



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 57084

(13) C2

(51) 7 F25J3/02

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

## (54) СПОСІБ ЗРІДЖЕННЯ ПОТОКУ ГАЗУ ПІД ТИСКОМ (ВАРІАНТИ)

1

(21) 99127082  
(22) 18 06 1998  
(24) 16 06 2003  
(86) PCT/US98/12872, 18 06 1998  
(31) 60/050,280  
(32) 20 08 1997  
(33) US  
(31) 60/079,782  
(32) 27 03 1998  
(33) US  
(46) 16 06 2003, Бюл. № 6, 2003 р.  
(72) Бовен Рональд Р., US, Кол Ерік Т., US, Кімбл Едвард Л., US, Томас Євген Р., US, Келлей Лонні Р., US  
(73) ЕКСОНМОБІЛ АПСТРІМ РІСЕРЧ КОМПАНІ, US  
(56) пат US № 5502972  
(57) 1 Спосіб зрідження потоку газу під тиском (10), багатого на метан який відрізняється тим, що містить операції зрідження потоку газу в теплообміннику (33), що охолоджується охолоджуючою системою (45) з багатокомпонентним холодоагентом з замкнутим циклом для одержання багатого на метан рідкого продукту (29), який має температуру вище приблизно -112°C (-170°F) і тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був у точці початку його кипіння або нижче неї, і розміщення рідкого продукту в засіб для зберігання (50) при температурі вище приблизно -112°C (-170°F)  
2 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що містить операцію зниження тиску рідкого продукту розширювальним засобом (34) перед розміщенням рідкого продукту в засіб для зберігання (50), причому вказаний розширювальний засіб (34) формує потік рідини (20) з температурою вище приблизно -112°C (-170°F) і тиском, достатнім для того, щоб рідкий продукт був у точці початку кипіння або нижче неї  
3 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що містить операцію підведення у вказаний теплообмінник (33) випарів (22), що отримані від випарювання зрідженого природного газу, причому випари щонайменше частково зріджуються теплообмінником (33), і стиснення (36) зріджених випарів, при цьому вказані зріджені випари під тиском мають температуру вище приблизно -112°C (-170°F) і тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був у точці

2

початку його кипіння або нижче неї  
4 Спосіб за п 3, який відрізняється тим, що теплообмінник (33) містить першу зону охолодження (33a) і другу зону охолодження (33b), що працює при нижчій температурі, ніж перша зона охолодження, і здійснюють підвід потоку газу під тиском (10) в першу зону охолодження (33a) для зрідження, і підвід випарів (22) в другу зону охолодження (33b) для зрідження  
5 Спосіб за п 4, який відрізняється тим, що містить операції введення частини випарів (22) перед тим, як випари проходять в теплообмінник, і підведення виведеної частини випарів в першу зону охолодження (33a) для нагрівання виведених випарів і для охолодження потоку газу (17) в теплообміннику (33), і використання нагрітих виведених випарів як палива (38)  
6 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що містить стиск (39) випарів (22), що отримані від випарювання зрідженого природного газу перед отриманням тиску, що наближається до тиску потоку (17) газу, який подається в теплообмінник (33), і комбінування стиснених випарів (32) з потоком газу (17) перед тим, як потік газу надійде в теплообмінник (33)  
7 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що містить проходження випарів (22), що отримані від випарювання зрідженого природного газу, в теплообмінник (33) для охолодження випарів, стиск (39) випарів і комбінування стиснених випарів (32) з потоком газу (17), і проходження комбінованих випарів і потоку газу в теплообмінник (33) для зрідження  
8 Спосіб за п 7, який відрізняється тим, що містить, після проходження випарів через теплообмінник (33) і до стиску (39) охолоджених випарів, виведення частини (38) випарів і використання виведеної частини як палива  
9 Спосіб за п 3, який відрізняється тим, що теплообмінник (33) містить першу зону охолодження (33a), другу зону охолодження (33b) і третю зону охолодження (33c), причому вказана друга зона охолодження працює з температурою, що нижче температури першої зони охолодження і вище температури третьої зони охолодження, містить операції підводу випарів (22) в третю зону охолодження (33c) для зрідження випарів, виведення частини випарів перед проходженням через третю

(13) C2

(11) 57084

(19) UA

зону охолодження, і проходження виведених випарів через другу зону охолодження (33b) для нагріву виведених випарів і використання нагрітих виведених випарів як палива (38)

10 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що потік газу містить метан і вуглеводневі компоненти, які важчі за метан, містить видалення більшої частини більш важких вуглеводнів шляхом фракціонування (80) для одержання багатого на метан потоку пари (16) і багатого на більш важкі вуглеводні потоку рідини (12), причому потік пари потім зріджується в теплообміннику (33)

11 Спосіб за п 10, який відрізняється тим, що багатий на більш важкі вуглеводні потік рідини (12) додатково фракціонується (35) для одержання багатого на етан пари (13), яку комбінують з багатим на метан потоком (16)

12 Спосіб за п 10, який відрізняється тим, що містить охолодження (33a) живильного потоку (10) перед фракціонуванням (80) живильного потоку

13 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що теплообмінник (33) містить першу зону охолодження (33a) і другу зону охолодження (33b), вказана перша зона охолодження охолоджується проходженням багатокомпонентного рідкого холодоагенту (18) через першу зону охолодження (33a) для охолодження рідкого холодоагенту, проходження рідкого холодоагенту через розширювальний засіб (47) для додаткового зниження температури рідкого холодоагенту, і проходження холодоагенту з розширювального засобу через першу зону охолодження (33a), проходження багатокомпонентного пароподібного холодоагенту (21) через першу зону охолодження (33a) і другу зону охолодження (33b) для зниження його температури, проходження охолодженого пароподібного холодоагенту через розширювальний засіб (46), проходження розширеного холодоагенту через другу зону охолодження (33b) і потім через першу зону охолодження (33a), і зрідження потоку газу (17) пропусканням потоку газу через першу зону охолодження (33a) і другу зону охолодження для одержання рідкого продукту (19), що має температуру вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$  ( $-170^{\circ}\text{F}$ ) і тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був в точці початку його кипіння або нижче неї

14 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що спосіб містить операції

a) охолодження (33a) потоку газу (10) для одержання часткового зрідження потоку газу,

b) розділення частково конденсованого потоку газу на рідкий потік (12), багатий на вуглеводні, що є більш важкими, ніж метан, і потік пари (16), багатий на метан,

c) фракціонування (35) зрідженої частини в щонайменше одній фракціонуючій колоні для одержання багатого на етан потоку пари (13) і потоку рідини (14), багатого на вуглеводні, що є більш важкими, ніж етан, і видалення потоку рідини (14) з процесу,

d) комбінування багатого на метан потоку пари (16) і багатого на етан потоку пари (13) і підведення комбінованого потоку в теплообмінник (33), внаслідок чого комбінований потік зріджується, і

e) перед розміщенням комбінованого потоку ріди-

ни в засіб для зберігання (50), розширення (34) щонайменше частини недостатньо охолодженої рідини для одержання рідкого продукту, що має температуру вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$  ( $-170^{\circ}\text{F}$ ) і тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був у точці початку кипіння або нижче неї

15 Спосіб за п 14, який відрізняється тим, що охолодження потоку природного газу в ході операції (a) щонайменше частково забезпечується пропановою охолоджуючою системою з замкнутим циклом (40)

16 Спосіб за п 14, який відрізняється тим, що додатково містить операції підведення в теплообмінник (33) випарів (22), що одержані від випарювання зрідженого природного газу, для одержання другого потоку зрідженого природного газу (28), що має температуру вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$  ( $-170^{\circ}\text{F}$ ) і тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був у точці початку його кипіння або нижче неї, і комбінування другого потоку зрідженого природного газу (28) з розширеним зрідженим газом (20) операції (e)

17 Спосіб за п 14, який відрізняється тим, що теплообмінник (33) операції (d) містить першу зону охолодження (33a) і другу зону охолодження (33b), що працює з більш низькою температурою, ніж перша зона охолодження, в якому багатий на метан потік (16) операції (b) і багатий на етан потік (13) операції (c) проходять першу зону охолодження, і випари (22), що одержані від випарювання зрідженого природного газу, що мають температуру вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$  ( $-170^{\circ}\text{F}$ ), надходять в другу зону охолодження (33b) для зрідження

18 Спосіб за п 10, який відрізняється тим, що потік газу (10) вводять у процес з підвищеною температурою в межах діапазону від приблизно  $0^{\circ}\text{C}$  до приблизно  $50^{\circ}\text{C}$  і з підвищеним тиском в межах діапазону від приблизно 2758 кПа (400 psia) до приблизно 8274 кПа (1200 psia), і зріджений продукт (20), одержаний даним способом, має тиск більше 1724 кПа (250 psia) і температуру вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$  ( $-170^{\circ}\text{F}$ )

19 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що охолоджуюча система з багатокомпонентним холодоагентом (45) має холодоагент, що містить метан, етан, пропан, бутан, пентан, вуглекислий газ, сірчистий водень і азот

20 Спосіб зрідження потоку природного газу (10) під тиском, такий, наприклад, що містить метан, пропан і більш важкі вуглеводні, для виробництва зрідженого природного газу (20), що має тиск вище приблизно 1724 кПа (250 psia) і температуру вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$  ( $-170^{\circ}\text{F}$ ), який відрізняється тим, що містить операції

(a) підведення потоку природного газу (10) в першу зону охолодження (33a) багатокомпонентного теплообмінника, причому багатокомпонентний теплообмінник містить три зони охолодження, при цьому друга зона охолодження (33b) працює з температурою нижче температури першої зони охолодження (33a) і вище температури третьої зони охолодження (33c),

(b) фракціонування живильного потоку охолодженого природного газу (11e) для відокремлення багатого на метан потоку (16) від потоку більш важких вуглеводнів (12),

(с) фракціонування (35) потоку більш важких вуглеводнів (12) для одержання багатого на етан потоку (13) і потоку, що містить вуглеводні (14) більш важкі, ніж етан, і видалення з процесу вуглеводнів більш важких, ніж етан,  
 (d) комбінування багатого на метан потоку (16) операції (b) і багатого на етан потоку (13) операції (с) і проходження комбінованого потоку в другу зону охолодження (33b) охолоджуючої системи з багатокомпонентним холодоагентом і охолодження комбінованого потоку для одержання недостатньо охолодженого конденсату (19),  
 (e) розширення (34) щонайменше частини недостатньо охолодженого конденсату для одержання зрідженого природного газу (20), що має тиск вище приблизно 1724 кПа (250 psia) і температуру вище приблизно -112°C (-170°F), і  
 (f) підведення в третю зону охолодження охолоджуючої системи з багатокомпонентним холодоагентом газу, що одержаний від випарювання зрідженого природного газу, що міститься в ємності для зберігання (50), для одержання другого потоку зрідженого природного газу, і комбінування другого потоку зрідженого природного газу зі зрідженим природним газом, що одержаний в ході операції (e)  
 21 Спосіб зрідження потоку природного газу (18) під тиском, такого, наприклад, що містить метан, пропан і більш важкі вуглеводні, для виробництва зрідженого природного газу, що має тиск вище приблизно 1724 кПа (250 psia) і температуру вище приблизно -112°C (-170°F), який **відрізняється** тим, що містить операції  
 (a) охолодження (26) потоку природного газу за допомогою пропанової охолоджуючої системи

(40),  
 (b) фракціонування (80) потоку охолодженого природного газу для розділення багатого на метан потоку (16) і потоку більш важких вуглеводнів (12),  
 (с) фракціонування (35) потоку більш важких вуглеводнів (12) для одержання багатого на етан потоку (13) і щонайменше одного потоку (14), що містить вуглеводні більш важкі, ніж етан, і видалення вуглеводнів (14) більш важких, ніж етан, з процесу,  
 (d) комбінування багатого на метан потоку (16) операції (b) і багатого на етан потоку (13) операції (с) і проходження комбінованого потоку в першу зону охолодження (33a) охолоджуючої системи (33) з багатокомпонентним холодоагентом, що має першу зону охолодження (33a), що охолоджується багатокомпонентною рідиною з багатокомпонентною парою в теплообмінній взаємодії з комбінованим багатим на метан потоком і багатим на етан потоком для виробництва недостатньо охолодженого конденсату (19), і  
 (e) розширення (34) щонайменше частини недостатньо охолодженого конденсату для одержання зрідженого природного газу (20), що має тиск вище приблизно 1724 кПа (250 psia) і температуру вище приблизно -112°C (-170°F),  
 (f) підведення в другу зону охолодження (33b) охолоджуючої системи з багатокомпонентним холодоагентом газу (22), що отриманий від випарювання зрідженого природного газу, що міститься в ємності для зберігання, для одержання другого потоку зрідженого природного газу (28), і комбінування другого потоку зрідженого природного газу зі зрідженим природним газом, що одержаний в ході операції (e)

Винахід відноситься до способу зріджування природного газу, а саме до способу виробництва природного газу під тиском (СВГПТ)

Завдяки його якостям, що відносяться до чистоти горіння та зручності використання, природний газ за останні роки почав широко застосовуватись. Багато джерел природного газу розташовані у віддалених регіонах, на великих відстанях від будь-яких комерційних ринків газу. Іноді для транспортування добутого природного газу до комерційних ринків використовують трубопроводи. Коли транспортування по трубопроводах неможливо, добутий природний газ часто переробляють в зріджений природний газ (ЗПГ) для транспортування на ринок.

Одним з характерних ознак станції для зріджування природного газу є інвестиційні вкладення, які необхідні для створення станції. Обладнання, що використовується для зрідження природного газу, в цілому, достатньо дороге. Станція для зрідження газу базується на декількох базових системах, які включають в себе обладнання для видалення домішок з газу, зрідження, охолодження, енергетичне обладнання та спорудження для зберігання та навантажування на транспортні за-

соби. Хоча вартість станції для зріджування газу широко коливається в залежності від місця розташування станції, але звичний типовий проект такої станції може коштувати від 5 до 10 мільярдів доларів США, включаючи витрати на розробку родовища. Холодильні системи станції можуть бути оцінені в суму, що складає до 30% витрат.

При розробці станції для зріджування природного газу враховують три найбільш важливі обставини: (1) вибір циклу зрідження, (2) матеріали, що використовують для контейнерів, трубопроводів та іншого обладнання, та (3) операції способу перетворення потоку природного газу, що подається, в зріджений природний газ.

Холодильні системи для зріджування природного газу є дорогими у зв'язку з тим, що для зріджування природного газу потрібне дуже сильне охолодження. Типовий потік природного газу надходить до установки для зріджування природного газу під тиском від біля 4830 кПа до біля 7600 кПа та з температурами від біля 20°C до біля 40°C. Природний газ, який переважно є метаном, не може бути зріджений простим підвищенням тиску, як у випадку з більш важкими вуглеводнями, що використовують в енергетичній галузі. Критична тем-

пература метану складає  $-82,5^{\circ}\text{C}$ . Це означає, що метан може бути зріджений тільки при температурі, що є нижчою за цю, незалежно від тиску, що застосовується. Оскільки природний газ є сумішшю газів, він зріджується в межах діапазону температур. Критична температура природного газу звичайно знаходиться в межах від біля  $-85^{\circ}\text{C}$  до біля  $-62^{\circ}\text{C}$ . Як правило, склади природного газу за атмосферним тиском будуть зріджуватись в температурному діапазоні від біля  $-165^{\circ}\text{C}$  до біля  $-155^{\circ}\text{C}$ . Оскільки холодильне обладнання складає таку значну частину витрат на обладнання для зріджування природного газу, були прикладені зусилля для зменшення витрат на охолодження.

Хоча для охолодження природного газу використовувалось багато циклів охолодження природного газу, використовувалось багато циклів охолодження. Але циклами, що найширше використовуються на цей час на станціях для зріджування природного газу, є три цикли: (1) "каскадний цикл", в якому використовують багато однокомпонентних охолоджуючих речовин в теплообмінниках, що розташовані послідовно для зменшення температури газу до температури зрідження, (2) "цикл розширення", який розширює газ від високого тиску до низького тиску з відповідним зменшенням температури, та (3) "цикл багатокомпонентного охолодження", в якому використовують багатокомпонентну охолоджуючу речовину в спеціально сконструйованих теплообмінниках. В більшості циклів зрідження природного газу використовують вірації або комбінації цих трьох базових типів.

Система зі змішаним холодоагентом включає в себе циркуляцію багатокомпонентного охолодження потоку, звичайно після попереднього охолодження до приблизно  $-35^{\circ}\text{C}$  за допомогою пропану. Типова багатокомпонентна система буде містити метан, етан, пропан та, можливо, інші легкі компоненти. Без попереднього охолодження пропану до багатокомпонентного складу можуть бути включені більш важкі компоненти, такі як бутани та пентани. Природа циклу зі змішаним холодоагентом така, що теплообмінники, які використовують в процесі обробки, повинні, згідно з практикою, що встановилася, працювати з двофазовим холодоагентом. Це потребує використання великих спеціалізованих теплообмінників. Змішані холодоагенти демонструють бажані характеристики конденсації в межах діапазону температур, що дозволяє використовувати конструкцію теплообмінних систем, яка може бути ефективнішою з точки зору тепмодинаміки, ніж системи з холодоагентом без домішок. Приклади багатокомпонентних способів охолодження описані в патентах США №№ 5502972, 5497626, 3763638 та 4586942.

Матеріали, що використовують на звичайних станціях для зріджування природного газу, також впливають на вартість станції. Контейнери, трубопроводи та інше обладнання, що використовується на станціях для зріджування природного газу, як правило, виконані з найменше частково з алюмінію, нержавіючої сталі або сталі з високим вмістом нікелю для забезпечення необхідної міцності та стійкості до розриву за низьких температур.

На звичайних станціях для зріджування природного газу вода, вуглекислий газ, сірчисті сполуки, такі як сірчистий водень, та інші кислі гази, пентан і більш важкі вуглеводні, в тому числі бензол, повинні бути по суті видалені з процесу обробки природного газу до рівнів, що досягають часток на мільйон. Частина з цих сполук буде замерзати, що буде ставити проблему закупорювання в обробляючому обладнанні. Інші сполуки, такі, що містять сірку, як правило, видаляють для відповідності до комерційної діяльності. На звичайній станції для зрідження природного газу для видалення вуглекислого газу і кислих газів потрібне обладнання для очистки газу. В обладнанні для очистки газу, як правило, використовують регенеративний процес з хімічним та/або фізичним розчиненням, і воно потребує значних капіталовкладень. Окрім того, експлуатаційні витрати також великі. Для видалення водяної пари потрібні дегідратори з сухим шаром, такі як молекулярні сита. Для видалення вуглеводнів, які викликають проблеми закупорювання, як правило, використовуються колонна для промивки газу та фракціонує обладнання. На звичайному підприємстві по зрідженню природного газу також добувають ртуть, оскільки вона може викликати пошкодження обладнання, яке зроблене з алюмінію. Окрім того, більшу частину азоту, який може бути присутнім в природному газі, видаляють після обробки, оскільки азот не залишається в рідкій фазі під час транспортування звичайного зрідженого природного газу, і наявність парів азоту в контейнерах зі зрідженим природним газом в пункті доставки є небажаною.

В промисловості залишається невідкладною потреба в удосконаленні способу зрідження природного газу, який знижує до мінімуму кількість холодильного обладнання і потрібну в процесі обробки потужність.

Задачею винаходу є вдосконалення способу зниження багатого на метан живильного потоку газу. Живильний потік газу має тиск вище приблизно 3100 кПа. Якщо тиск занадто низький, газ може бути спочатку стиснутий.

Поставлена задача вирішується тим, що газ зріджується охолоджуючою системою з багатокомпонентним холодоагентом для виробництва рідкого продукту, що має температуру вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$  та тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був в точці початку кипіння або нижче її, причому вказаний тут продукт називається зрідженим природним газом під тиском (ЗПГПТ). Перед зрідженням охолодженням багатокомпонентним холодоагентом газ, переважно, охолоджують рециркулюючими парами, які проходять через розширюючий засіб без його зрідження. Зріджений природний газ під тиском розміщують в засіб для зберігання за температурою вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$ .

В іншому прикладі здійснення винаходу, якщо живильний газ містить компоненти, що важчі за метан, переважаючу частину більш важких вуглеводнів видаляють способом фракціонування перед зрідженням шляхом охолодження багатокомпонентним холодоагентом.

Ще в одному прикладі здійснення цього вина-

ходу випари, що отримані від випарювання зрідженого природного газу, можуть додаватися до живильного газу для зрідження шляхом охолодження багатокомпонентним холодоагентом для виробництва зрідженого природного газу під тиском

Спосіб, що відповідає цьому винаходу, може бути використаний як для первинного зрідження природного газу у джерела постачання для зберігання та транспортування, так і для повторного зрідження парів природного газу, що виходять під час зберігання та навантаження на транспортні засоби. Відповідно, метою цього винаходу є отримання вдосконаленої системи зрідження для зрідження та або повторного зрідження природного газу. Іншою метою цього винаходу є отримання вдосконаленої системи зрідження, яка потребує суттєво меншу потужність для зрідження, ніж в системах попереднього рівня техніки. Ще однією метою цього винаходу є отримання вдосконаленого способу зрідження, який є економічним і ефективним в здійсненні. Охолодження до дуже низької температури згідно зі звичайним способом зрідження природного газу є дуже дорогим порівняно з відносно помірним охолодженням, яке необхідно для виробництва зрідженого природного газу під тиском згідно з практикою цього винаходу.

Цей винахід та його переваги будуть більше зрозумілими при зверненні до наступного докладного опису та креслень, що додаються, які є блок-схемами типових прикладів здійснення цього винаходу.

Фіг 1 зображує блок-схему одного прикладу здійснення цього винаходу, що демонструє охолоджуючу систему з багатокомпонентним холодоагентом з замкнутим циклом для виробництва зрідженого природного газу під тиском.

Фіг 2 зображує блок-схему другого прикладу здійснення цього винаходу, в якому природний газ фракціонується перед зрідженням для отримання зрідженого природного газу під тиском.

Фіг 3 зображує блок-схему третього прикладу здійснення цього винаходу, в якому охолоджуючу систему з однокомпонентним холодоагентом з замкнутим циклом використовують для попереднього охолодження потоку природного газу перед зрідженням з отриманням зрідженого природного газу під тиском.

Фіг 4 зображує блок-схему четвертого прикладу здійснення цього винаходу, в якому охолоджуюча система з багатокомпонентним холодоагентом з замкнутим циклом попередньо охолоджує живильний потік природного газу перед тим, як фракціонуюча та охолоджуюча система зріджує живильний потік природного газу для отримання зрідженого природного газу під тиском.

Фіг 5 зображує блок-схему п'ятого прикладу здійснення цього винаходу, в якому природний газ фракціонується а потім зріджують в теплообміннику, який охолоджується другою охолоджуючою системою з замкнутим циклом, в якій як холодоагент використовують як багатокомпонентну рідину, так і багатокомпонентний пар. Випари повторно зріджують за допомогою тільки пара охолоджуючої системи з багатокомпонентним холодоагентом.

Фіг 6 зображує блок-схему шостого прикладу

здійснення цього винаходу, в якому випарення та живильний природний газ змішують перед зрідженням за допомогою охолоджуючої системи з багатокомпонентним холодоагентом для отримання зрідженого природного газу під тиском.

Фіг 7 зображує блок-схему сьомого прикладу здійснення цього винаходу, в якому живильний природний газ фракціонується а потім зріджують в теплообміннику, який охолоджується другою охолоджуючою системою з замкнутим циклом, в якій використовується в якості холодоагентів як багатокомпонентна рідина, так і багатокомпонентна пара.

Фіг 8 зображує блок-схему процесу розширення, що використовується в прикладах здійснення винаходу, наведених на Фіг 2, 5, 6 та 7.

Фіг 9 зображує блок-схему переважної охолоджуючої системи з багатокомпонентним холодоагентом, що використовується в прикладах здійснення винаходу, наведених на Фіг 1, 2, 3, 4 та 6.

Фіг 10 зображує блок-схему переважної охолоджуючої системи з багатокомпонентним холодоагентом, що використовується в прикладах здійснення винаходу, наведених на Фіг 5 та 7.

Блок-схеми, наведені на фігурах, являють різні приклади здійснення способу, що відповідає цьому винаходу. Фігури не призначені для виключення з об'єму винаходу інших варіантів здійснення винаходу, які можуть бути результатом нормальних та очікуваних модифікацій цих конкретних прикладів. Різні необхідні підсистеми, такі як насоси, змішувачі потоків, системи управління та датчики, були виключені з фігур для простоти та наочності.

Згідно з цим винаходом використовується охолоджуюча система з багатокомпонентним холодоагентом для зрідження природного газу для виробництва насиченого метаном рідкого продукту, що має температуру вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$  та тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був в точці початку його кипіння або нижчий. Цей багатий на метан продукт в цьому описі іноді називають зрідженим природним газом під тиском (ЗПГПТ). Термін "точка початку кипіння" означає температуру та тиск, при яких рідина починає перетворюватись в газ. Наприклад, якщо деяка кількість зрідженого природного газу під тиском утримується при постійному тиску, але його температура підвищується, температура, при якій бульбашки газу починають формуватись в зрідженому природному газі під тиском, є точкою початку кипіння. Таким же чином, якщо деяка кількість зрідженого природного газу під тиском утримується при постійній температурі, але його тиск зменшується, тиск, при якому починає формуватись газ, утворює точку початку кипіння. В точці початку кипіння суміш є насиченою рідиною.

Використання охолоджуючої системи з багатокомпонентним холодоагентом, згідно з цим винаходом, потребує менше потужності для зрідження природного газу, ніж способи з багатокомпонентними холодоагентами, що використовувались в минулому, і обладнання, що використовується згідно зі способом, що відповідає цьому винаходу, може бути виконано з дешевших матеріалів. На відміну від цього способи виробництва зрідженого природного газу при атмосферних тисках та таких

низьких температурах, як  $-160^{\circ}\text{C}$ , потребують того, щоб щонайменше частина обробляючого обладнання була виконана з дорогих матеріалів для безпеки праці

Потужність, яка необхідна для зрідження природного газу згідно з винаходом, значно зменшена порівняно з потужністю, яка споживається звичайною станцією для зрідження природного газу. Зменшення необхідної для охоплення потужності, що необхідна для здійснення способу цього винаходу, призводить до значного зменшення капітальних витрат, пропорційному зменшенню виробничих витрат і збільшенню ефективності та надійності, таким чином, значно збільшуючи економічність виробництва зрідженого природного газу

При робочих тисках і температурах, які відповідають цьому винаходу, сталь з вмістом біля 3,5 мас % нікеля може використовуватись в трубопроводах та обладнанні в самих холодних робочих зонах процесу зрідження, тоді як більший вміст біля 9 мас % нікелю або алюмінію, як правило, необхідно для такого ж обладнання для здійснення звичайного способу зрідження природного газу. Це дає ще одне значне скорочення витрат на здійснення способу, що відповідає цьому винаходу, порівняно з відомими способами зрідження природного газу

Першою важливою обставиною при криогенній обробці природного газу є забруднення. Сирий природний газ, як вихідна сировина, що придатна для здійснення способу цього винаходу може містити природний газ, який отримують із свердловини з сирою нафтою (супутний газ) або з газової свердловини (незв'язаний газ). Склад природного газу може значно мінятися. Стосовно даного випадку, потік природного газу містить метан ( $\text{C}_1$ ) як головний компонент. Природний газ, як правило, буде містити етан ( $\text{C}_2$ ), вищі вуглеводні ( $\text{C}_3$ ) та малі кількості домішок, таких як вода, вуглекислий газ, сірчистий водень, азот, бутан, вуглеводні з шістьма або більше вуглеродними атомами в молекулі, бруд, сірчисте залізо, парафін та сиру нафту. Розчинність цих домішок міняється в залежності від температури, тиску та складу. За криогенних температур  $\text{CO}_2$ , вода та інші домішки можуть формувати тверді частинки, які можуть забивати проходи для потоків в криогенних теплообмінниках. Ці потенційні труднощі можуть бути переборені видаленням таких домішок, якщо умови в їх чистоту компоненті, межа твердої фази за визначених температур та тиску прогноуються. В наступному опису винаходу припускається, що потік природного газу належним чином оброблено для видалення сірчистих сполук та вуглекислого газу та висушено для видалення води з використанням добре відомих способів для отримання потоку "десульфованого сухого" природного газу. Якщо потік природного газу містить важкі вуглеводні, які могли замерзнути при стисканні, або важкі вуглеводні небажані в складі зрідженого природного газу під тиском, важкий вуглеводень може бути видалений в процесі фракціонування до виробництва зрідженого природного газу під тиском, як описано нижче докладніше

Одною перевагою цього винаходу є те, що

більш високі робочі температури припускають вміст в природному газі більш високих рівнів концентрації компонентів, що заморожуються, ніж це було би можливо при звичайному способі зрідження природного газу. Наприклад, на звичайній станції для зрідження природного газу, яка виробляє зріджений природний газ при температурі  $-160^{\circ}\text{C}$  вміст  $\text{CO}_2$  повинен бути нижчим – приблизно 50 частинок на мільйон для усунення проблем заморожування. В протилежність цьому, при підтримці робочих температур вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$ , природний газ може містити  $\text{CO}_2$  на таких високих рівнях, як приблизно 1,4 молекулярного %  $\text{CO}_2$  при температурах  $-122^{\circ}\text{C}$  та 2,2% при  $-95^{\circ}\text{C}$  без виникнення проблем замерзання при здійсненні способу зрідження згідно з цим винаходом

Крім того, при здійсненні способу, що відповідає цьому винаходу, немає необхідності у видаленні помірних кількостей азоту, що містяться в природному газі, оскільки азот буде залишатися в рідкій фазі разом зі зрідженими вуглеводнями при робочих тисках та температурах, що відповідають цьому винаходу. Здатність зменшення, або в деяких випадках виключення обладнання, що використовують для очистки газу та видалення азоту, дає значні технічні та економічні переваги. Ці та інші переваги винаходу будуть краще зрозумілі з посиланням на фігури

Як показано на Фіг. 1 живильний потік 10 стиснутого природного газу, переважно, потрапляє в процес зрідження під тиском, що приблизно дорівнює 1724кПа, і переважно, вище 4827кПа, і переважно при температурах, що нижче приблизно  $40^{\circ}\text{C}$ . Але, при необхідності, можуть використовуватись різні температури та тиски і система може бути певним чином модифікована спеціалістами в цій галузі техніки, приймаючи до уваги сутність цього винаходу. Якщо потік 10 газу має тиск нижче приблизно 1724кПа, він може бути стиснутий придатним компресорним засобом (не показано), який може містити один або більше компресорів

Живильний потік 10 природного газу проходить в живильний охолоджувач 26, який може бути будь-якою охолоджуючою системою, що охолоджує потік природного газу до температури нижче  $30^{\circ}\text{C}$ . Охолодження переважно здійснюють шляхом теплообміну з повтрям або водою. Охолоджений потік 11, що виходить з живильного охолоджувача 26, подається в першу зону 33а охолодження звичайного теплообмінника 33 з багатоконтактним холодоагентом, який доступний на ринку та відомий спеціалістам в цій галузі техніки. Цей винахід не обмежується будь-яким типом теплообмінника, але з міркувань економічності переважними є теплообмінники з пластинчастою ребристою поверхнею, спіральними пластинами та з холодильною камерою. Переважно всі потоки, що містять як рідку, так і пароподібну фазу, які прямують в теплообмінники, мають рідку та газоподібну фази, що рівномірно розподіляються вздовж площин поперечного перетину проходів, в які вони потрапляють. Для отримання цього, переважно застосовувати роздільний пристрій для окремих пароподібного та рідкого потоків. Розділювачі можуть вводитися в багатозонні потоки, при необхідності, для розділення потоків на рідкий

та пароподібний потоки. Наприклад, розділювачі можна було б вводити в потоки 18 та 24, що наведені на Фіг 1 (такі розділювачі не наведені на Фіг 1), перед тим, як потоки 18 і 25 надійдуть в зони 33а та 33b охолодження, відповідно.

Теплообмінник 33 може мати одну або більше зон охолодження, переважно, щонайменше дві зони. Теплообмінник 33, показаний на Фіг 1, має дві зони 33а та 33b охолодження. Потік 11 природного газу зріджується в зоні 33а охолодження шляхом теплообміну з холодоагентом з охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом, яка називається в цьому опису системою МКХ 45. Переважний варіант виконання системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом показаний на Фіг 9 і детальніше буде описаний нижче. Холодоагент в системі з багатокомпонентним холодоагентом виконаний з суміші вуглеводнів, які можуть включати, наприклад, метан, етан, пропан, бутани та пентани. Переважний холодоагент має наступний склад в молекулярних % метан (25,8%), етан (50,6%), пропан (1,1%), і-бутан (8,6%), н-бутан (3,7%), та н-пентан (1,2%). Концентрація компонентів багатокомпонентного холодоагенту може регулюватися для відповідності характеристикам охолодження та конденсування живильного газу, що охолоджується, та вимогам до криогенної температури процесу зрідження. Як приклад температури і тиску, придатних для охолоджуючої системи з багатокомпонентним холодоагентом з замкнутим циклом, багатокомпонентний холодоагент в лінії 27 під тиском 345кПа і з температурою 10°C призначений для звичайного стиснення і охолодження в системі 45 з багатокомпонентним холодоагентом для отримання потоку 18 багатокомпонентної рідини, що має тиск 1207кПа і температуру 13,3°C. Потік 18 охолоджується в зоні 33а охолодження і додатково охолоджується в зоні 33b охолодження для отримання холодного потоку 23, що виходить з зони 33b охолодження з температурою – 99°C. Потік 23 потім розширюється звичайним клапаном 46 Джоуля-Томпсона для отримання потоку 24 під тиском 414кПа та з температурою – 108°C. Потік 24 потім нагрівається в зоні 33b охолодження і потім додатково нагрівається в зоні 33а охолодження для отримання потоку 27 з температурою 10°C і тиском 345кПа. Багатокомпонентний холодоагент потім рециркулює в охолоджуючу систему з замкнутим циклом. Згідно зі способом зрідження, що показаний на Фіг 1, система 45 з багатокомпонентним холодоагентом є єдиною охолоджуючою системою з замкнутим циклом, що використовується для виробництва зрідженого природного газу під тиском.

Потік 19 зрідженого природного газу має температуру вище приблизно – 112°C та тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був в точці початку його кипіння або нижче її. Якщо тиск потоку 19 вище тиску, що потрібен для підтримання потоку 10 в рідкій фазі, потік 19 може, при необхідності, проходити через одно або більше розширювальних засобів, таких як гідравлічна турбіна 34, для отримання зрідженого природного газу під тиском, що має більш низький тиск, але все ще має температуру вище приблизно – 112°C та тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був в точці поча-

тку його кипіння або нижче неї. Потім зріджений природний газ під тиском направляють по лініях 20 і 29 в придатний засіб 50 для зберігання та транспортування, такий як трубопровід, стаціонарна ємкість для зберігання, або транспортний засіб, такий як судно, вантажний автомобіль або залізнична цистерна для перевезення зрідженого природного газу під тиском.

При зберіганні, транспортуванні та користуванні зрідженим природним газом може з'явитись значна кількість "випарів", тобто парів, що отримані від випарювання зрідженого природного газу. Цей винахід, зокрема, добре придатний для зрідження випарів, що виділяються зрідженим природним газом під тиском. Спосіб, що відповідає цьому винаходу, може, при необхідності, забезпечити повторне зрідження таких випарів. Як показано на Фіг 1, випари вводять в процес обробки, що відповідає винаходу, по лінії 22. При необхідності частина потоку 22 може вводитися і направлятися через зону 33а охолодження для нагрівання виведених випарів для наступного їх використання як палива і для здійснення додаткового охолодження зони 33а охолодження. Частина потоку 22, що залишилась, направляють в зону 33b охолодження, де випари повторно зріджуються. Зріджений природний газ, що виходить з зони 33b охолодження (потік 28), нагнічується насосом 36 до отримання тиску зрідженого природного газу, що виходить з гідравлічної турбіни 34, а потім комбінується з потоком 20 і направляється в придатний засіб 50 для зберігання.

Потоки рідини, що виходять з гідравлічної турбіни 34 і насоса 36, переважно проходять через один або більше розділювачів фаз (такі розділювачі не показані на фігурах), які відділяють зріджений природний газ від будь-якого газу, що не був зріджений в процесі обробки. Робота таких розділювачів добре відома спеціалістам в цій галузі техніки. Зріджений газ потім надходить в засіб 50 для зберігання зрідженого природного газу під тиском, і газоподібна фаза з розділювача фаз може використовуватись як паливо або рециркулювати в процес зрідження.

Фіг 2 ілюструє інший приклад здійснення винаходу. На ній, як і на інших фігурах в цьому описі, елементи, що мають однакові номери, мають однакові робочі функції. Спеціалісти в цій галузі техніки зрозуміють, що робоче обладнання від одного приклада здійснення цього винаходу до іншого можуть мінятися в розмірах та продуктивності для роботи з різними швидкостями потоків, температурами та складами. Як показано на Фіг 2, живильний потік природного газу входить в систему по лінії 10 і проходить через звичайний живильний охолоджувач 26. Природний газ проходить від живильного охолоджувача 26 в процес 30 розширення, який охолоджує потік природного газу до температури, достатньої для конденсування щонайменше більшої частини більш важких вуглеводнів, які є складовими частинами природного газу, що названі зрідженою частиною природного газу (ЗЧПГ). Зріджена частина природного газу включає етан, пропан, бутан, пентан, ізопентан та їм подібні. При тисках, що знаходяться в межах від 4137кПа до 7585кПа, температури, що необхідні

для здійснення конденсації, знаходяться в межах від приблизно 0°C до приблизно - 60°C. Переважний приклад процесу 30 розширення показано на Фіг. 8, що докладніше описаний нижче.

Нижній потік з процесу 30 розширення проходить в нижню фракціонуючу установку 35, загальна робота якої добре відома спеціалістам в цій галузі техніки. Фракціонуюча установка 35 переважно може містити одну або більше фракціонуючих колон (не показані на Фіг. 2), які розділяють нижній рідкий потік 12 на задані кількості етану, пропану, бутану, пентану та гексану. Фракціонуюча установка переважно містить безліч фракціонуючих колон (не показані), таких як етановідгонна колона, що виробляє етан, пропановідгонна колона, що виробляє пропан, та бутановідгонна колона, що виробляє бутан, і всі вони можуть використовуватись як додаткові холодоагенти для охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом або будь-якою придатною охолоджуючою системою. Додаткові потоки холодоагенту разом показані на Фіг. 2 лінією 15. Якщо живильний потік 10 містить високі концентрації CO<sub>2</sub>, один або більше додаткових потоків 15 холодоагента можуть вимагати очистки для видалення CO<sub>2</sub> з метою усунення потенційних проблем закупорювання охолоджуючого обладнання. Функціонуюча установка 35 буде переважно включати процес видалення CO<sub>2</sub>, якщо концентрація CO<sub>2</sub> без нього перевищувала бля 3 молекулярних %. Рідини видаляють з фракціонуючої установки 35 як концентровані продукти, які разом позначені на Фіг. 2 як потік 14. Верхні потоки, що виходять з фракціонуючих колон фракціонуючої установки 35, багаті на етан та інші легкі вуглеводні, які разом показані на Фіг. 2 як потік 13.

Багатий на метан потік 16 з метановідгонної колони 30 комбінується з багатим на етан потоком 13 і проходить як потік 17 в зону 33а охолодження змішаним холодоагентом для зрідження природного газу. Охолодження зони 33а забезпечується звичайною охолоджуючою системою 45 з багатокомпонентним холодоагентом, що описана вище детальніше відносно опису системи з багатокомпонентним холодоагентом, що показана на Фіг. 1. Хоча багатокомпонентні холодоагенти циркулюють в системі з замкнутим циклом, якщо виникає утрата холодоагентів з системи через витік, додаткові холодоагенти можуть бути отримані з фракціонуючої установки 35 (лінія 15). Згідно зі способом зрідження, наведеним на Фіг. 2, охолоджуюча система 45 з багатокомпонентним холодоагентом є єдиною охолоджуючою системою з замкнутим потоком, що використовується для зрідження живильного потоку 10 природного газу.

Потік 19 зрідженого природного газу, що виходить з зони 33а охолодження зі змішаним холодоагентом, проходить через підправлічну турбіну 34 для зниження тиску рідини для отримання зрідженого природного газу під тиском з температурою вище приблизно - 112°C та тиском, достатнім для того, щоб зріджений природний газ під тиском був в точці початку його кипіння або нижче неї. Головною перевагою цього прикладу здійснення винаходу є те, що можливе добування важкого вуглеводня в розширюючій установці і холодоагенти

можуть додатково вироблятися в фракціонуючій установці 35.

Фіг. 3 зображує інший приклад здійснення цього винаходу, в якому однокомпонентна охолоджуюча система з замкнутим циклом використовується для попереднього охолодження потоку 10 природного газу перед зрідженням з одержанням зрідженого природного газу під тиском. Спосіб, показаний на Фіг. 3, подібний до способу, що показаний на Фіг. 2, за виключенням того, що охолоджуюча система 40 з замкнутим циклом використовується для забезпечення щонайменше частини охолодження для живильного охолоджувача 26 і для забезпечення охолодження теплообмінника 60. Потік 11, що виходить з живильного охолоджувача 26, проходить безпосередньо в звичайний деметанізатор 80 без необхідності в процесі розширення, що застосовується згідно зі способом, що показаний на Фіг. 2. Охолоджуюча система 40 може бути звичайною охолоджуючою системою з замкнутим циклом, що як холодоагент містить пропан, пропілен, етан, вуглекислий газ або будь-яку іншу придатну рідину.

На Фіг. 3 рідкий холодоагент в лінії 18а від охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом може, при необхідності, охолоджуватись в теплообміннику 70 холодоагентом в потоці 27, який повертається в охолоджуючу систему 45 з багатокомпонентним холодоагентом з теплообмінника 33. Потік 18а може додатково охолоджуватись в теплообміннику 60 холодоагентом з охолоджуючої системи 40, що має потік 51 холодоагенту, що циркулює поміж охолоджуючою системою 40 та теплообмінником 60. В цьому прикладі значна частина необхідного охолодження направляється в звичайну охолоджуючу систему 40 з однокомпонентним холодоагентом з замкнутим циклом, таку як пропанова система. Хоча необхідні додаткові теплообмінники, розміри та вартість теплообмінника 33 будуть зменшені.

Фіг. 4 ілюструє інший приклад здійснення способу, що відповідає цьому винаходу, в якому охолоджуюча система 33 з багатокомпонентним холодоагентом з замкнутим циклом попередньо охолоджує живильний потік природного газу перед фракціонуванням, і охолоджуюча система також знижує потік природного газу для одержання зрідженого природного газу під тиском. Живильний потік природного газу надходить в систему по лінії 10 і проходить через живильний охолоджувач 26, що охолоджує, і може частково зріджувати природний газ. Природний газ потім проходить по лінії 11 в першу зону 33а охолодження теплообмінника 33 з багатокомпонентним холодоагентом. Теплообмінник 33 в цьому прикладі має три зони (33а, 33b, 33c) охолодження. Друга зона 33b охолодження розташована між першою зоною 33а охолодження та третьою зоною 33c охолодження та працює з більш низькою температурою, ніж перша зона охолодження, і з більш високою температурою, ніж третя зона охолодження.

Частково зріджений природний газ виходить з першої зони 33а охолодження і проходить по лінії 11а в деметанізатор 80. Деметанізатор 80 фракціонує природний газ для отримання багатого метаном верхнього потоку 16 і нижнього потоку 12. Ни-



жний потік 12 проходить в фракціонуючу установку 35, яка подібна описаній вище відносно Фіг 2

Збагачений метаном потік 16 з деметанізатора 30 і верхній потік 13 продукта з фракціонуючої установки 35 комбінуються і проходять як потік 17 в другу зону 33b охолодження теплообмінника 33. Потік 19, що виходить з другої зони 33b охолодження, проходить через один або більше розширюючих засобів, таких як гідравлічна турбіна 34. Гідравлічна турбіна 34 виробляє холодний розширений потік 20 (СВГПТ), який проходить в засіб 50 для зберігання при температурі вище приблизно  $-112^{\circ}\text{C}$  і під тиском, достатнім для того, щоб рідкий продукт був в точці початку його кипіння або нижче неї

Випари, що з'являються внаслідок випарення зрідженого природного газу всередині ємкості при транспортуванні або виконанні навантажувальних операцій можуть, при необхідності, подаватися по лінії 22 в третю зону 33c охолодження, в якій випари зріджуються. При необхідності, частина випарів може пропускаться через другу зону 33b охолодження для нагріву випарів перед використанням як паливо (потік 38). Зріджений природний газ, що виходить з зони 33c охолодження, нагнітають насосом 36 до отримання тиску зрідженого природного газу під тиском в потоці 20 і потім подають в засіб 50 для зберігання

Приклад здійснення винаходу, показаний на Фіг 4, дозволяє видалити важкий вуглеводень і поповнити холодоагент без суттєвого падіння тиску так, як це необхідно в прикладі, що показаний на Фіг 2, або дає додаткову охолоджуючу систему таку, як в прикладі, показаному на Фіг 3

Фіг 5 ілюструє ще один приклад здійснення цього винаходу, в якому живильний природний газ охолоджується живильним охолоджувачем 26, і природний газ зріджується в теплообміннику 33, який охолоджується охолоджуючою системою 45 з замкнутим циклом, в якій використовують в якості холодоагенту як багатокомпонентну рідину, так і багатокомпонентний пар. Це припускає зрідження випарів в сховищі за допомогою тільки багатокомпонентного пару. Цей приклад здійснення цього винаходу подібний до прикладу, що показаний на Фіг 2, за виключенням роботи теплообмінної системи 33 з багатокомпонентним холодоагентом. Переважний приклад виконання охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом, в якій використовують як пароподібний, так і рідкий холодоагенти, показаний на Фіг 10 і детальніше буде описаний нижче

Як показано на Фіг 5 живильний потік природного газу надходить в систему по лінії 10 і проходить через живильний охолоджувач 26, який містить один або більше теплообмінників, частково зріджуючих природний газ. В цьому прикладі охолодження переважно виконують шляхом теплообміну з повітрям або водою. Живильний охолоджувач 26 при необхідності охолоджується звичайною охолоджуючою системою 40 з замкнутим циклом, в якій охолоджуючим холодоагентом є пропан, пропілен, етан, вуглекислий газ або будь-який інший придатний холодоагент

Як приклад температури та тиску, придатних для охолоджуючої системи з багатокомпонентним

холодоагентом і замкнутим циклом, що приведена на Фіг 5, можна привести багатокомпонентний холодоагент в лінії 27 під тиском  $345\text{кПа}$  і з температурою  $10^{\circ}\text{C}$ , призначений для звичайного стиснення та охолодження в охолоджуючій системі 45 з багатокомпонентним холодоагентом для отримання багатокомпонентного потоку 18 рідини і багатокомпонентного потоку 21 пари, кожний з яких має тиск  $1207\text{кПа}$  і температуру  $13,3^{\circ}\text{C}$ . Потік 21 пари додатково охолоджується в зоні 33a охолодження і ще більше охолоджується в зоні 33b охолодження для одержання холодного потоку 23, що виходить з зони 33b охолодження з температурою  $-99^{\circ}\text{C}$ . Потік 23 потім розширюється звичайним клапаном 46 Джоуля-Томпсона для отримання потоку 24 з тиском  $414\text{кПа}$  і температурою  $-108^{\circ}\text{C}$ . Потік 24 потім нагрівається в зоні 33b охолодження, після чого додатково нагрівається в зоні 33a охолодження для отримання потоку 27 з температурою  $10^{\circ}\text{C}$  і тиском  $34\text{кПа}$ . Потік 18 охолоджується в зоні 33a охолодження і потім розширюється звичайним клапаном 47 Джоуля-Томпсона. Розширений потік рідини, що виходить з розширюючого клапану 47, комбінюється з потоком 25 і рециркулює. Цей приклад здійснення винаходу має перевагу, яка полягає в тому, що випари повторно зріджуються з використанням тільки пароподібного багатокомпонентного холодоагенту

На фіг 6 наведено ще один приклад здійснення цього винаходу, який подібний до прикладу, показаному на Фіг 2, за виключенням того, що теплообмінник 33 з багатокомпонентним холодоагентом має тільки одну зону (33a) охолодження, і випари змішуються з потоками 116 і 13 природного газу замість зрідження окремою зоною охолодження теплообмінника 33. Випари 22 спочатку проходять через зону 33a охолодження для забезпечення охолодження більш теплих потоків 17 і 18, які проходять через теплообмінник 33a. Після виходу з зони 33a охолодження частина потоку 22 може, при необхідності, виводиться (потік 38) як паливо для отримання енергії для станції для виробництва зрідженого природного газу під тиском. Друга частина потоку 22 проходить в компресор 39 для стиснення випарів приблизно до тиску газу в потоці 17. Випари (потік 32), що виходять з компресора 39, потім комбінюються з потоком 17. Цей приклад не вимагає змішування криогенних рідин і може працювати простіше, ніж приклад, наведений на фіг 2

Фіг 7 зображує ще один приклад здійснення цього винаходу, в якому живильний газ охолоджується живильним охолоджувачем 26, і природний газ зріджується в теплообміннику 33 з багатокомпонентним холодоагентом, що охолоджується системою 45 з замкнутим циклом, в якій як холодоагент використовується як багатокомпонентна рідина (потік 18), так і багатокомпонентна пара (потік 21). Обробка, що показана на Фіг 7, подібна роботі способу, що показаний на Фіг 5, за виключенням того, що щонайменше частина випарів 22 стискається компресором 39 приблизно до тиску потоку 16 газу, і стиснутий потік 32 випарів комбінюється з потоком 16 природного газу. Потік 17, що містить пари від процесу 30 розширення, пари з

фракціонує установці 35 і випари з потоку 32, потім проходить через зони 33a і 33b охолодження теплообмінника 33 для зрідження потоку 17 газу для виробництва зрідженого природного газу під тиском (потік 19). Як показано на фіг 7 частина потоку 22 переважно виводиться та проходить через зони 33b і 33a і виходить з теплообмінника 33 (потік 38) для використання як палива.

Переважний спосіб 30 розширення для використання при здійсненні способів, показаних на Фіг 2, 5, 6 і 7, показаний на Фіг 8. Як показано на Фіг 8, потік 11 газу розділюється на два окремих потоки 100 і 101. Потік 100 газу охолоджується в теплообміннику 102 холодним залишковим газом в лінії 104. Потік 101 газу охолоджується теплообмінником 105 відводного вторинного випарювача, через який тече потік рідини, що надходить в звичайний розділювач 106 фаз. Розділювач 106 розділяє потік 103 на потік 107 рідини і потік 108 пари. Потік 108 пари розширюється для зменшення його тиску, наприклад, за допомогою турборозширювача 109. Це розширення додатково охолоджує газ перед тим, як його подають у верхній район метановідгонної колони 80. Потік 107 конденсованої рідини проходить через клапан 110 Джоуля-Томпсона для розширення і додаткового охолодження потоку 107 рідини перед тим, як вона проходить в метановідгонну колону 80.

Залишковий газ з верхньої частини метановідгонної колони 80 подається в теплообмінник 102 і проходить через компресор 111, який забезпечується потужністю, щонайменше частково, розширювачем 109. Стиснутий багатий метаном потік 16, що виходить з процесу 30 розширення, далі обробляється згідно зі способом, що відповідає цьому винаходу. Деметанізатор виробляє нижній потік 12 рідини, який більшою частиною являє собою зріджені частинки природного газу (ЗЧПГ), в першу чергу етан, пропан, бутан, пентан і більш важкі вуглеводні. Додаткові приклади процесу 30 розширення, придатні для використання при здійсненні цього винаходу, описані в патенті США № 4698081 і в публікації Gas Conditioning and Processing, Volume 3 of Advanced Techniques and Applications, John M. Campbell and Co., Tulsa, Oklahoma (1982).

На Фіг 9 зображена блок-схема переважної охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом для використання в прикладах здійснення винаходу, зображених на Фіг 1, 2, 3, 4 і 6. Як показано на Фіг 9 потік 27 надходить в звичайний компресор 150 для стиснення холодоагенту. Після компресору 150 стиснений потік 151 охолоджується при проходженні через звичайний охолоджувач 152, такий як повітряний або водяний охолоджувач, перед тим, як потік 151 надходить в звичайний розділювач 153 фаз. Пара з розділювача 153 фаз проходить у вигляді потоку 154 в компресор 155. Після компресору 155 стиснена охолоджуюча пара (потік 156) охолоджується звичайним охолоджувачем 157 для одержання охолодженого потоку 18 холодоагента. Потік 158 рідини з розділювача 152 фаз нагнічується насосом 159 для одержання приблизно такого ж тиску, як тиск на виході компресора 155. Стиснена рідина після насоса 159 (потік 160) комбінується з потоком 156 до

охолодження охолоджувачем 157.

Фіг 10 зображує блок-схему переважної охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом для використання в прикладах здійснення винаходу, що показані на Фіг 5 і 7. Охолоджуюча система з багатокомпонентним холодоагентом, що показана на Фіг 10, подібна до охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом, що показана на Фіг 9, за виключенням того, що після комбінування потоку 160 рідкого холодоагенту і потоку 156 пари і охолодження їх охолоджувачем 157, охолоджений потік з охолоджувача 157 проходить в звичайний розділювач 161 фаз. Пара, що виходить з розділювача 161, стає потоком 21 пари, і рідина, що виходить з розділювача 161, стає потоком 18 рідини.

#### Приклади

Імтований баланс маси та енергії був виконаний для ілюстрації прикладів здійснення цього винаходу, що показані на фігурах, а результати наведені нижче в таблицях 1–7. Дані, що наведені нижче в таблицях, запропоновані для кращого розуміння прикладів здійснення винаходу, що наведені на Фіг 1–7, але винахід не повинен тлумачитись як обмежений цими прикладами. Температури та швидкості потоків, що наведені в таблицях, не повинні розглядатись як обмеження винаходу, який може мати безліч варіацій температур і швидкостей потоків в межах його об'єму. Таблиці відповідають фігурам наступним чином: таблиця 1 відповідає Фіг 1, таблиця 2 відповідає Фіг 2, таблиця 3 відповідає Фіг 3, таблиця 4 відповідає Фіг 4, таблиця 5 відповідає Фіг 5, таблиця 6 відповідає Фіг 6 і таблиця 7 відповідає Фіг 7.

Дані були отримані з використанням доступної на ринку програми імітації способу під назвою HYSYS™, PROII™ і ASPEN PLUS™, кожна з яких відома спеціалістам в даній галузі техніки.

Дані, що наведені в таблиці 3, передбачають, що приклад здійснення винаходу, що показаний на Фіг 3, мав пропанову охолоджуючу систему 40 для охолодження живильного потоку.

З використанням базової блок-схеми способу, що показана на Фіг 3, і з використанням однакових складу та температури потоку, сумарна установка потужності для виробництва звичайного зрідженого природного газу, що необхідна, (при тиску, близькому до атмосферного, та температурі – 160 °C) була більше, як в двічі вища, ніж установлена потужність. Що необхідна для виробництва зрідженого природного газу під тиском з використанням прикладу здійснення цього винаходу, показаного на Фіг 3 185680кВт для виробництва зрідженого газу проти 89040кВт для виробництва зрідженого природного газу під тиском. Це порівняння було виконано з використанням імітатора способу HYSYS™.

Спеціаліст в цій галузі техніки, зокрема що користується перевагами, що запропоновані цим патентом, знайде безліч модифікацій і варіантів здійснення конкретних способів, що описані вище. Наприклад, безліч різних температур і тисків може використовуватись згідно з винаходом в залежності від загальної конструкції системи і складу живильного газу. Крім того, ланцюжок охолодження живильного газу може бути доповнений або змінено.

ний в залежності від загальних конструктивних потреб для досягнення вимог оптимального і ефективного теплообміну. Як викладено вище, варіанти здійснення винаходу і приклади, що конкретно

описані, не слід використовувати для обмеження об'єму винаходу, який визначений наведеними нижче пунктами формули винаходу та їх еквівалентами

Таблиця 1

Потік	Фаза	Тиск	Тем-ра	Швидкість потоку	Склад (молекулярний %)				
	Пара/Рідина	кПа	°C	Кгмоль/ годину	С <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>	С <sub>3+</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
10	П	5571	21,1	7172	84,06	6,76	8,6	0,18	0,29
11	П	5502	13,3	7172	84,06	6,87	8,6	0,18	0,29
18	П/Ж	2068	13,3	9613	20	46	34	0	0
19	Ж	5295	-93,9	7172	84,06	6,87	8,6	0,18	0,29
20	Ж	2586	-95,6	7172	84,06	6,87	8,6	0,18	0,29
22	П	2586	-94,4	797	98	0,68	0,09	0,05	1,18
23	Ж	1793	-103,3	9613	20	46	34	0	0
24	П/Ж	414	-106,1	9613	20	46	34	0	0
25	П/Ж	379	-99,4	9613	20	46	34	0	0
27	П	345	11,1	9613	20	46	34	0	0
28	Ж	2448	-103,3	428	98	0,68	0,09	0,05	1,18
29	Ж	2586	-95,6	7620	84,85	6,52	8,11	0,18	0,34
38	П	2517	11,1	384	98	0,68	0,09	0,05	1,18

Таблиця 1 (продовження) Потужність

	Потужність (к с )	Потужність (кВт)
КомпресориКомпресори охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом		
Етап 1	13800	10291
Етап 2	4700	3505
Розширювачі		
Розширювач 34	-270	-201
Насоси		
Насос 36	2	1
Насос охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом	110	82
Корисна потужність Сумарна установлена потужність		
	18300	13647
	18900	14094

Таблиця 2

Потік	Фаза	Тиск	Тем-ра	Швидкість потоку	Склад (молекулярний %)				
	Пара/Рідина	кПа	°C	кгмоль/ годину	С <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>	С <sub>3+</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	П/Ж	5585	21,1	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
11	П/Ж	5516	4,4	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
12	Ж	4757	206,7	882	3,97	9,54	85,44	1,05	0
13	П/Ж	5019	62,2	115	11,21	32,57	53,25	2,97	0
14	Ж	138	26,7	508	0	0	100	0	0
15	П/Ж	3378	13,3	55	25,81	50,63	23,56	0	0
16	П	5019	5,0	36010	94,27	3,79	0,92		
17	П	5019	4,4	36159	94,02	3,88	1,08	0,98	0,04
18	П/Ж	2068	13,3	52048	25,81	50,63	23,56	0	0
19	Ж	4813	-93,3	36159	94,02	3,88	1,08	0,98	0,04
20	Ж	2448	-95,6	36159	94,02	3,88	1,08	0,98	0,04

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

23				57084			24		
22	П	2861	-90,0	2988	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14
23	Ж	2827	-99,4	52048	25,81	50,63	23,56	0	0
24	П/Ж	414	-108,3	52048	25,81	50,63	23,56	0	0
25	П/Ж	379	-104,4	52048	25,81	50,63	23,56	0	0
27	П	345	10,0	52048	25,81	50,63	23,56	0	0
28	Ж	2689	-99,4	1584	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14
29	Ж	2861	-95,6	37703	94,23	3,74	1,03	0,98	0,04
38	П	2758	10,0	1410	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14

Таблиця 3

	Потужність (к с )	Потужність(кВт)
Компресори		
Компресор процесу 30 розширення	2300	1715
Компресори охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом		
Етап 1	75000	55928
Етап 2	28000	20880
Компресор фракціонуючої установки 35	10	7
Розширювачі		
Розширювач процесу 30 розширення	-2300	-1715
Розширювач 34	-1050	-783
Насоси		
Насос 36	10	7
Насос охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом	480	38
Насос подачі продукту фракціонуючої установки 35	20	15
Корисна потужність Сумарна встановлена потужність	102500 109200	76435 81432

Таблиця 3 (продовження)

Потік	Фаза	Тиск	Тем-ра	Швидкість Потоку	Склад (молекулярний %)				
	Пара/ рідина	кПа	°C	кгмоль/ годину	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3+</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
10	П/Ж	5516	4,4	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
11	П/Ж	5378	-34,4	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
12	Ж	5378	187,8	817	5,43	13,04	80,05	1,48	0
13	П/Ж	5295	61,7	169	12,33	33,85	50,47	3,35	0
14	Ж	138	26,7	548	0	0	100	0	0
15	П/Ж	3378	13,3	90	26,05	54,69	19,26	0	0
16	П	5295	-34,4	35910	94,58	3,69	0,72	0,97	0,04
17	П/Ж	5295	-33,9	36060	94,2	3,83	0,95	0,98	0,04
18	П/Ж	2586	-34,4	26995	25	75	0	0	0
18a	П	2723	13,3	26995	25	75	0	0	0
19	Ж	5088	-92,8	36060	94,2	3,83	0,95	0,98	0,04
20	Ж	2861	-95,6	36060	94,2	3,83	0,95	0,98	0,04
22	П	2827	-90,0	2988	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14
23	Ж	2310	-99,4	26995	25	75	0	0	0
24	П/Ж	414	-107,8	26995	25	75	0	0	0
25	П/Ж	379	-103,3	26995	25	75	0	0	0
27	П	345	-35,6	26995	25	75	0	0	0
27a	П	276	7,8	26995	25	75	0	0	0
28	Ж	2689	-99,4	1429	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14
29	Ж	2861	-95,6	37504	94,38	3,7	0,93	0,95	0,04
38	П	2758	-35,6	1559	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14

Потужність

	Потужність (к с )	Потужність(кВт)
Компресори		
Компресор охолоджуючої системи 40		

25	57084	26
Етап 1	14600	10887
Етап 2	29700	22148
Компресори охолоджуючої системи 45 з Багатокомпонентним холодоагентом		7
Етап 1	52700	39299
Етап 2	21100	15735
Компресор фракціонуючої установки 35	20	15
Розширювач		
Розширювач 34	-1200	-895
Насоси		
Насос 36	10	7
Насос подачі продукту фракціонуючої установки 35	25	19
Корисна потужність		
Сумарна установлена потужність		
	117000	87248
	119400	89038

Таблиця 4

Потік	Фаза	Тиск	Тем-ра	Швидкість Потоку	Склад (молекулярний %)				
	Пара/ рідина	кПа	°C	Кгмоль/ Годину	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3+</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
10	П/Ж	5585	21,1	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
11	П/Ж	5516	4,4	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
11а	П/Ж	5378	-34,4	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
12	Ж	5378	187,8	817	5,43	13,04	80,05	1,48	0
13	П/Ж	5295	61,7	169	12,33	33,85	50,47	3,35	0
14	Ж	138	26,7	548	0	0	100	0	0
15	П/Ж	3378	13,3	90	26,05	54,69	19,26	0	0
16	П	5295	-34,5	35910	94,58	3,69	0,72	0,97	0,04
18	П/Ж	2758	13,3	43331	26,25	50,5	23,25	0	0
19	Ж	5088	-92,8	36060	94,2	3,83	0,95	0,98	0,04
20	Ж	2861	-95,6	36060	94,2	3,83	0,95	0,98	0,04
22	П	2827	-90,0	2988	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14
23	Ж	2275	-99,4	43331	26,25	50,5	23,25	0	0
24	П/Ж	414	-108,3	43331	26,25	50,5	23,25	0	0
25	П/Ж	379	-104,4	43331	26,25	50,5	23,25	0	0
27	П	310	11,7	43331	26,25	50,5	23,25	0	0
28	Ж	2689	-89,4	1584	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14
29	Ж	2861	-95,6	37654	94,4	3,69	0,92	0,95	0,04
36	П	2758	-41,1	1405	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14

Таблиця 5 Потужність

	Потужність (к с )	Потужність (кВт)
1	2	3
Компресори		
Компресори охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом		
Етап 1	70500	525731
Етап 2	31900	23788
Компресор фракціонуючої установки 35	20	15
Розширювач		
Розширювач 34	-1200	-895
Насоси		
Насос 36	10	7
Насос охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом	670	500

Продовження таблиці 5 Потужність

1	2	3
Насос подачі продукту фракціонуючої установки 35	25	19
Корисна потужність		

27	57084	28
Сумарна установлена потужність		
	101900	75988
	104300	77778

Таблиця 5 (продовження) Потужність

	Потужність (к с )	Потужність (кВт)
Компресори		
Компресор процесу 30 розширення	2300	0
Компресори охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом		
Етап 1	84900	63311
Етап 2	31800	23714
Компресор фракціонуючої установки 35	10	7
Розширювачі		
Розширювач процесу 30 розширення	-2300	-1715
Розширювач 34	-1050	-783
Насоси		
Насос 36	10	7
Насос охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом	500	373
Насос подачі продукту фракціонуючої установки 35	20	15
Корисна потужність		
Сумарна установлена потужність		
	116200	86652
	122900	91648

Таблиця 6

Потік	Фаза	Тиск	Тем-ра	Швидк потоку	Склад (молекулярний %)				
	Пара/Рідина	кПа	°С	кгмоль/годину	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3+</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
10	П/Ж	5585	21,1	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
11	П/Ж	5516	4,4	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
12	Ж	4757	206,7	682	3,97	9,54	85,44	1,05	0
13	П/Ж	5019	62,2	115	11,21	32,57	53,25	2,97	0
14	Ж	138	26,7	508	0	0	100	0	0
15	П/Ж	3378	13,3	55	25,81	50,63	23,56	0	0
16	П	5019	5,0	36010	94,27	3,79	0,92	0,98	0,04
17	П	5019	6,7	37753	94,23	3,74	1,04	0,95	0,04
18	П/Ж	2068	13,3	53343	26	50	24	0	0
19	Ж	4813	-93,3	37753	94,23	3,74	1,04	0,95	0,04
20	Ж	2862	-95,6	37753	94,23	3,74	1,04	0,95	0,04
22	П	2827	-90,0	2988	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14
23	Ж	1862	-93,3	53343	26	50	24	0	0
24	П/Ж	414	-105,0	53343	26	50	24	0	0
27	П	379	8,9	53343	26	50	24	0	0
32	П	5019	62,8	1809	94,11	0,46	1,01	0,28	0,14
38	П	2758	8,9	1380	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14

Таблиця 7

	Потужність (к с )	Потужність (кВт)
1	2	3
Компресори		
Компресор процесу 30 розширення	2300	1715

Продовження таблиці 7

1	2	3
Компресори охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом		

29	57084	30
Етап 1	73900	55107
Етап 2	25100	18717
Компресор фракціонуючої установки 35	10	7
Компресор 39	1100	820
Розширювачі		
Розширювач процесу 30 розширення	-2300	-1715
Розширювач 34	-1100	-820
Насоси		
Насос охолоджуючої системи 45 з багато компонентним холодоагентом	480	538
Насос подачі продукту фракціонуючої установки 35	20	15
Корисна потужність		
Сумарна встановлена потужність		
	99500	74197
	106300	79268

Таблиця 7(продовження)

Потік	Фаза	Тиск	Тем-ра	Швидк потоку	Склад (молекулярний %)				
	Пара/Рідина	кПа	°C	кгмоль/годину	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3+</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
10	П/Ж	5585	21,1	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
11	П/Ж	5516	4,4	36707	92,6	3,9	2,48	0,98	0,04
12	Ж	4757	206,7	682	3,97	9,54	85,44	1,05	0
13	П/Ж	5019	62,2	115	11,21	32,57	53,25	2,97	0
14	Ж	138	26,7	508	0	0	100	0	0
15	П/Ж	3378	13,3	55	25,81	50,63	23,56	0	0
16	П	5019	5,0	36010	94,27	3,79	0,92	0,98	0,04
17	П	5019	4,4	37604	94,22	3,75	1,03	0,98	0,04
18	Ж	2689	13,3	19673	6,66	45,52	47,82	0	0
19	Ж	4606	-93,3	37604	94,22	3,75	1,03	0,96	0,04
20	Ж	2861	-95,6	37604	94,22	3,75	1,03	0,96	0,04
21	П	2689	19,4	32773	35,21	57,81	6,98	0	0
22	П	2827	-90,0	2988	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14
23	Ж	2275	-93,3	32773	35,21	57,81	6,98	0	0
24	П/Ж	483	-109,4	32773	35,21	57,81	6,98	0	0
25	П/Ж	414	-51,1	32773	35,21	57,81	6,98	0	0
26	П/Ж	2482	-45,6	32773	35,21	57,81	6,98	0	0
27	П	379	12,8	52446	24,5	53,2	22,3	0	0
32	П	5033	-53,3	1484	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14
38	П	2723	12,8	1509	99,11	0,46	0,01	0,28	0,14
41	Ж	2482	-45,6	19673	6,66	45,52	47,82	0	0
42	П/Ж	414	-54,4	19673	6,66	45,52	47,82	0	0
43	П/Ж	414	-51,1	52446	24,5	53,2	22,3	0	0

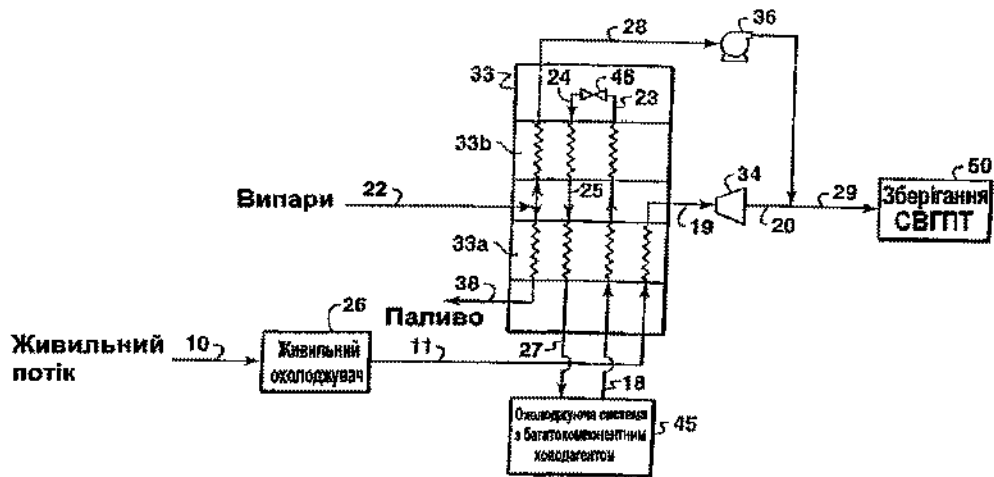
Таблиця Потужність

1	Потужність (к с )	Потужність (кВт)
	2	3
Компресори		
Компресор процесу 30 розширення	2300	1715
Компресори охолоджуючої системи 45 з багато компонентним холодоагентом		
Етап 1	80000	59656
Етап 2	31500	23490
Компресор фракціонуючої установки 35	10	7
Компресор 39	450	3,36
Розширювачі		

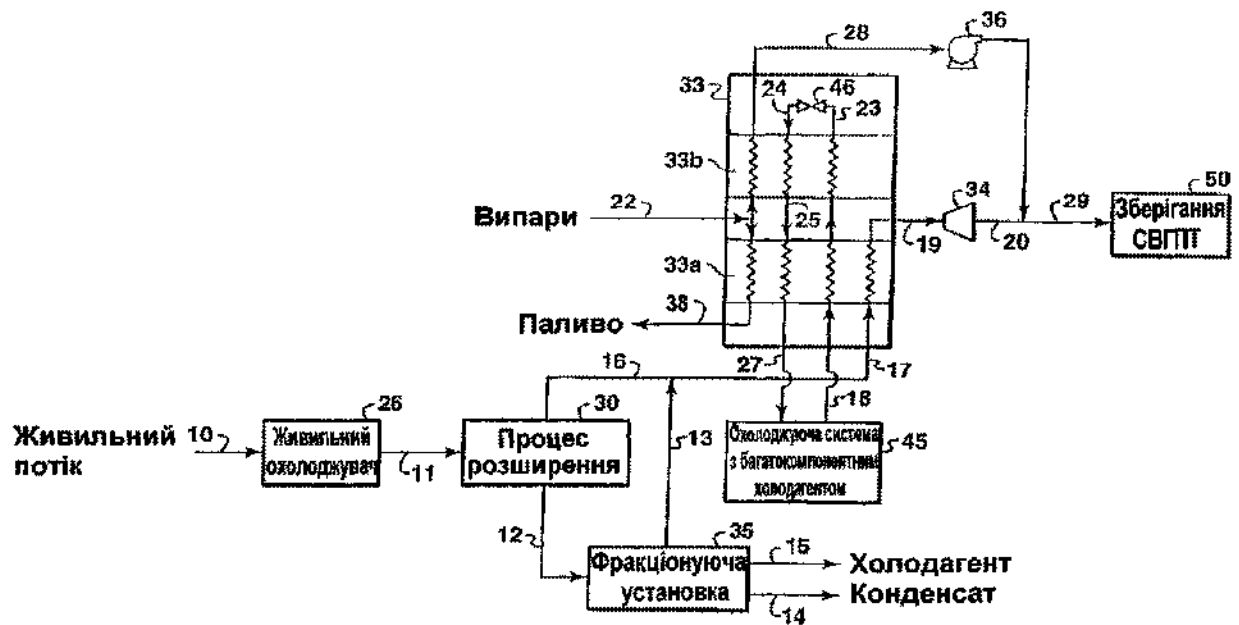
Продовження таблиці Потужність

1	2	3
Розширювач процесу 30 розширення	-2300	-1715

31	57084	32
Розширювач 34	-980	-731
Насоси		
Насос охолоджуючої системи 45 з багатокомпонентним холодоагентом	690	515
Насос подачі продукту фракціонуючої установки 35	20	15
Корисна потужність		
Сумарна устновлена потужність		
	111700	83295
	118300	88216

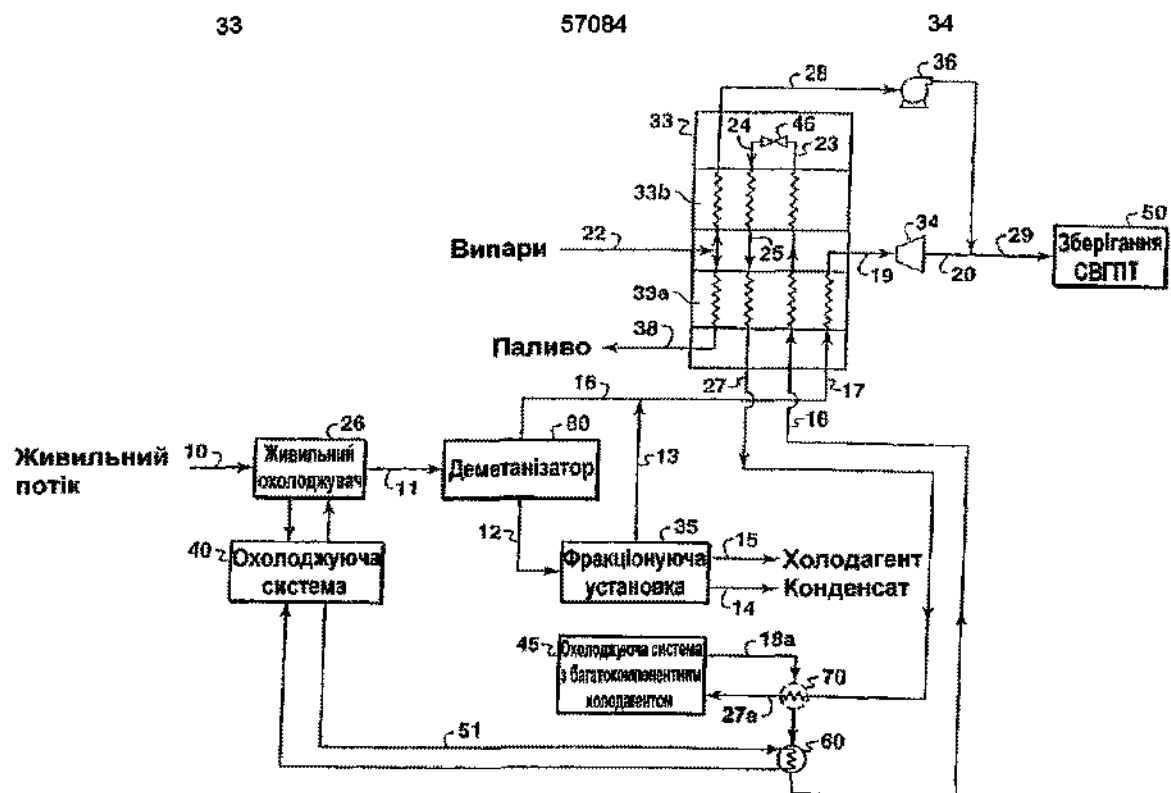


Фіг. 1

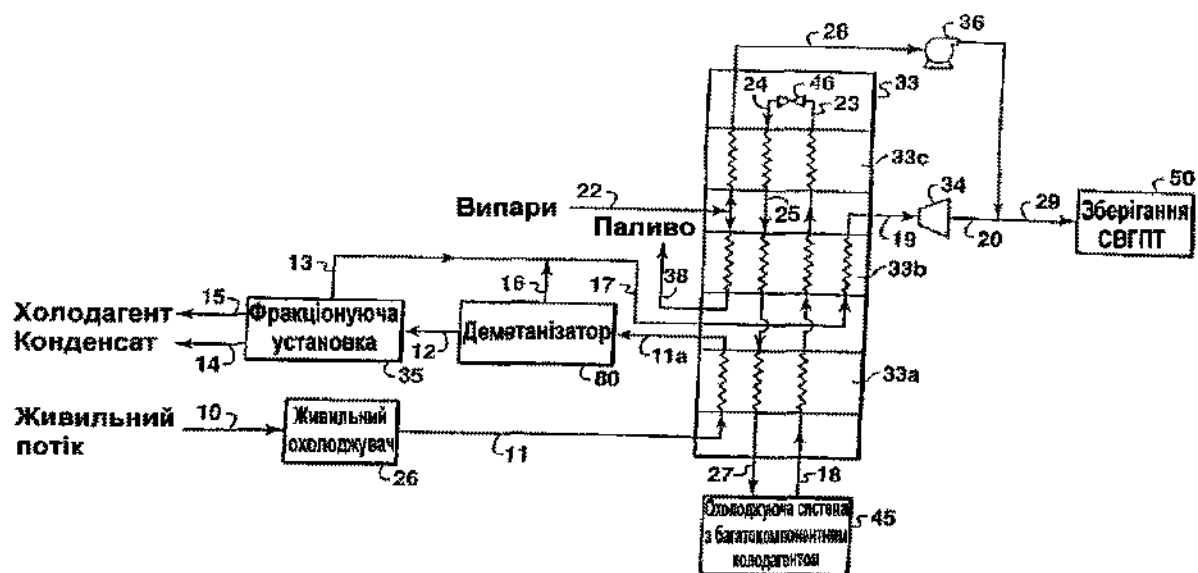


Фіг. 2



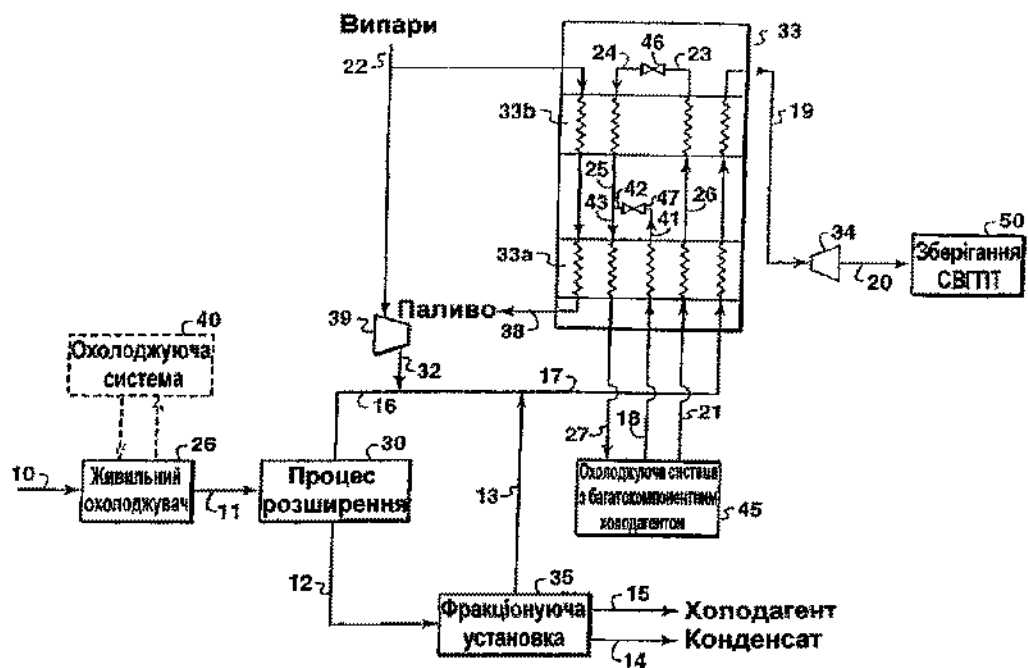


Фіг. 3

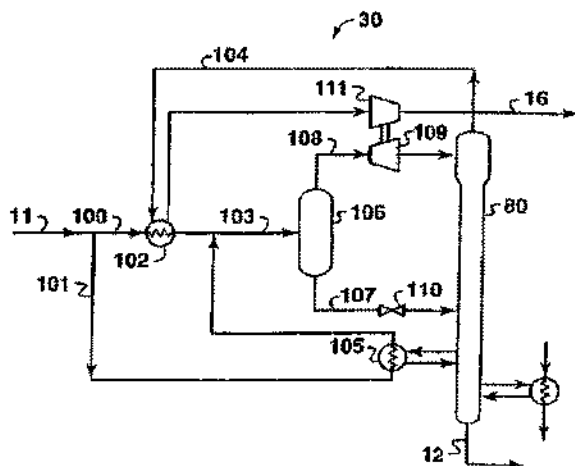


Фіг. 4

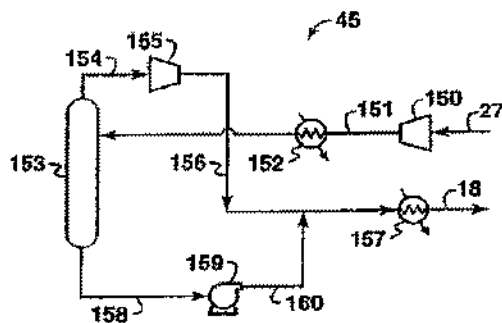




Фіг. 7



Фіг. 8



Фіг. 9

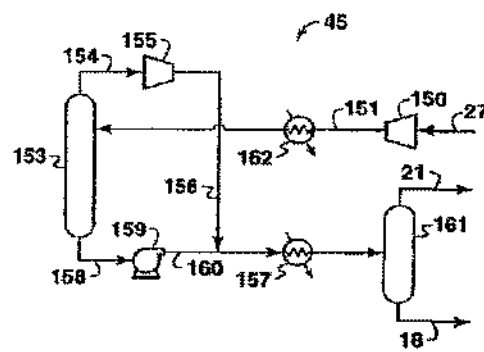


Fig. 10