218), виробленого фракціонуючою колоною, з нагрітим паровим потоком (208), виробленим за допомогою пропускання парового потоку (207) із високим вмістом метану через теплообмінник

18 Спосіб за п. 13, який відрізняється тим, що додатково включає етап уведення в паровий потік (207) із високим вмістом метану випарів газу (224), які виникають у результаті випаровування зрідженого газу, та пропускання об'єднаного газового потоку через теплообмінник (240)

Цей винахід відноситься до процесу зрідження природного газу, зокрема, до процесу виробництва зрідженого природного газу під тиском /ЗПГ/

Передумови винаходу

Природний газ в останні роки почали широко використовувати завдяки його якості чистого згорання та зручності. Багато джерел природного газу розміщені у віддалених областях, на величезних відстанях від будь-яких ринків збуту. В деяких випадках для транспортування добутого природного газу до ринку збуту використовують трубопровід. Копи транспортування по трубопроводу неможливе, добутий природний газ, як правило, переробляють у зріджений природний газ /який називається ЗПГ/ для доставки до ринку.

Однією із відмінних рис станцій ЗПГ є той факт, що станція потребує великого об'єму капітальних витрат. Для зрідження природного газу звичайно використовується устаткування, яке дороге коштує. Станція зрідження складається із декількох основних систем, включаючи апаратуру очищення, призначену для видалення домішок, апаратуру зрідження, охолодження, енергетичну апаратуру, апаратуру зберігання та завантаження на судно. Хоч вартість станції ЗПГ може дуже сильно залежати від місцезнаходження станції, ти-

повий проект загальноприйнятого ЗПГ може коштувати від 5 до 10 млрд. доларів США, включаючи вартість підготовки родовища. Системи охолодження, які застосовують на станції, можуть складати до 30 процентів вартості.

При розробці станції ЗПГ необхідно виходити із трьох найбільш важливих міркувань: 1) вибір циклу зрідження, 2) матеріали, які використовують для виготовлення ємностей, трубопроводів та іншого устаткування і 3) етапи процесу перетворення потоку природного газу, що подається, в ЗПГ.

Висока вартість систем охолодження, які використовують на станції ЗПГ, пояснюється тим, що для зрідження природного газу необхідно досить сильне охолодження. Звичайний потік природного газу поступає на станцію ЗПГ під тиском приблизно від 4830 кПа (700 фн-с/кв д. абс. (абсолютний тиск в фунтах на квадратний дюйм)) до 7600 кПа (1100 фн-с/кв д. абс.) та при температурі, приблизно, від 20°C (68°F) до 40°C (104°F). Природний газ, який складається головним чином із метану, неможливо зріджувати шляхом простого збільшення тиску, як у випадку більш важких вуглеводнів, які використовують в енергетичних цілях. Критична температура метану дорівнює $-82,5^{\circ}\text{C}$ ($116,5^{\circ}\text{F}$). Це значить, що метан можна зріджувати тільки

приблизь низькій температурі, незалежно від тиску, який прикладають. Оскільки природний газ є сумішшю газів, він зріджується в деякому діапазоні температур. Критична температура природного газу знаходиться приблизно між -85°C (-121°F) та -62°C (-80°F). Звичайно, зрідження природного газу різного складу проводять при атмосферному тиску в діапазоні температур, приблизно, між -65°C (-265°F) та -155°C (-247°F). Оскільки охолоджуюче устаткування складає значну частину з вартості апаратури ЗПГ, для зниження вартості охолодження вживають значні зусилля.

Хоча існує безліч циклів охолодження, які можна використовувати для зрідження природного газу, в даний час на станціях ЗПГ найбільш загальноприйнятими являються три типи циклів: 1) "каскадний цикл", в якому використовуються сукупність однокомпонентних хладагентів у теплообмінниках, які установлені один за другим, з метою зниження температури газу до температури зрідження, 2) "цикл багатоконпонентного охолодження", в якому використовуються багатоконпонентний хладагент, у теплообмінниках особливої конструкції, та 3) "розширюючий цикл", у якому газ розширюється з пониженням тиску від високого до низького при відповідному зниженні температури. В більшості циклів зрідження природного газу використовуються варіанти або поєднання цих трьох основних типів.

В основі роботи розширюючої системи лежить той принцип, що газ можна стиснути до вибраного тиску, охолодити, а потім дозволити йому розширитися через розширюючу турбіну, щоб, таким чином, газ здійснював роботу, і температура газу знижувалась. Таке розширення дає можливість зрідити частину газу. Потім низькотемпературний газ подають у теплообмінник з метою зрідження газу, який подають. Потужність, яку отримують при розширенні, звичайно використовують для часткового відшкодування основної потужності, витраченої на стискання, яке використовується в циклі охолодження. Приклади розширюючих процесів для виробництва ЗПГ розглянуті в патентах США № 3,724,226, 4,456,459, 4,698,081, та WO 97/13109.

Матеріали, які використовують у загальноприйнятих станціях ЗПГ, також вносять свій внесок у вартість станції. Ємності, труби та інше устаткування, які використовуються на станціях ЗПГ, звичайно виробляють хоч би частково, із алюмінію, нержавіючої сталі або сталі з високим вмістом нікелю, щоб забезпечити високу межу міцності та в'язкості на злам при низьких температурах.

У загальноприйнятих станціях ЗПГ вода, діоксид вуглецю, сполуки сірки, наприклад сірководень та інші кислотні гази, n-пентан та більш важкі вуглеводні, включаючи бензол, підлягають практично повному видаленню із обробки природного газу до рівня частин на мільйон (ч/млн). Деякі з цих сполук замерзають, створюючи проблеми закупорки устаткування процесу. Інші сполуки, наприклад сполуки сірки, як правило, видаляються, щоб задовольнити продажним специфікаціям. У загальноприйнятій станції ЗПГ, для видалення діоксиду вуглецю та кислотних газів, потрібне устаткування очищення газу. Устаткування очи-

щення газів, як правило, використовує відновний процес хімічного та/або фізичного розчинника і вимагає значних капітальних затрат. Крім того, високі експлуатаційні витрати. Для видалення водяних парів необхідні сушарки з сухим прошарком, наприклад молекулярні фільтри. Для видалення вуглеводнів, які нерідко створюють проблеми закупорки, як правило, використовуються газопромивальна колона та фракціонуюче устаткування. В загальноприйнятій станції ЗПГ також видаляють ртуть, оскільки вона може викликати відмови устаткування, виконаного із алюмінію. Крім того, після очищення видаляють більшу частину азоту, який може бути присутній у природному газі, оскільки азот при транспортуванні загальноприйнятого ЗПГ не залишиться в рідкій фазі, а наявність парів азоту в ємностях з ЗПГ в пункті поставлення вельми небажано.

В патенті US 5,036,671, опублікованому 6 серпня 1991 року, розглянуто виробництво зрідженого природного газу (ЗПГ) способом, у якому подається потік природного газу під тиском, який перевищує атмосферний, бажано від 2065 кПа (300 фн-с/кв д абс) до 4477 кПа (650 фн-с/кв д абс), але в результаті якого виробляється зріджений природний газ з високим вмістом метану під тиском, що дорівнює або близький до атмосферного, способом багатоступеневого розширення. Температура ЗПГ, як правило, нижча ніж близько -155°C . У зв'язку з тим, що ЗПГ, який виробляється згідно з цим способом, знаходиться під низьким тиском та температурою, для зрідження потрібна велика кількість енергії, а також тут є недолік, який полягає в тому, що тільки низькі рівні концентрації компонентів, що заморожуються, можуть бути допущені в газовому потоці, що подається.

Промисловість відчуває постійну необхідність в удосконаленні способу зрідження природного газу, який мінімізував би кількість необхідного устаткування очищення.

Відповідно, задача цього винаходу полягає в тому, щоб надати вдосконалену систему зрідження для зрідження або повторного зрідження природного газу. Друга задача винаходу полягає в тому, щоб створити удосконалений спосіб зрідження, в який би потребував значно меншу потужність стиснення, ніж у способах, відповідних рівню техніки. Ще одна задача винаходу полягає в тому, щоб надати удосконалений спосіб зрідження, економічний та ефективний в експлуатації, так як охолодження до дуже низьких температур, характерне до загальноприйнятого процесу ЗПГ, є досить дорогим у порівнянні з відносно помірним охолодженням, необхідним при виробництві ЗПГ, у відповідності із здійсненням даного винаходу.

Короткий зміст винаходу

Вказані вище задачі вирішує запропонований винахід.

Винахід відноситься до удосконаленого способу зрідження потоку газу, з високим вмістом метану, який подається. Потік газу, що подається, має тиск, що перевищує приблизно 3100 кПа (450 фн-с/кв д абс). Якщо тиск дуже низький, газ можна спочатку стиснути. Газ зріджується шляхом розширення під тиском із застосуванням належного засобу розширення для створення рідкого про-

дукту, температура якого перевищує приблизно -112°C (-170°F), а тиску досить, щоб температура рідкого продукту відповідала точці початку кипіння або більш низькій температурі. Перед розширенням газ краще охолоджувати рециркулюючим паром, який, пройшовши через засіб розширення, не перетворився в рідину. Фазовий сепаратор відділяє рідкий продукт від газів, не зріджених засобом розширення. Рідкий продукт, що виходить із фазового сепаратора, направляють на зберігання або транспортування при температурі, що перевищує приблизно -112°C (-170°F).

Згідно з другим варіантом реалізації винаходу спосіб зрідження газового потоку з високим вмістом метану, що подається під тиском вище приблизно 3100кПа (450фн-с/кв д абс) (g) до метановідгінної колонки, що виробляє паровий потік з високим вмістом метану та рідинний потік із зменшеним вмістом метану, згідно з винаходом включає в себе такі етапи

пропускання парового потоку з високим вмістом метану через теплообмінник для отримання нагрітого парового потоку та стиснення нагрітого парового потоку для додаткового стиснення парового потоку,

охолодження стиснутого потоку,

розгалуження охолодженого стиснутого потоку на перший охолоджений потік та другий охолоджений потік та пропускання першого охолодженого потоку через теплообмінник для додаткового охолодження першого охолодженого потоку,

розширення першого охолодженого потоку для утворення газової та рідкої фаз,

фазове розділення газової та рідкої фаз, отриманих за допомогою розширення першого охолодженого потоку, в результаті чого утворюється перша парова фаза та зріджений газ з високим вмістом метану, температура якого перевищує приблизно -112°C , а тиск достатній для того, щоб зріджений газ із високим вмістом метану знаходився в точці початку кипіння або нижче,

розширення другого охолодженого потоку до більш низького тиску, в результаті чого він додатково охолоджується з утворенням газової та рідкої фаз, і

фазове розділення газової та рідкої фаз, утворених за допомогою розширення другого охолодженого потоку, в результаті чого отримуються друга парова фаза та зріджений газ із високим вмістом метану, температура якого перевищує приблизно -112°C , а тиск достатній для того, щоб зріджений газ знаходився в точці початку кипіння або нижче

Крім того, якщо газовий потік містить метан та вуглеводневі компоненти, більш важкі ніж метан, то згідно зі способом здійснюється видалення основної частини більш важких вуглеводнів шляхом фракціонування для утворення парового потоку з високим вмістом метану та рідинного потоку з високим вмістом більш важких вуглеводнів, після чого паровий потік зріджується шляхом розширення відповідно до етапу розширення газового потоку до більш низького тиску для утворення газової. Згідно ще одному варіанту випарений газ, що утворився в результаті випаровування зрідженого природного газу, можна додавати до газу, що по-

дається для зрідження шляхом розширення під тиском з метою виробництва зрідженого природного газу під тиском (ЗПГТ)

Спосіб, що відповідає даному винаходу, можна використати як для початкового зрідження природного газу на джерелі подачі для зберігання або транспортування, так і для повторного зрідження парів природного газу, які утворилися в процесі зберігання та завантаження на судно. Відповідно, мета цього винаходу полягає в тому, щоб надати вдосконалену систему зрідження для зрідження або повторного зрідження природного газу. Друга мета винаходу полягає в тому, щоб надати удосконалену систему зрідження, в якій потрібна значно менша потужність стиснення, ніж у системах, відповідних рівню техніки. Ще одна мета винаходу в тому, щоб надати удосконалений спосіб зрідження, економічний та ефективний в експлуатації. Охолодження до дуже низьких температур, характерне до загальноприйнятого процесу ЗПГТ, є досить дорогим у порівнянні з відносно помірним охолодженням, необхідним при виробництві ЗПГТ, у відповідності із здійсненням даного винаходу. Короткий опис креслень

Даний винахід та його достоїнства можна краще зрозуміти з посиланням на нижченаведені подробиці опису та прикладені фігури, які є схематичними діаграмами потоків, що відповідають ілюстративним варіантам реалізації цього винаходу

Фіг 1 є схематичною діаграмою потоків, яка відповідає одному варіанту реалізації цього винаходу та ілюструє виробництво ЗПГТ

Фіг 2 є схематичною діаграмою потоків, яка відповідає другому варіанту реалізації цього винаходу, згідно з яким природний газ попередньо охолоджується за допомогою систем охолодження з замкнутим циклом до того, як здійснюється зрідження природного газу розширенням під тиском

Фіг 3 є схематичною діаграмою потоків, яка відповідає третьому варіанту реалізації цього винаходу, згідно якому природний газ, що подається, фракціонується перед зрідженням в ЗПГТ

Фіг 4 є схематичною діаграмою потоків, яка відповідає четвертому варіанту реалізації цього винаходу, яка представляє процес, аналогічний процесу, зображеному на фіг 3, в якому для виробництва ЗПГТ використовується система охолодження із замкнутим циклом та розширення під тиском

Схематичні діаграми потоків, зображені на фігурах, показують різні варіанти здійснення процесу, який відповідає цьому винаходу. Ці фігури не призначені для виключення із об'єму винаходу інших варіантів реалізації, які є результатом нормальних та очікуваних модифікацій цих конкретних варіантів реалізації. Різні необхідні підсистеми, якот насоси, клапани, змішувачі потоків, системи управління та датчики, вилучені з фігур з метою спрощення та чіткості пояснень

Опис переважних варіантів реалізації

Даний винахід є удосконаленням процесом зрідження природного газу шляхом розширення під тиском для виробництва рідкого продукту з високим вмістом метану, температура якого вище приблизно -112°C (-170°F), а тиск достатній для того, щоб рідкий продукт знаходився в точці почат-

ку кипіння або нижче. Цей продукт з високим вмістом метану називається в цьому описі зрідженим природним газом під тиском (ЗПГТ). Термін "точка початку кипіння" відповідає температурі та тиску, за яких рідина починає перетворюватися на газ. Наприклад, якщо деякий об'єм ЗПГТ підтримувати при постійному тиску і при цьому збільшувати його температуру, то температура, при якій почнуть утворюватися бульбашки газу, буде точкою початку кипіння. Аналогічно, якщо деякий об'єм ЗПГТ підтримувати при постійній температурі і при цьому знижувати тиск, то тиск, при якому почне виділятися газ, визначає точку початку кипіння. В точці початку кипіння суміш являється насиченою рідиною.

В процесі зрідження газу, що відповідає даному винаходу, для зрідження природного газу необхідна менша потужність, ніж у процесах, які використовувалися раніше, та устаткування, яке використовується в процесі, що відповідає даному винаходу, можна виробляти із матеріалів, які коштують менше. Навпаки, для здійснення процесів, відповідних рівню техніки, в яких ЗПГ виробляється при атмосферному тиску та досить низьких температурах, наприклад -160°C (-256°F), для безпечної експлуатації необхідне устаткування, вироблене з матеріалів, які дорого коштують.

Енергія, необхідна для зрідження природного газу при здійсненні цього винаходу, значно нижча в порівнянні з тією енергією, яку використовує загальноприйнята станція ЗПГ. Зниження потреби в енергії охолодження, необхідній для процесу, відповідного даному винаходу, приводить до значного зниження капітальних затрат, пропорційному зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню ефективності та надійності, що дає значну економію при виробництві зрідженого природного газу.

При робочих тисках та температурах, передбачених даним винаходом, труби та апаратура, які використовуються в найхолодніших областях, можуть бути виготовлені з сталі з ваговим вмістом нікелю 31/2%, в той час як для того ж устаткування в загальноприйнятому процесі ЗПГ звичайно потрібна більш дорога сталь з 9%-ним ваговим вмістом нікелю або алюмінію. Це забезпечує ще одне суттєве зниження вартості процесу, відповідного даному винаходу, в порівнянні з процесами ЗПГ, відповідними рівню техніки.

Перше, що необхідно урахувати при криогенній обробці природного газу, це домішки. Вихідна сировина для процесу, відповідного даному винаходу, а саме сирий природний газ, який подається, може бути природним газом, одержаним із свердловини сирої нафти (попутний газ) або газової свердловини (не попутний газ). Склад природного газу може бути найрізнішим. У даному випадку припускається, що головним компонентом потоку природного газу є метан (C_1). Як правило, природний газ містить також етан (C_2), вищі вуглеводні (C_{3+}) та незначні кількості таких домішок, як вода, діоксид вуглецю, сірководень, азот, бутан, вуглеводні, які містять шість і більше атомів вуглецю, бруд. Сульфід заліза, парафін та сиру нафту. Розчинність цих домішок залежить від температури, тиску та складу. При криогенних температурах CO_2 , вода та інші домішки можуть утворювати час-

тинки твердої речовини, які будуть закупорювати канали криогенних теплообмінників. Цих потенціальних труднощів можна запобігти шляхом видалення подібних домішок, якщо, виходячи із діаграми температура-тиск для відповідної речовини у чистому вигляді, витікає, що за даних умов його стан буде знаходитися в межах твердої фази. В нижченаведеному описі винаходу припускається, що потік природного газу був належним чином очищений для видалення води з використанням загальноприйнятих та широковідомих процесів для одержання "чистого, сухого" потоку природного газу. Якщо потік природного газу містить важкі вуглеводні, які можуть вимерзати в процесі зрідження, або якщо в складі ЗПГТ небажано мати важкі вуглеводні, важкі вуглеводні можна виділити за допомогою процесу фракціонування до виробництва ЗПГТ, яке більш докладно описане нижче.

Одна перевага даного винаходу полягає в тому, що при більш високих робочих температурах у складі природного газу припустимі більш високі рівні концентрації компонентів, що заморожуються, ніж у загальноприйнятому процесі ЗПГ. Наприклад, на загальноприйнятій станції ЗПГ, яка виробляє ЗПГ за -160°C (-256°F), щоб запобігти проблем замерзання вміст CO_2 повинен бути нижче, приблизно 50 ч/млн. Навпаки при підтриманні температур процесу вище приблизно -112°C (-170°F), природний газ може містити CO_2 на рівні біля 1-4 мольних % CO_2 при температурі -112°C (-170°F) та близько 4-2% при -95°C (-139°F), і при цьому процес зрідження, відповідний даному винаходу, не стикається з проблемою замерзання.

Крім того, при наявності в природному газі помірної кількості азоту, процес, відповідний даному винаходу, не передбачає видалення азоту, оскільки при робочих тисках та температурах, відповідних даному винаходу, азот буде залишатися в рідкій фазі разом із зрідженими вуглеводнями. Можливість обмеженого застосування, а в деяких випадках, коли дозволяє склад природного газу, і виключення устаткування, необхідного для очищення газу і видалення азоту, дає суттєві технічні та економічні переваги. Ці та інші переваги винаходу можна краще зрозуміти з посиланням на фігури.

Згідно фіг 1, потік 10 природного газу, що подається, піддають процесу зрідження під тиском, переважно, перевищеним біля 3100кПа (450фн-с/кв д абс) та, більш переважно, перевищеним біля 4827кПа (700фн-с/кв д абс) та, переважно, при температурах нижче біля 40°C (104°F), проте, при бажанні, можна використати інші тиски та температури, і, відповідно, спеціалісти в даній галузі, вивчивши основні ідеї цього винаходу, можуть належним чином модифікувати систему. Якщо газовий потік 10 знаходиться під тиском, меншим, приблизно, 3102кПа (450фн-с/кв д абс), його можна стиснути придатним засобом стиснення (не показано), яке може заключати в собі один або декілька компресорів.

Потік 10, що подається та знаходиться під тиском, охолоджується одним або кількома теплообмінниками 20. Потім охолоджений потік 11 розширюють за допомогою хоч одного придатного засобу розширення 30. Розширювач може являти собою

турбоборозширювач промислового типу, на валу якого можуть знаходитись відповідні компресори, насоси або генератори, які дозволяють перетворювати роботу, отриману із розширювача, в корисну механічну та/або електричну енергію, забезпечуючи тим самим суттєву економію енергії в цілому по системі.

Засіб розширення 30 зріджує в крайньому разі частину потоку 11 природного газу, утворюючи потік 12. Потік 12 поступає в загальноприйнятий фазовий сепаратор 40, який утворює потік 13 рідкого продукту, який представляє собою ЗПГТ, температура якого вище приблизно -112°C (-170°F), а тиск достатній, щоб рідкий продукт знаходився в точці початку кипіння або нижче. ЗПГТ поступає в належний засіб зберігання або транспортування 90 (наприклад, трубопровід, стаціонарний резервуар для зберігання, або транспортний засіб, наприклад танкер, автоцистерну або залізничну цистерну), де підтримується його температура, що перевищує приблизно -112°C (-170°F). Щоб рідкий продукт залишався в рідкій фазі, температура повинна бути нижче критичної температури продукту, яка як правило не перевищує -62°C (-80°F). Сепаратор 40 виробляє також верхній паровий потік 14, який проходить через теплообмінник 20, де паровий потік 14 охолоджує потік 10, що подається. Потім один або декілька компресорів стискають паровий потік 15. На фіг 1 зображений переважний варіант використання одного компресора 50 для повторного стиснення рециркулюючого пару приблизно до тиску входячого потоку 10, що подається. Проте при реалізації цього винаходу можна використати додаткові компресори. Стиснений газовий потік 16 охолоджується в теплообміннику 60 для відновлення теплових величин і використання де-небудь ще, або подібне охолодження може виконуватись з використанням повітря або води. При виході з теплообмінника 60 охолоджений паровий потік 17 з'єднується з потоком 10 для рециркуляції. Згідно цього варіанту реалізації для зрідження потоку, що подається, не потрібна система охолодження з замкнутим циклом.

При зберіганні та транспортуванні зрідженого природного газу, як і при інших маніпуляціях, може виникнути значна кількість "випарів", тобто пари, яка з'являється в результаті випаровування зрідженого природного газу. Цей винахід особливо придатний для зрідження випаровувань, народжених ЗПГТ. Згідно фіг 1 випаровування можна вводити в процес зрідження через лінію 18 для об'єднання з паровим потоком 14, який рециркулює, згідно описаному вище. Тиск випареної пари, переважно, повинен бути рівним або близьким до тиску газового потоку 14. Якщо випари знаходяться під тиском нижчим, ніж тиск потоку 14, випари стискаються за допомогою загальноприйнятого засобу стиснення (не показано на фіг 1).

Незначну частину парового потоку 15 можна, при бажанні, виводити із процесу в якості палива (потік 19) для виробництва частини потужності, необхідної для приведення в дію компресорів та насосів у процесі зрідження. Хоч цю незначну частину можна вилучати із процесу в будь-якій точці після виходу сепаратора 40, паливо краще виво-

дити із процесу після того, як воно нагріється в теплообміннику 20.

На фіг 2 зображений другий варіант реалізації процесу, відповідного даному винаходу, і в цьому варіанті реалізації деталі, позначені тими ж цифрами, що й на фіг 1, виконують у процесі ті ж самі функції. Проте спеціалістам у даній галузі ясно, що в залежності від варіанту реалізації, устаткування процесу може мати ті або інші габарити та продуктивність, відповідні різним витратам текучого середовища, температурам та складам. Варіант реалізації, зображений на фіг 2, аналогічний варіанту реалізації, описаному з посиланням на фіг 1, за винятком того, що в даному випадку, для додаткового охолодження потоку 10, який подають, передбачений теплообмінник 70. Згідно цьому варіанту реалізації, наведеному на фіг 2, рециркулюючий потік 14 зменшується, в результаті чого необхідна менша потужність у порівнянні з варіантом реалізації, приведеному на фіг 1. Охолодження в теплообміннику 70 здійснюється за рахунок загальноприйнятої системи охолодження 80 із замкнутим циклом.

На фіг 3 зображений ще один варіант реалізації даного винаходу. Цей варіант реалізації включає в себе систему для видалення важких вуглеводнів та конструкцію розгалуження потоку газу, який знаходиться під тиском, безпосередньо перед кінцевими ступенями зрідження. Ця конструкція розгалуження потоку дозволяє знижувати загальну потребу в потужності в порівнянні з варіантом реалізації, зображеному на фіг 2, за рахунок ефективного використання головного теплообмінника зрідження 142. Конструкція розгалуження потоку також дозволяє здійснити більш гнучке оперативне управління при зміні кількості випарів газу, які виникають в операціях завантаження та вивантаження ЗПГ або ЗПГТ. Згідно фіг 3 потік 100, який подається, поступає в сепаратор 130, де потік розділяється на два окремих потоку: паровий потік 101 та рідинний потік 102. Хоч це не показано на фіг 3, до подання в сепаратор 130 потік 100, який подають, можна охолодити за допомогою будь-якої придатної системи охолодження. Рідинний потік 102 поступає в загальноприйнятий деметанізатор 131. Паровий потік 101 пропускають через два або більше компресорів та охолоджувачів для підвищення тиску парового потоку 101 від тиску газу, що подається, від приблизно 10343кПа (1500фн-с/кв д абс) до тиску 101 від тиску газу, що подається, від приблизно 10343кПа (1500фн-с/кв д абс). На фіг 3 зображений ланцюг двох компресорів 132 та 133, призначених для стиснення газу, та загальноприйнятих теплообмінників 134, 135, призначених для охолодження стисненого газу після кожного ступеня стиснення. Після виходу з теплообмінника 135 паровий потік 101 поступає у вторинний випарник 136, де одержує додаткове охолодження за рахунок рідини, одержаної в деметанізаторі 131. Із вторинного випарника 136 охолоджений потік 101 поступає в загальноприйнятий фазовий сепаратор 137. Паровий потік 103 із сепаратора 137 розширюється за допомогою загальноприйнятого турбоборозширювача 138, завдяки чому знижується тиск газового потоку перед тим, як він поступає в верхній відсік деметанізатора 131. Турбоборозширювач 138 краще забезпечує в крайньому разі частину потужності,

необхідної для приведення в дію компресора 132. Рідини із сепаратора 137 проходять по лінії 104 в середній відсік деметанізатора 131.

Потрапивши в метановідгінну колону 131, рідина стікає вниз під дією сили тяжіння. В процесі перемішування ця рідина вступає у взаємодію з висхідними парами, які вилучають із неї метан, і вона просувається вгору. В результаті такого вилучення утворюється рідкий продукт з суттєво більш низьким вмістом метану, і цей рідкий продукт виводиться із нижньої секції метановідгінної колони 131 як потік 105.

Верхній паровий потік 106, який відходить із метановідгінної колони, поступає в теплообмінник 139. Після нагрівання в теплообміннику 139 можна, при необхідності, вилучати першу частину (потік 106) нагрітого парового потоку (потік 107) для використання як паливо для станції зрідження газу. Після цього друга частина потоку 107 проходить через ланцюжок компресорів 140 та 141 та теплообмінників 142 та 143 для підвищення тиску парового потоку та його охолодження після кожного ступеня стиснення. Число ступенів стиснення переважно повинно складати від двох до чотирьох. Частину потоку, яка виходить із теплообмінника 142, відділяють та подають як потік 110 на теплообмінник 139, де холодний потік 110 додатково охолоджується.

Оптимальна доля потоку 109, відокремлена як потік ПЮ, залежить від температури, тиску та складу потоку 109. Цю оптимізацію може виконати спеціаліст у даній галузі на основі викладених тут ідей. Після виходу із теплообмінника 139 потік 109 поступає в засіб розширення, наприклад, турборозширювач 144, який в крайньому разі, частково зріджує потік 110, виробляючи потік 111. Потім потік 111 поступає в загальноприйнятий фазовий сепаратор 145. Фазовий сепаратор 145 виробляє ЗПГТ (потік 121), температура якого перевищує, приблизно, -112°C (-170°F), а тиск достатній для того, щоб рідкий продукт знаходився в точці початку кипіння або нижче. ЗПГТ поступає у відповідний засіб зберігання 153, в якому ЗПГТ зберігається при температурі вище -112°C (-170°F). Сепаратор 145 також виробляє потік 115 парів газу під тиском, який об'єднується з потоком 106 для рециркуляції.

Потік 112, який є охолодженим потоком, який входить із теплообмінника 143, поступає у відповідний засіб розширення, наприклад турборозширювач 146, в якому відбувається зниження тиску та подальше охолодження потоку 112. Турборозширювач 146, в крайньому разі частково, зріджує потік 112 природного газу. Після виходу із турборозширювача 146 частково зріджений потік поступає в фазовий сепаратор 147 для утворення рідинного потоку 113 та парового потоку 114. Паровий потік 114 переноситься назад і з'єднується з верхнім паровим потоком 106 деметанізатора для рециркуляції. Рідинний потік 113 який виходить із сепаратора 147, з'єднується з потоком 111.

Рідинний потік 105, який виходить із деметанізатора 131, поступає на загальноприйнятий стабілізатор конденсату 150, який виробляє верхній потік 116 з високим вмістом етану та інших легких вуглеводнів, головним чином метану. Верхній па-

ровий потік 116 проходить через теплообмінник 151, який охолоджує верхній пар 116. Після цього частина потоку 116 повертається в стабілізатор конденсату 150, як зворотний потік 117. Частина потоку 116, що залишилася, проходить через компресор 152, який збільшує тиск потоку 116 приблизно до тиску потоку 107. Після стиснення верхня пара 116 охолоджується, та охолоджений газ (потік 118) змішується з потоком 107. Рідина, яка виходить із нижнього відсіку стабілізатора конденсату 150, доступна як конденсатний продукт (потік 119).

Процес, відповідний даному винаходу, як показано на фіг 3, допускає при необхідності, повторне зрідження випарів. Випари можна вводити в процес, зображений на фіг 3, через лінію 120, яка об'єднується з верхнім паровим потоком 106.

Згідно з фіг 4 потік 201, що подається, поступає в сепаратор 230, де потік розділяється на два окремих потоки: паровий потік 202 та рідинний потік 203. Цей варіант реалізації ілюструє застосування зовнішнього циклу охолодження для мінімізації використаної потужності та габаритів устаткування процесу, а також застосування фракціонуючого ланцюжка для забезпечення підживлення циклу охолодження хладагентом. Рідинний потік 203 поступає в метановідгінну колону 231. Паровий потік 202 стискається шляхом однієї або декількох ступенів стиснення, переважно двох ступенів. Для простоти, на фіг 4 зображений тільки один компресор 232. Після кожного ступеня стиснення стиснуту пару краще охолоджувати за допомогою загальноприйнятого повторного або водяного охолоджувача, наприклад охолоджувача 234. Газовий потік 202, після виходу із охолоджувача 234, охолоджується вторинним випарником 235, через який протікає деметанізована рідина із метановідгінної колони 231. Після виходу із вторинного випарника 235, охолоджений потік 202 додатково охолоджується в теплообмінниках 236 та 237, які охолоджуються загальноприйнятою системою охолодження 238 з замкнутим циклом, в якій як хладагент краще використовувати пропан. Після виходу із теплообмінників 236 та 237, охолоджений природний газ знову розділяється в загальноприйнятому фазовому сепараторі 238. Паровий потік 204 із сепаратора 238 розширюється за допомогою турборозширювача 239, через що тиск газового потоку знижується перед тим, коли він поступить у верхній відсік деметанізатора 231. Краще, щоб турборозширювач 239 постачав потужністю компресор 232. Рідини із сепаратора 238 по лінії 205 поступають у середній відсік деметанізатора 231.

Верхній паровий потік 207, який виходить із деметанізатора 231, поступає в теплообмінник 240. Частина потоку 208, який виходить із теплообмінника 240, можна, при необхідності, вилучати (потік 209) для використання як паливо для станції зрідження газу. Частина потоку 209, яка залишилася, стискається за допомогою одного або декількох компресорів 241 до тиску, значення якого, краще, знаходиться приблизно між 5516кПа (800фн-с/кв д абс) та 13790кПа (2000фн-с/кв д абс). Потім стиснутий газ пропускають через ланцюжок теплообмінників 242, 243 та 244 для охоло-

дження газу для утворення потоку 210. Краще, щоб теплообмінник 242 охолоджувався повітрям або водою. Краще, щоб теплообмінники 243 та 244 охолоджувались системою охолодження 238 - тією ж системою, що використовується для охолодження теплообмінників 236 та 237. Частина потоку 210 поступає як потік 211 в теплообмінник 240, забезпечуючи робочий цикл охолодження для подальшого охолодження парового потоку 211. Потік 211, після виходу із теплообмінника 240, поступає в засіб розширення, наприклад, турборозширювач 245, який, в усякому разі частково, зріджує потік 211, утворюючи потік 212. Потік 212 поступає потім в загальноприйнятий фазовий сепаратор 246.

Частина потоку 210, яка залишилася після вилучення потоку 211, поступає у відповідний засіб розширення, наприклад турборозширювач 248, для зниження тиску газу та подальшого охолодження газового потоку. Турборозширювач 248 утворює потік 213, який хоч би частково є зрідженим природним газом. Потік 213 поступає в загальноприйнятий фазовий сепаратор 249 з метою створення рідинного потоку 214 та парового потоку 215. Потік 215 рециркулює, об'єднуючись з верхнім паровим потоком 207 деметанізатора. Рідинний потік 214 об'єднується з потоком 212 та поступає в сепаратор 246, який розділяє газ на паровий потік 216 та рідинний потік 217. Паровий потік 216, як і паровий потік 215, з'єднується з верхнім потоком 207 деметанізатора для рециркуляції. Рідинний потік 217 являє собою ЗПГТ, температура якого перевищує приблизно -112°C (-170°F), а тиск достатній для того, щоб рідина знаходилась у точці початку кипіння або нижче, і ЗПГТ поступає в резервуар зберігання 258, де зберігається при температурі, вищій -112°C (-170°F).

Рідинний потік 206, який виходить із деметанізатора 231, проходить через фракціонуючу систему, в яку входить ряд фракціонуючих колон 250, 251 та 252. Фракціонуюча колона 250 являє собою загальноприйнятий деетанізатор, який виробляє верхній потік з високим вмістом етану та інших легких вуглеводнів, головним чином, метану. Верхній паровий потік 218 проходить через теплообмінник 253 для нагрівання паливного потоку 209. Пройшовши через теплообмінник 253, паровий потік 218 поступає в загальноприйнятий фазовий сепаратор 254, який виробляє паровий потік 220 та рідинний потік 221. Рідинний потік 221 повертається в етановідгінну колону 250 як протилежний потік. Паровий потік 220 з'єднується з потоком 208.

Рідини, які виходять із нижнього відсіку деетанізатора 250, охолоджуються в теплообміннику 257 і поступають в депропанізатор 251. Верхній паровий потік із депропанізатора 251 характеризується високим вмістом пропану і може бути, при необхідності, використовуватись як пропан для системи охолодження 238. Рідини, які виходять із нижнього відсіку депропанізатора 251, поступають в дебутанізатор 252. Рідини, які виходять із нижнього відсіку дебутанізатора, вилучаються із процесу як рідкий конденсат (потік 222). Принаймні частина верхнього пару із дебутанізатора 252, надходить по лінії 223 в теплообмінник 255 для охолодження парового потоку. Цей паровий потік 223 проходить через компресор 256 з метою зби-

льшення тиску потоку 223, приблизно, до тиску потоку 208. Після виходу із компресора 256, стиснений потік з'єднується з потоком 220.

Випари можна, при необхідності, вводити в процес, відповідний даному винаходу, через лінію 224, яка об'єднується з верхнім паровим потоком 207.

Приклад

Для ілюстрації варіантів реалізації, зображених на фігурах, був змодельований баланс маси та енергії, результати якого виражені в нижченаведених таблицях 1, 3, 4 та 5. Дані, наведені в таблицях, надані для пояснення варіантів реалізації, зображених на фігурах, але це не значить, що винахід обов'язково обмежується ними. Температури та витрати, приведені в таблицях, не треба розглядати як обмеження, покладені на винахід, який може мати багато варіантів у відношенні температур та витрат у відповідності з викладеними ідеями.

Дані були одержані за допомогою комерційне доступної програми моделювання процесу, названої HYSYS™, але для одержання даних можна використати та інші комерційно доступні програми моделювання процесу, включаючи, наприклад, HYSIM™, PROII™ та ASPEN PLUS™, які добре відомі спеціалістам у даній галузі.

Потужність, яка необхідна для виробництва ЗПГТ у відповідності з цим винаходом, значно менше потужності, необхідної для виробництва ЗПГ в умовах, близьких до атмосферних, і при температурі -164.5°C (-264°F) з використанням розширюючого процесу. Цю різницю потужностей ілюструє порівняння таблиці 2 з таблицею 1. В таблиці 2 наведені результати змодельованого балансу маси та енергії з використанням потокового процесу, зображеного на фіг 1, для виробництва ЗПГ при тисках, близьких до атмосферного. Результати, наведені в таблиці 2, ґрунтуються на виробництві рідкого продукту, що знаходиться під тиском, близьким до атмосферного, значно зниженій кількості випарів, що уводяться в процес, і необхідності багатоступеневого рециркулярного стиснення (чотири рециркулярних компресора замість одного компресора 50, зображеного на фіг 1). У цих двох моделях повна витрачена потужність, необхідна для виробництва загальноприйнятого ЗПГ (дані таблиці 2), більше, ніж вдвічі перевищує потужність, необхідну для виробництва ЗПГТ (дані таблиці 1). Удосконалення процесу ЗПГТ з розширенням, наприклад наведені на фіг 2, можуть також удосконалити загальноприйнятий процес ЗПГ. Проте відношення витраченої потужності для загальноприйнятого ЗПГ та витраченої потужності для процесу ЗПГТ, відповідного здійсненню цього винаходу, не потерпає значних змін. Процес ЗПГТ, відповідний даному винаходу, потребує близько вдвічі меншу потужність, ніж у загальноприйнятому розширювальному процесі для виробництва ЗПГ при атмосферному тиску.

Дані, наведені в таблиці 3, приведені для пояснення варіанту реалізації, зображеного на фіг 2. В порівнянні з варіантом реалізації, зображеному на фіг 1, повну витрачену потужність, необхідну, згідно варіанту реалізації, зображеному на фіг 2, можна понизити з 198359кВт (268000лс) до

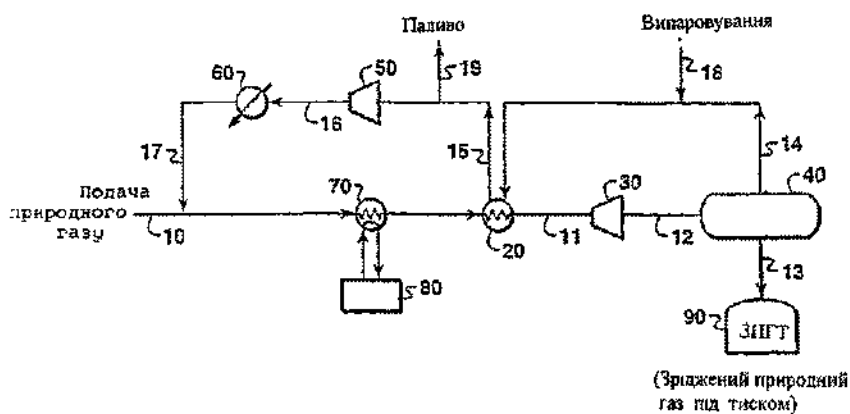
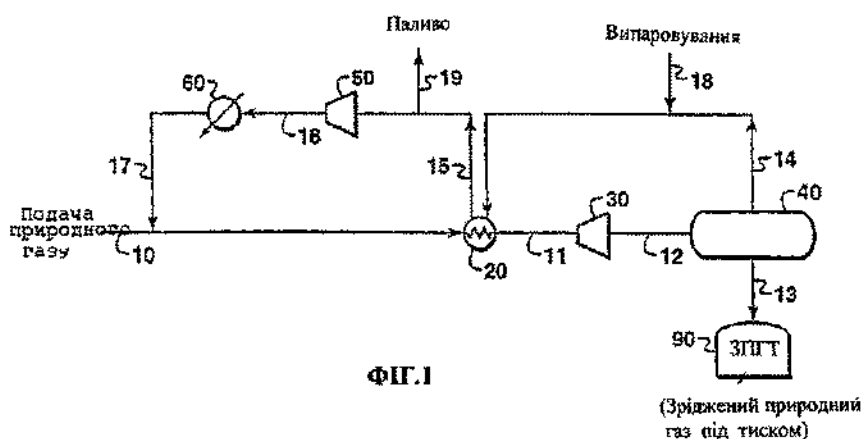
111857кВт (150000лс) завдяки підключенню пропанової системи охолодження. Спеціалісти в даній галузі могли б додатково понизити необхідну потужність шляхом оптимізації процесу.

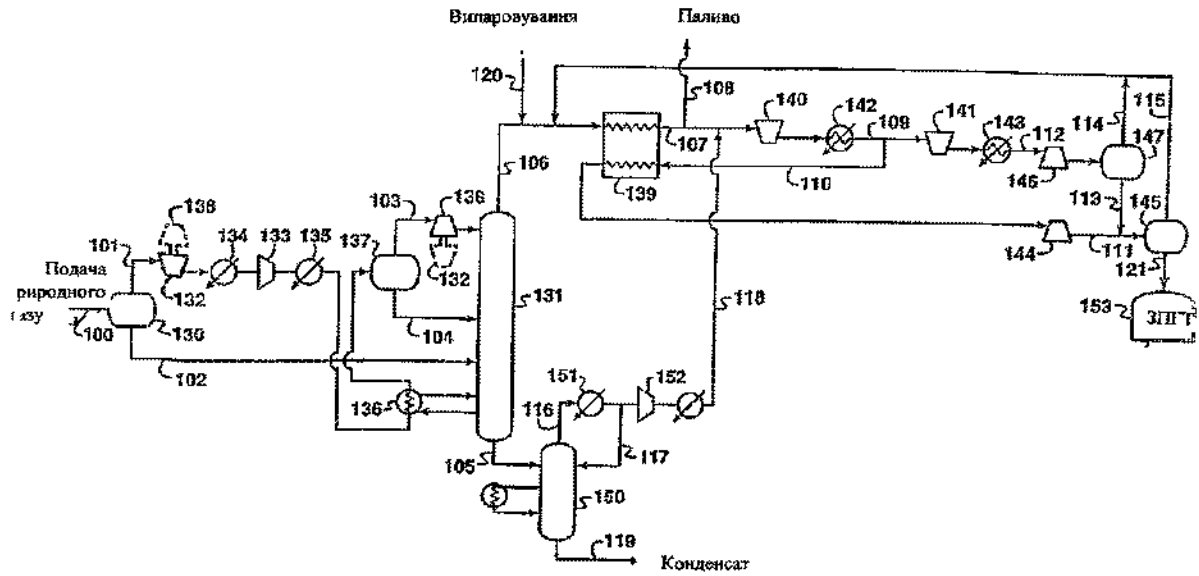
Дані, наведені в таблиці 4, приведені для пояснення варіанту реалізації, зображеного на фіг 3. Газ, який подають, згідно фіг 3 або 4 має інший склад та знаходиться в умовах, відмінних від тих, у яких знаходиться газ, що подається, згідно фіг 1 та 2.

Дані, наведені в таблиці 5, приведені для пояснення варіанту реалізації, зображеного на фіг 4. Цей процес знову демонструє переваги пропанової системи охолодження, яка значно знижує необхідну витрачену потужність у порівнянні з варіантом реалізації, зображеним на фіг 3.

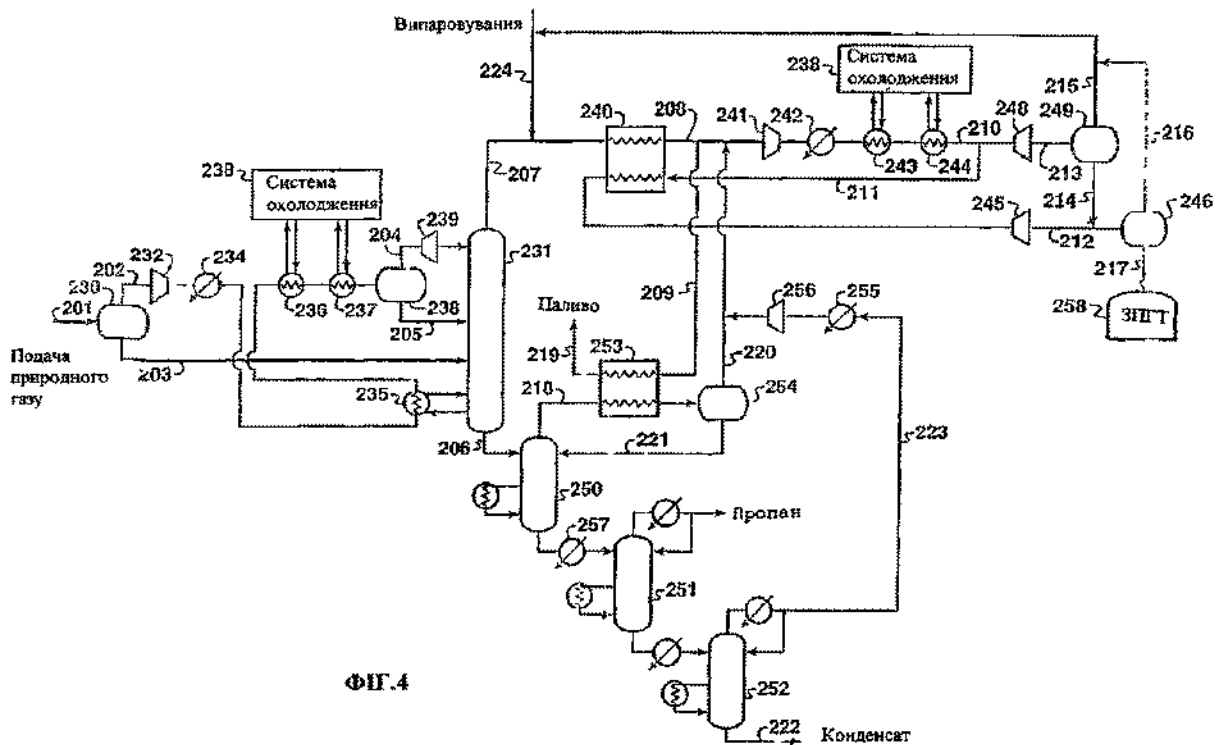
Спеціалісти в даній галузі, особливо тому, хто

скористається ідеями цього патенту, будуть очевидними численні модифікації та варіанти конкретних процесів, розглянутих вище. Наприклад, у відповідності з даним винаходом, можна використати різні температури та тиски в залежності від загальної конструкції системи та складу газу, що подається. Крім того, ланцюжок охолодження газу, який подають, можна пристосовувати або перебудувати в залежності від загальних вимог до конструкції, щоб відповідати вимогам оптимального та ефективного теплообміну. Як обговорювалось вище, конкретні розглянуті варіанти реалізації та приклади не потрібно використовувати для обмеження об'єму винаходу, який повинен визначатися нижченаведеною формулою винаходу та її еквівалентами.





ФІГ. 3



ФІГ. 4