

Цей винахід відноситься до способу зрідження природного газу і, більш конкретно, відноситься до способу виробництва зрідженого природного газу під тиском (ЗПГПТ) з потоку природного газу, який містить щонайменше один компонент, що заморожується.

Завдяки його якостям, які відносяться до чистоти горіння і зручності застосування, природний газ в останні роки став широко використовуватись. Багато джерел природного газу розташовані у віддалених районах, на великих відстанях від будь-яких комерційних ринків газу. Іноді для транспортування здобутого природного газу до комерційного ринку використовують трубопровід. Коли транспортування по трубопроводу неможливе, здобутий природний газ часто перероблюють в зріджений природний газ (який називається "ЗПГ") для транспортування на ринок.

Однією з характерних ознак станції для зрідження природного газу є великі інвестиційні капіталовкладення, що необхідні для створення станції. Обладнання, яке використовується для зрідження природного газу, в цілому досить дороге. Станція для зрідження газу заснована на декількох базових системах, які включають обладнання для очищення газу для видалення домішок, зрідження, охолодження, енергетичне обладнання та споруди для зберігання і навантажування на транспортні засоби. Хоча вартість станцій для зрідження природного газу широко коливається в залежності від місцезнаходження станції, типовий звичайний проект по зрідженню природного газу може коштувати від 5 до 10 мільярдів доларів США, включаючи витрати на розробку родовища. Охолоджувальні системи станції можуть оцінюватися на суму, яка складає до 30% витрат.

Охолоджувальні системи для зрідження природного газу дорогі у зв'язку з тим, що для зрідження природного газу необхідне дуже сильне охолодження. Типовий потік природного газу потрапляє до установки для зрідження природного газу під тиском від близько 4830кПа до близько 7600кПа і з температурами від близько 20°C до близько 40°C. Природний газ, яким переважно є метан, не може бути зріджений простим підвищенням тиску, як у випадку з більш важкими вуглеводнями, які використовуються в енергетичній галузі. Критичною температурою для метану є -82,5°C. Це означає, що метан може бути зріджений тільки при температурі більш низькій, ніж ця, незалежно від тиску, що застосовується. Оскільки природний газ є сумішшю газів, він зріджується в межах діапазону температур. Критична температура природного газу складає від близько -85°C до близько -62°C.

Типово, що склад природного газу при атмосферному тиску буде зріджуватись в температурному діапазоні між близько -165°C і -155°C. Оскільки обладнання для охолодження складає таку значну частину витрат на обладнання для зрідження природного газу, великі зусилля були докладені для зменшення витрат на охолодження.

Відомо багато систем для зрідження природного газу шляхом послідовного пропускання газу під підвищеним тиском через безліч етапів охолодження, на протязі яких газ охолоджується до послідовно більш низьких температур до зрідження газу. При звичайному зрідженні газ охолоджують до температури, яка складає близько -160°C при атмосферному тиску або близькому до нього. Охолодження звичайно виконують шляхом теплообміну з одним, або більше холодоагентами, таким як пропан, пропілен, етан, етилен і метан. Хоча багато циклів охолодження використовувались для зрідження природного газу, найбільш широко відомими для зрідження природного газу є три типи: (1) "каскадний цикл", в якому використовують багато однокомпонентних холодоагентів в теплообмінниках, що розташовані послідовно для зменшення температури газу до температури зрідження; (2) "цикл розширення", який розширює газ від високого тиску до низького з відповідним зменшенням температури, і (3) "цикл багатокомпонентного охолодження", в якому використовується багатокомпонентний холодоагент в спеціально сконструйованих теплообмінниках. В більшості циклів зрідження природного газу використовуються варіації або комбінації цих трьох базових типів.

На звичайних станціях зрідження природного газу вода, вуглекислий газ, сірчисті сполуки, такі як сірчистий водень та інші кислі гази, n-пентан і більш важкі вуглеводні, включаючи бензол, повинні бути по суті видалені з процесу обробки природного газу до рівнів, які досягають частин на мільйон. Частина з цих сполук буде замерзати, викликаючи проблеми закупорювання в обладнанні для обробки. Інші сполуки, такі як ті, що містять сірку, як правило видаляють для відповідності комерційній специфікації. На звичайній станції зрідження природного газу для очистки газу для видалення вуглекислого газу і кислих газів вимагається спеціальне обладнання. В обладнанні для очистки газу, як правило, використовують регенеративний спосіб з хімічним і/або фізичним розчиненням, і воно вимагає капіталовкладень. Крім того, експлуатаційні витрати також високі. Для видалення водяної пари необхідні дегідратори з сухим прошарком, такі як молекулярні сита. Колона для промивки газу і фракціонуюче обладнання використовуються для видалення вуглеводнів, які викликають проблеми закупорення. На звичайному підприємстві для зрідження природного газу також видаляють ртуть, оскільки вона може викликати пошкодження обладнання, сконструйованого з алюмінію. Крім того, більшу частину азоту, який може бути присутнім в природному газі, видаляють після обробки, оскільки азот не залишається в рідкій фазі при транспортуванні звичайного зрідженого природного газу, і наявність парів азоту в контейнерах зі зрідженим природним газом в пункті доставки є непереважною.

В патенті US 4,284,423, кл. F 25 J 3/02, опублікованому 18 серпня 1981 року, описаний спосіб виробництва зрідженого природного газу багатокомпонентного живильного потоку, який містить метан і компонент, що заморожується і має відносну випаровуваність, що менша за випаровуваність метану. В цьому патенті розглянуто введення живильного газу, що містить CH_4 , та CO_2 , в роздільну колонку. Верхній потік з роздільної колонки зріджується і повертається до фракціонуючої колонки як зворотній потік. Недоліком цього рішення є те, що фракціонуюча колонка не використовується за умов, які можуть призвести до формування твердих частинок CO_2 , а також цей спосіб не передбачає отримання багатого на метан продукту під тиском з температурою вище -112°C. В промисловості залишається суттєвою потреба в удосконаленому способі зрідження природного газу, який містить CO_2 в концентраціях, які викликали б його заморожування в процесі зрідження, і одночасно були би економічними в споживанні потужності.

Даний винахід усуває ці недоліки.

Винахід, в цілому, відноситься до способу виробництва зрідженого природного газу багатокомпонентного

живильного потоку, який містить метан і компонент, що заморожується і має відносну випаровуваність, що менша за випаровуваність метану.

Компонентом, що заморожується, звичайно буває CO_2 , H_2S або інший кислий газ, може бути і який небудь інший компонент, який потенційно може формувати тверді частинки в роздільній системі.

Згідно зі способом, що відповідає цьому винаходу, багатокомпонентний живильний потік, який містить метан і компонент, що заморожується, який має відносну випаровуваність, яка менша за випаровуваність метану, вводять в роздільну систему, яка має морозильну секцію, що працює під тиском, який вище, ніж приблизно 1380 кПа, і в умовах, які сприяють формуванню твердих частинок з компоненту, що заморожується, і ректифікаційну секцію, яка має зону керованого заморожування ("ЗКЗ"), виробляє потік багатой метаном пари і потік рідини, багатой на компонент, що заморожується. Щонайменше, частина потоку пари охолоджується для виробництва багатого метаном зрідженого потоку, що має температуру вищу, ніж приблизно -112°C , і тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був у точці початку його кипіння або нижче неї. Першу частину зрідженого потоку видаляють з процесу в формі потоку зрідженого продукту під тиском (ЗПГПТ). Друга частина зрідженого потоку повертається в роздільну систему для виконання функції холодоагенту в роздільній системі.

В одному прикладі здійснення винаходу потік пари виводять з верхнього району роздільної системи, стискають до підвищеного тиску і охолоджують. Охолоджений стиснений потік після того розширюється розширювальним засобом для виробництва переважно рідкого потоку. Перша частина рідкого потоку подається як зворотний потік до роздільної системи, за допомогою чого забезпечується охолодження з розімкнутим циклом роздільної системи, і друга частина рідкого потоку виводиться як потік продукту, що має температуру, яка вище приблизно -112°C , і тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був у точці початку його кипіння, або нижче за неї.

В іншому прикладі здійснення винаходу, потік пари виводиться з верхнього району роздільної системи і охолоджується системою охолодження із замкнутим циклом для зрідження багатого на метан потоку пари для виробництва рідини, що має температуру, яка вище приблизно -112°C , і тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був у точці початку кипіння, або нижче за неї.

Спосіб, що відповідає цьому винаходу, може використовуватись як для первинного зрідження природного газу у живильного джерела для зберігання і транспортування, так і для повторного зрідження парів природного газу, які виділяються при зберіганні і завантаженні на транспортний засіб. Відповідно, метою цього винаходу є одержання вдосконаленої, комплексної системи зрідження і видалення CO_2 для зрідження або повторного зрідження природного газу з високими концентраціями CO_2 (більш, ніж приблизно 5%). Іншою метою цього винаходу є одержання вдосконаленої системи зрідження, яка потребує значно меншої сили стиснення, ніж у відомих системах. Ще однією метою цього винаходу є одержання, більш ефективного способу зрідження шляхом зберігання робочої температури на протязі здійснення всього способу вище, ніж приблизно -112°C , що дозволяє виконувати обробляюче обладнання з менш дорогих матеріалів, ніж цього потребує звичайний спосіб зрідження природного газу, в якому, щонайменше, частина способу здійснюється при температурах до приблизно -160°C . Охолодження до дуже низьких температур, згідно із звичайним способом зрідження природного газу, коштує дуже дорого порівняно з відносно помірним охолодженням, якого потребує виробництво зрідженого природного газу під тиском, згідно з практикою цього винаходу.

Цей винахід і його переваги можна буде краще зрозуміти, якщо звернутися до наступного докладного опису і фігур, що прикладаються, які є блок-схемами типових прикладів цього винаходу.

Фіг.1 схематично зображує кріогенний процес в зоні заморожування, що в цілому, ілюструє замкнутий цикл охолодження для виробництва зрідженого природного газу під тиском, згідно зі способом, що відповідає цьому винаходу.

Фіг.2 схематично зображує кріогенний процес в зоні заморожування, що в цілому, ілюструє замкнутий цикл охолодження для виробництва зрідженого природного газу під тиском, згідно зі способом, що відповідає цьому винаходу.

Фіг.3 схематично зображує ще один приклад здійснення цього винаходу, в якому вуглекислий газ і метан розділяються ректифікацією в ректифікаційній колоні, яка має зону заморожування, в якій один верхній потік продукту є зрідженим природним газом під тиском, та інший верхній потік продукту є газом, який збувається в споживачку газову магістраль.

Блок-схеми, які представлені на фігурах, ілюструють різні приклади здійснення способу, який відповідає цьому винаходу. Фігури не призначені для виключення з об'єму винаходу інших прикладів його здійснення, які є нормальними і очікуваними модифікаціями цих конкретних прикладів. Різні необхідні підсистеми, такі як насоси, клапани, змішувачі потоку, системи керування і датчики були виключені на фігурах для спрощення і наочності.

Спосіб, що відповідає цьому винаходу, забезпечує ректифікаційне розділення в роздільній системі багатокомпонентного живильного потоку, який містить метан і щонайменше один компонент, що заморожується, який має відносну випаровуваність, меншу за випаровуваність метану, в якому роздільна система містить зону керованого заморожування ("ЗКЗ"). Роздільна система виробляє верхній потік пари, збагаченої метаном, і нижній продукт, збагачений компонентом, що заморожується. Щонайменше, частину верхнього потоку пари потім зріджують для виробництва зрідженого природного газу, що має температуру, яка вища приблизно -112°C , і тиск, достатній для того, щоб рідкий продукт був у точці початку кипіння або нижче неї. Цей продукт інколи тут згадується як зріджений природний газ під тиском ("ЗГГПТ"). Іншу частину такого зрідженого верхнього потоку повертають в роздільну систему як зворотний потік.

Термін "точка початку кипіння" означає температуру і тиск, при яких рідина починає перетворюватись в газ. Наприклад, якщо деякий об'єм зрідженого природного газу під тиском утримують під постійним тиском, але його температура підвищується, то температура, при якій починають формуватися бульбашки газу в зрідженому природному газі під тиском, є точкою початку кипіння. В точці початку кипіння, зріджений природний газ під тиском є насиченою рідиною. Переважно, щоб зріджений природний газ під тиском не був

конденсованим тільки до його точки початку кипіння, а був додатково охолоджений для додаткового зниження температури рідини. Додаткове охолодження зрідженого природного газу під тиском зменшує кількість випарів при зберіганні, транспортуванні і користуванні.

До появи цього винаходу, спеціалістам в даній галузі техніки було добре зрозуміло, що зона керованого заморожування повинна видаляти небажаний CO₂. Не було взято до уваги, що процес керованого заморожування міг би поєднуватися з процесом зрідження для виробництва зрідженого природного газу під тиском.

Спосіб, який відповідає цьому винаходу, більш економічний в застосуванні, оскільки він потребує менше енергії для зрідження природного газу, ніж спосіб, який використовувався раніше, і обладнання, що використовується згідно зі способом, який відповідає цьому винаходу, може вироблятися з менш дорогих матеріалів. В протилежність цьому, способи відомого рівня техніки, що призначені для виробництва зрідженого природного газу при атмосферному тиску, який має такі низькі температури як -160°C, вимагають обладнання, яке виконане з дорогих матеріалів для безпеки праці.

Згідно з цим винаходом, потреба в енергії, яка необхідна для зрідження природного газу, який містить значні концентрації компонента, що заморожується, такого як CO₂, значно знижена порівняно з потребою в енергії для здійснення звичайного способу виробництва зрідженого природного газу з такого природного газу. Зменшення необхідної для охолодження енергії, яка вимагається згідно зі способом, що відповідає цьому винаходу, призводить до значного зменшення капітальовкладень, пропорційне зменшенню виробничих витрат і збільшенню ефективності і надійності, таким чином, значно збільшуючи економічність виробництва зрідженого природного газу.

При робочих тисках і температурах, відповідних цьому винаходу, близько 3,5мас. % нікелю може використовуватися в трубопроводах і обладнанні в найбільш холодних робочих районах процесу зрідження, тоді як більш дорогий вміст 9мас. % нікелю чи алюмінію звичайно вимагається для такого ж обладнання згідно із звичайним способом виробництва зрідженого природного газу. Це дає ще одне значне зменшення вартості здійснення способу, який відповідає цьому винаходу, порівняно з відомими способами виробництва зрідженого природного газу.

Першою важливою обставиною при криогенній обробці природного газу є забруднення. Сирий природний газ, як вихідна сировина, яка придатна для здійснення способу, що відповідає цьому винаходу, може містити природний газ, одержаний із свердловини з сировою нафтою (попутний газ) або з газової свердловини (незв'язаний газ). Сирий природний газ часто містить воду, вуглекислий газ, сірчистий водень, азот, бутан, вуглеводні з шістью, або більше атомами вуглецю в молекулі, бруд, сірчисте залізо, парафін та нафту. Розчинності цих домішок варіюються в залежності від температури, тиску і складу. При криогенних температурах CO₂, вода та інші домішки можуть формувати тверді частинки, які можуть забивати проходи для потоків в криогенних теплообмінниках. Ці потенційні труднощі можуть бути подолані за допомогою видалення таких домішків, якщо умови в їх чистому компоненті, межі твердої фази при певних температурах і тиску прогнозуються. В наступному описі винаходу припускається, що потік природного газу містить CO₂. Якщо потік природного газу містить високомолекулярні вуглеводні, які могли заморожуватися при зрідженні, ці важкі вуглеводні будуть видалятися разом з CO₂.

Однією з переваг цього винаходу є те, що більш високі робочі температури допускають вміст в природному газі більш високих рівнів концентрації компонентів, що заморожуються, ніж це було б можливим при звичайному способі зрідження природного газу. Наприклад, на звичайній станції для зрідження природного газу, яка виробляє зріджений природний газ при температурі -160°C, вміст CO₂ повинен бути нижче приблизно 50 частинок на мільйон для усунення проблем заморожування. В протилежність цьому, при підтриманні робочих температур вище приблизно -112°C, природний газ може містити CO₂ на таких високих рівнях, як приблизно 1,4 молекулярного % CO₂ при температурах -112°C і 4,2% при -95°C без одержання проблем заморожування при здійсненні способу зрідження, що відповідає цьому винаходу.

Крім того, при здійсненні способу, що відповідає цьому винаходу, немає необхідності у видаленні помірних кількостей азоту, які містяться в природному газі, оскільки азот буде залишатися в рідкій фазі разом із зрідженими вуглеводнями, при робочих тисках і температурах, що відповідають цьому винаходу. Здатність зменшення, або в деяких випадках вилучення обладнання, яке потрібне для очищення газу і видалення азоту, надає значних технічних і економічних переваг. Ці та інші переваги винаходу будуть краще зрозумілі із посиланням на фігури, які ілюструють спосіб зрідження.

Як показано на фіг.1, живильний потік 10 природного газу потрапляє до системи під тиском вище приблизно 3100кПа, і переважно, вище приблизно 4800кПа і з температурами, переважно, від біля 0°C до 40°C; проте, якщо необхідно, можуть використовуватись різні тиски та температури і система може бути відповідно модифікована. Якщо потік 10 газу має тиск нижче приблизно 1380кПа, він може бути стиснутий придатним компресорним засобом (не показано), яке може містити один або більше компресорів. В цьому описі способу, який відповідає винаходу, припускається, що потік 10 природного газу був належним чином оброблений для видалення води з використанням звичайних і добре відомих способів (не показані на фіг.1) для одержання "сухого" потоку природного газу.

Живильний потік 10 проходить крізь охолоджувач 30. Охолоджувач 30 може містити один або більше звичайних теплообмінників, які охолоджують потік природного газу до криогенних температур, переважно, до приблизно -50°C -70°C і, більш переважно, до температур, які трохи перевищують температуру затвердження CO₂. Охолоджувач 30 може містити один або більше теплообмінних систем, які охолоджуються звичайними охолоджувальними пристроями, один або більше розширюючих засобів, таких як клапани Джоуля-Томпсона або турборозширювачі, один або більше теплообмінників, в яких як холодоагент використовується рідина з нижньої секції фракціонуючої колони 31, один або більше теплообмінників, в яких як холодоагент використовується нижній потік продукту з фракціонуючої колони 31, або будь-яке інше придатне джерело охолодження. Переважна охолоджуюча система буде залежати від доступності охолоджуючих засобів, обмежень простору, якщо вони є, і міркувань охорони оточуючого середовища і безпеки. Спеціалісти з цієї

галузі техніки можуть вобрати придатну систему охолодження, беручи до уваги робочі умови процесу зрідження.

Охолоджений потік 11, який виходить з живильного охолоджувача 30, подається в фракціонуючу колону 31, що має зону керованого заморожування ("ЗКЗ"), яка є спеціальною секцією для твердіння і плавлення CO_2 . Секція керованого заморожування, в якій здійснюється твердіння і плавлення CO_2 не містить насадок або жолобків, як звичайні дистиляційні колони, натомість вона містить одне або більше розпилювальних сопел і плавильний піддон. Твердий CO_2 формується в випарювальному просторі в дистиляційній колоні і падає в рідину в плавильному піддоні. По суті всі тверді частинки, що формуються, опиняються замкненими в зону керованого заморожування. Ректифікаційна колона 31 має звичайну ректифікаційну секцію нижче від секції керованого заморожування і, переважно, ще одну ректифікаційну секцію вище від секції керованого заморожування. Конструкція і робота фракціонуючої колони 31 відомі спеціалістам в цій галузі техніки. Приклади конструкцій зон керованого заморожування розкриті в патентах США №№ 4533372, 4923493, 5062270, 5120338 і 5265428.

Багатий на CO_2 потік 12 виходить з нижньої частини колони 31. Рідкий нижній продукт нагрівається у випарнику 35, і його частина повертається в нижню секцію колони 31 у вигляді випарів. Частина, що лишилася, (потік 13) виходить з процесу обробки у вигляді багатого на CO_2 продукту. Багатий на метан потік 14 виходить з верхньої частини колони 31 і проходить через теплообмінник 32, який охолоджується потоком 17, що сполучається із звичайною охолоджуючою системою 33 з замкнутим циклом. Може використовуватися однокомпонентна, багатокомпонентна або каскадна система охолодження. Каскадна охолоджувальна система могла б містити, щонайменше, два замкнуті цикли охолодження. Охолоджувальна система із замкнутим циклом може використовувати як холодоагент метан, етан, пропан, бутан, пентан, вуглекислий газ, сірчистий водень і азот. Частіше в охолоджувальній системі з замкнутим циклом переважним холодоагентом є пропан. Хоча на фіг.1 показаний тільки один теплообмінник 32, згідно з цим винаходом може використовуватися безліч теплообмінників для охолодження потоку 14 пари на протязі безлічі етапів. Теплообмінник 32, переважно конденсує по суті весь потік 14 пари в рідину. Потік 19, що виходить з теплообмінника, має температуру, яка вища, приблизно, -112°C , і тиск достатній для того, щоб рідкий продукт був в точці початку кипіння або більш низький. Перша частина рідкого потоку 19 проходить як потік 20 в придатний засіб 34 для зберігання, такий як стаціонарна цистерна для зберігання, або на транспортний засіб, такий як судно для перевезення зрідженого природного газу під тиском, вантажний автомобіль або залізнична цистерна, придатні для утримання зрідженого газу під тиском з температурою вище приблизно -112°C і під тиском, достатнім для того, щоб рідкий продукт був в точці початку кипіння або більш низький. Друга частина рідкого потоку 19 повертається у вигляді потоку 21 в роздільну колону 31 для охолодження роздільної колони 31. Відносні пропорції потоків 20 і 21 будуть залежать від складу живильного газу 10, робочих характеристик роздільної колони 31 і бажаної специфікації продукту.

При зберіганні, транспортуванні, і споживанні зрідженого природного газу може заявлятися помірна кількість "випарів" в результаті випарення зрідженого природного газу. Спосіб, що відповідає цьому винаходу, може, при необхідності, містити повторне зрідження випарів, які багаті на метан. Як показано на фіг.1, потік 16 випарів може, при необхідності, вводиться в потік 14 пари для охолодження теплообмінником 32. Потік 16 випарів повинен мати тиск (або близький до нього) потоку 14 пари, в який вводять випари. В залежності від тиску випарів, може вимагатись регулювання тиску випарів, при допомозі одного або більш компресорів або розширювачів (не показані на фігурках) для відповідності тиску в точці, де випари потрапляють до процесу зрідження. Невелика частина потоку 14 пари може, при необхідності, видалятися з процесу в як паливо (потік 15) для подавання частини енергії, необхідної для приведення в рух компресорів і насосів, в процесі зрідження. Це паливо може, при необхідності, використовуватися як джерело охолодження для сприяння охолодженню живильного потоку 10.

Фіг.2 схематично ілюструє інший приклад здійснення цього винаходу, в якому охолодження з розімкнутим циклом використовують для забезпечення охолодження роздільної колони 51 і для виробництва зрідженого природного газу під тиском. Як показано на фіг.2, багатокомпонентний потік 50 газу, що містить метан і вуглекислий газ, який був зневоднений і охолоджений будь-яким придатним засобом охолодження (не показано на фіг.2), подають в колону 51 із зоною керованого заморожування, яка має точно таку ж конструкцію, яка і роздільна колона 31, що показана на фіг.1. Цей приклад здійснення винаходу ефективно усуває можливість формування твердих частинок в процесі зрідження шляхом спрямування живильного потоку 64 безпосередньо в колону 51 із зоною керованого заморожування.

Температура газу, що подається в колону 51 із зоною керованого заморожування, вище температури твердіння CO_2 . Багатий на метан потік 52 пари виходить з верхньої частини колони 51 із зоною керованого заморожування, і збагачений вуглекислим газом потік 53 виходить з нижньої частини колони 51 із зоною керованого заморожування. Рідкий нижній продукт нагрівається у випарнику 65, і його частина повертається до нижньої секції колони 51 із зоною керованого заморожування як випарена пара. Частина, що залишалася, (потік 54) виводиться з процесу обробки у вигляді багатого CO_2 рідкого продукту.

Перша частина верхнього потоку 52 повертається назад в колону 51 із зоною керованого заморожування у вигляді потоку 64 для забезпечення охолодження у вигляді потоку 64 для забезпечення охолодження із замкнутим контуром колони 51 із зоною керованого заморожування. Друга частина верхнього потоку 52 виводиться (потік 63) у вигляді одержаного зрідженого природного газу під тиском, який відповідає робочому тиску колони 51 із зоною керованого заморожування або близький до нього, і з температурою, яка вище приблизно -112°C . Третя частина верхнього потоку 52 може, при необхідності, виводиться (потік 59) для використання як газ для споживчої магістралі або для подальшої обробки.

Принципові компоненти охолодження з розімкнутим циклом у цьому прикладі здійснення винаходу містять стиснення одним або більше компресорів 57 верхнього потоку 52, що виходить з верхньої частини колони 51, із зоною керованого заморожування, охолодження стисненого газу одним або більше охолоджувачів 58, проходження щонайменше частини охолодженого газу (потік 61) в один або більше

розширювальних засобів 62 для зменшення тиску потоку газу і його охолодження, і подачу частини (потік 64) охолодженого розширеного потоку в колону 51 із зоною керованого заморожування. Повернення частини верхнього потоку 52, згідно з цим способом, забезпечує охолодження з розімкнутим циклом колони 51 із зоною керованого заморожування. Потік 60 охолоджується теплообмінником 55, який також нагріває верхній потік 52. Тиском потоку 64, переважно, керують шляхом регулювання сили стиснення, яка виробляється компресором 57, для забезпечення того, щоб тиски в рідині потоків 60, 61 і 64 були достатньо високими для попередження формування твердих частинок. Повернення, щонайменше, частини верхнього потоку 52 пари у верхню частину колони 51 у вигляді рідини, конденсованої охолодженням з розімкнутим циклом, також забезпечує зворотний приплив в колону 51.

Колона 51 із зоною керованого заморожування має звичайну ректифікаційну секцію над секцією керованого заморожування. Секція керованого заморожування виконує формування і плавлення твердих частинок CO₂. На початку роботи весь потік 64 може спрямовуватися безпосередньо до секції керованого заморожування. Коли потік 64 стає бідним на речовини, що формують тверді частинки, більша частина потоку 64 може подаватися до ректифікаційної секції колони, що знаходиться над секцією керованого заморожування.

Фіг.3 схематично ілюструє інший приклад здійснення цього винаходу, в якому способом, що відповідає цьому винаходу, як потоки продукту виробляють як зріджений природний газ під тиском, так і газ для споживчої магістралі. В цьому прикладі здійснення винаходу верхні потоки продукту становлять 50% зрідженого природного газу під тиском (потік 126) і 50% газу (потік 110) для споживчої магістралі. Проте додатковий зріджений природний газ під тиском, що досягає 100% всього об'єму, може вироблятися завдяки застосуванню додаткового охолодження або шляхом теплообміну з більш холодними рідинами, або зниження тиску в розширювачі, за рахунок застосування обладнання для додаткового стиснення і додаткових охолоджувачів. Також менше зрідженого природного газу під тиском можна виробляти, застосовуючи менше охолодження.

Відносно фіг.3 передбачається, що живильний потік 101 природного газу містить понад 5 молекулярних % CO₂ і по суті не містить води для запобігання утворенню заморожених частинок і гідрату в процесі обробки. Після зневоднення живильний потік охолоджують, знижують його тиск і подають в ректифікаційну колону 190, яка працює під тиском в межах від, приблизно, 1379кПа до, приблизно, 4482кПа. Ректифікаційна колона 190, яка має секцію керованого заморожування, подібно роздільній колоні 31, що показана на фіг.1, розділяє живильний потік на збагачений метаном верхній пароподібний продукт і збагачений вуглекислим газом рідкий нижній продукт. Згідно з цим винаходом ректифікаційна колона 190 має, щонайменше, дві і три окремі секції, ректифікаційну секцію 193, зону 192 керованого заморожування (ЗКЗ), розташовану над ректифікаційною секцією 193, і, при необхідності, верхню ректифікаційну секцію 191.

В цьому прикладі живильний потік подається до верхньої частини ректифікаційної секції 193 у формі потоку 105, де він піддається звичайній ректифікації. Ректифікаційні секції 191 і 193 містять піддони і/або насадки і забезпечують необхідний контакт між рідинами, що стікають вниз, і парами, що піднімаються вгору. Більш легкі пари виходять з ректифікаційної секції 193 і надходять в зону 192 керованого заморожування. Надійшовши в зону 192 керованого заморожування, пари контактують з рідиною (поворотною рідиною, що розпилюється в зоні заморожування), яка виходить з сопел або розпилювальних вузлів 194. Після цього пари продовжують підніматися вгору через верхню ректифікаційну секцію 191. Для ефективного відокремлення CO₂ від потоку природного газу в колоні 190, потрібне охолодження для забезпечення переміщення в рідкому стані у верхніх секціях колони 190. Згідно з практикою, що застосовується в данному прикладі здійснення винаходу, охолодження верхньої частини колони 190 забезпечується охолодженням з розімкнутим циклом.

У прикладі здійснення винаходу, показаному на фіг.3, живильний газ, що надходить, розділюється на два потоки: потік 102 і потік 103. Потік 102 охолоджується в одному або більше теплообмінниках. В цьому прикладі використовують три теплообмінники 130, 132, і 132 для охолодження потоку 102 і для виконання функції випарника для вироблення тепла для ректифікаційної секції 193 колони 190. Потік 103 охолоджується одним або більше теплообмінниками, які знаходяться в теплообмінному контакті з одним із нижніх потоків продукту колони 190. Фіг.3 зображує два теплообмінники 133 і 141, які нагрівають нижні продукти, що виходять з колони 190. Однак кількість теплообмінників, що забезпечують охолодження живильного потоку, буде залежати від ряду факторів, включаючи, але не обмежуючись ними, швидкість потоку газу, що входить, склад газу, що входить, температуру живильного газу і вимоги теплообміну. При необхідності, хоча це і не показано на фіг.3, живильний потік 101 може охолоджуватися, щонайменше, частково звичайними охолоджувачими системами, такими як однокомпонентні або багатокомпонентні охолоджуючі системи.

Потоки 102 і 103 знову комбінуються, і комбінований потік проходить через придатний розширювальний засіб, такий як клапан 150 Джоуля-Томпсона, досягаючи тиску, приблизно відповідного робочому тиску в роздільній колоні 190. В альтернативному варіанті, замість клапану 150 Джоуля-Томпсона може використовуватися турборозширювач. Миттєве розширення за допомогою клапану 150 утворює охолоджений розширюваний потік 105, який спрямований у верхню частину ректифікаційної секції 193 в точку, де температура, переважно, достатньо висока для виключення заморожування CO₂.

Верхній потік 106 пари з роздільної колони 190 проходить через теплообмінник 145, який нагріває потік 106 пари. Нагрітий потік пари (потік 107) повторно стискається однакаскадним стисненням або багатокаскадним стисненням низкою компресорів. В цьому прикладі потік 107 проходить послідовно через два звичайних компресори 160 і 161. Після кожного етапу стиснення потік 107 охолоджується додатковими охолоджувачами 138 і 139, з використанням як охолоджуючої речовини оточуючого повітря або води. При стисненні і охолодженні потоку 107 отримують газ, який може використовуватися для збуту в споживчу газову магістраль або подаватися подальшій обробці. Стиснення потоку 107 пари звичайне буде проводитись до одержання щонайменше тиску, який відповідає вимогам магістралі.

Частина потоку 107 після проходження через компресор 160 може, при необхідності, виводитись (потік

128) для використання як палива для станції обробки газу. Інша частина потоку 107 після проходження через додатковий охолодник 139 виводиться (потік 110) як споживчий газ. Частина потоку 107, що залишалася, проходить як потік 108 у теплообмінники 140, 136 і 137.

Потік 108 охолоджується в теплообмінниках 136 і 137 холодною рідиною з потоку 124, що виходить з нижньої частини колони 190. Потік 108 потім додатково охолоджують в теплообміннику 145, завдяки теплообміну з верхнім потоком 106 пари, який отримується при нагріванні потоку 106. Потік 108 потім розширюється придатним розширювальним пристроєм, таким як розширювач 158, для одержання тиску, приблизно рівному робочому тиску колони 190. Потім потік 108 розділяється, при цьому одна його частина проходить як зріджений природний газ під тиском (потік 126) з температурою вище приблизно -112°C і тиск вище приблизно 1380кПа для зберігання або транспортування. Інша частина (потік 109) надходить до роздільної колони 190. Тиск на виході компресора 161 регулюється для одержання тиску, який достатньо високий для того, щоб падіння тиску в розширювачі 158 виробляло достатнє охолодження для забезпечення того, що потоки 109 і 126 переважно являють собою рідину, збагачену метаном. Для виробництва додаткового зрідженого природного газу під тиском (потік 126), додаткове стискання може здійснюватися після компресора 160 і до теплообмінника 136. Для початку процесу, потік 109, переважно, подають через потік 109A і вприскують безпосередньо до секції 192 керованого заморожування при допомозі розпилювального сопла 194. Після того, як процес розпочався, потік 109 може подаватися (потік 109B) до верхньої секції 191 роздільної колони 190.

Потік 115 збагаченого CO_2 рідкого продукту виходить з нижньої частини колони 190. Потік 115 розділяється на дві частини: потік 116 і потік 117. Потік 116 проходить через придатний розширювальний засіб, такий як клапан 153 Джоуля-Томпсона, для зниження тиску. Потік 124, який виходить з клапана 153, потім нагрівається в теплообміннику 136, і потік 124 проходить через інший клапан 154 Джоуля-Томпсона і ще один теплообмінник 137. Одержаний в результаті потік 125 потім зливається з потоком 120 пари, що виходить з розділювача 181.

Потік 117 розширюється придатним розширювальним пристроєм, таким як розширювальний клапан 151, і проходить через теплообмінник 133, таким чином, охолоджуючи живильний потік 103. Потік 117 потім спрямовується в розділювач 180, який є звичайним пристроєм для розділення газу і рідини. Пара з розділювача 180 (потік 118) проходить через один або більше компресорів і насосів високого тиску для підвищення тиску. На фіг.3 показана серія з двох компресорів 164 і 165 і насос 166 з охолоджувачами 143 і 144. Потік 122 продукту, що виходить з насоса цієї серії, має тиск і температуру, придатні для нагнітання в підземні формації.

Рідкі продукти, що виходять з розділювача 180 потоком 119, проходять через розширювальний пристрій, такий як розширювальний клапан 152, і потім проходять через теплообмінник 141, який знаходиться в теплообмінній взаємодії з живильним потоком 103, таким чином додатково охолоджуючи живильний потік 103. Потік 119 потім спрямовується в розділювач 181, який є звичайним пристроєм для розділення газу і рідини. Пари з розділювача 181 проходять (потік 120) до компресору 163, за яким іде звичайний додатковий охолоджувач 142. Потік 120 потім зливається з потоком 118. Будь-який конденсат, доступний з потоку 121, може добуватися звичайними способами миттєвого випарювання або стабілізації і потім може продаватися, спалюватися або використовуватися як паливо.

Хоча роздільні системи, що показані на фіг.1 - 3, мають тільки одну ректифікаційну колону (колона 31 на фіг.1, колона 51 на фіг.2 і колона 190 на фіг.3), роздільні системи, що відповідають даному винаходу, можуть містити дві або більше ректифікаційних колон. Наприклад, для зменшення висоти колони 190, що показана на фіг.3, може бути бажано розділити колону 190 на дві або більше колон (не показані на фігурах). Перша колона містить дві секції: ректифікаційну секцію і зону керованого заморожування над дистиляційною секцією, яка виконує таку ж функцію, як і секція 191, що показана на фіг.3. Багатокомпонентний живильний потік подають до першої ректифікаційної колони. Рідкий осад з другої колони подають в зону заморожування першої колони. Верхню пару з першої колони подають до нижньої частини другої колони. Друга колона має такий же розімкнутий цикл охолодження, як показано на фіг.3 відносно колони 190. Потік пари з другої ректифікаційної колони виводять, охолоджують, і частину його повертають до верхньої частини другої роздільної колони.

Приклади

Імітовані баланси маси і енергії були виконані для ілюстрації прикладів здійснення винаходу, що показані на фіг.1 і фіг.3, і результати показані в таблицях 1 і 2, відповідно, що наведені нижче. Для даних, що представлені в таблиці 1, припускалося, що верхній потік продукту є 100 %-м зрідженим природним газом під тиском (потік 20 на фіг.1), і охолоджуюча система була каскадною пропан-етиленовою системою. Для даних, що представлені в таблиці 2, припускалося, що верхні потоки продукту складають 50% стисненого зрідженого природного продукту (потік 126 на фіг.3) і 50% споживчого газу (потік 110 на фіг.3).

Дані були одержані з використанням доступної на ринку програми імітації процесу, що має назву HYSYS™ (яка постачається Hysprotech Ltd. of Calgary, Canada); проте інші доступні на ринку програми імітації процесу можуть використовуватися для одержання даних, включаючи, наприклад, HYSIM™, PROII™ і ASPEN PLUS™, які відомі спеціалістам з даної галузі техніки. Дані, що представлені в таблицях, запропоновані для кращого розуміння прикладів здійснення винаходу, що показані на фіг.1 і 3, але винахід не повинен тлумачитися, як обмежений ними. Температури і швидкості потоків не повинні розглядатися як обмеження винаходу, який може мати багато варіацій температур і швидкостей потоків, в рамках викладеного тут.

Додаткова імітація способу була здійснена з використанням базової блок-схеми, що показана на фіг.1, (застосовуючи такий же склад живильного потоку і температуру, як і використані для одержання даних, що показані у таблиці 1) для виробництва звичайного зрідженого природного газу під тиском, що близький до атмосферного, і з температурою -161°C . Звичайний спосіб виробництва зрідженого природного газу з застосуванням зони керованого заморожування вимагає значно більшого охолодження, ніж спосіб виробництва зрідженого природного газу під тиском з застосуванням зони керованого заморожування, що показаний на фіг.1. Для одержання охолодження, яке вимагає для виробництва зрідженого природного газу

при температурі -161°C , охолоджувальна система повинна бути розширена від системи з каскадом пропан/етилен до системи з каскадом пропан/етилен/метан. Додатково потік 20 міг би потребувати подальшого охолодження з використанням метану, і тиск продукту міг би знижуватися з використанням розширювача рідини або клапана Джоуля-Томсона для виробництва зрідженого природного газу при атмосферному тиску або близькому до нього. Через понижені температури CO_2 , що міститься у зрідженому природному газі, повинен видалятися до рівня, який складає приблизно 50 частин на мільйон, для усунення проблем, пов'язаних з заморожуванням CO_2 при здійсненні цього способу, замість 2% CO_2 , згідно із способом одержання зрідженого газу під тиском з застосуванням зони керованого заморожування, що показаний на фіг.1.

Таблиця 3 демонструє порівняння вимог до стиснення холодоагенту для звичайного способу одержання зрідженого природного газу і способу одержання зрідженого природного газу під тиском, який описано в імітованому прикладі, викладеному в попередньому абзаці. Як показано в таблиці 3, сумарна сила, що потребує для стиснення холодоагенту була, на 67% вище для виробництва звичайного зрідженого природного газу, в порівнянні з виробництвом зрідженого природного газу під тиском, згідно з цим винаходом.

Спеціаліст з даної галузі техніки, особливо той, що користується перевагами, запропонованими цим патентом, знайде багато 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 змінений в залежності від загальних конструктивних потреб для досягнення вимог оптимального і ефективного теплообміну. Крім того, деякі операції способу можуть виконуватися з використанням додаткових пристроїв, які взаємозамінні з показаними пристроями. Наприклад, розділення і охолодження можуть виконуватися в одному пристрої. Як викладено вище, конкретно описані варіанти здійснення винаходу і приклади не слід використовувати для обмеження обсягу винаходу, який визначений наведеними нижче пунктами формули винаходу та їх еквівалентами.

Таблиця 1

Комплексний спосіб керованого заморожування/одержання зрідженого природного газу підтиском

Потік	Фаза Пара/рідини	Тиск (кПа)	Температура($^{\circ}\text{C}$)	Сумарний потік (кгмоль/год)	Молекулярних % CO_2 CH_4	
10	Пара	6764	18,3	49805	71,1	26,6
11	Пара/рідина	3103	-56,7	49805	71,1	26,6
12	Рідина	3103	-7,7	55656	95,9	1,4
13	Рідина	3103	-4,9	36424	96,5	0,5
14	Пара	3068	-92,0	30844	2,0	97,7
19	Рідина	3068	-94,6	30844	2,0	97,7
20	Рідина	3068	-94,6	13381	2,0	97,7
21	Рідина	3068	-94,6	17463	2,0	97,7

Таблиця 2

Комплексний спосіб керованого заморожування/одержання зрідженого природного газу підтиском за допомогою охолодження з розімкнутим циклом

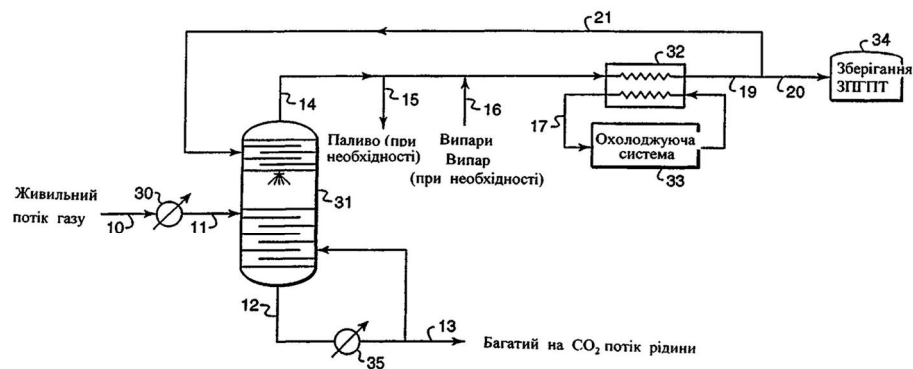
Потік	Фаза Пара/рідина	Тиск (кПа)	Температура ($^{\circ}\text{C}$)	Сумарний потік	CO_2 (мол.%)	N_2 (мол.%)	CH_4 (мол.%)	H_2S (мол.%)	C_2+ (мол.%)
101	пара	6764	18,3	49850	71,1	0,4	26,6	0,6	1,3
102	пара	6764	18,3	19731	71,1	0,4	26,6	0,6	1,3
103	пара	6764	18,3	30119	71,1	0,4	26,6	0,6	1,3
104	Пара/рідина	6695	-7,8	5942	71,1	0,4	26,6	0,6	1,3
105	Пара/рідина	2758	-56,7	49850	71,1	0,4	26,6	0,6	1,3
106	пара	2758	-99,4	31116	0,1	1,5	98,4	16 ч/млн	0,0
107	пара	2551	-30,6	31116	0,1	1,5	98,4	16 ч/млн	0,0
108	пара	16823	51,7	23723	0,1	1,5	98,4	16 ч/млн	0,0
109	рідина	2758	-101,7	18008	0,1	1,5	98,4	16 ч/млн	0,0
110	пара	16823	51,7	5715	0,1	1,5	98,4	16 ч/млн	0,0
115	Рідина	2758	-11,1	36741	96,5	0,0	1,0	0,7	1,8
116	рідина/	2758	-11,1	6532	96,5	0,0	1,0	0,7	1,8
117	рідина	2758	-11,1	30209	96,5	0,0	1,0	0,7	1,8
118	пара	1862	-21,1	21727	96,8	0,0	1,3	0,7	1,2
119	рідина	1862	-21,1	8482	95,5	0,0	0,1	0,9	3,5
120	пара	621	-23,3	8210	97,8	0,0	0,1	0,9	1,2
121	рідина	621	-23,3	227	18,7	0,0	0,0	0,6	80,7
122	рідина	29751	65,6	36514	97,0	0,0	1,0	0,7	1,3
123	пара	16616	-28,3	23723	0,1	1,5	98,4	16 ч/млн	0,0

124	пара/рідина	1931	-22,2	6532	96,5	0,0	1,0	0,7	1,8
125	пара	621	-22,2	6532	96,5	0,0	1,0	0,7	1,8
126	рідина	2758	-101,7	5715	0,1	1,5	98,4	16 ч/млн	0,0
128	пара	6895	56,1	1633	0,1	1,5	98,4	16 ч/млн	0,0

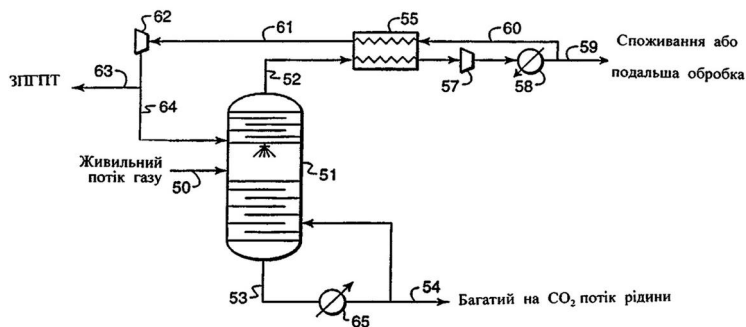
Таблиця 3

Порівняння потужності, що споживається на стиснення холодоагенту при одержанні звичайного зрідженого природного газу і зрідженого природного газу під тиском

	Потужність (к.с.)			Потужність (кВт)		
	Звич. сп.	ЗПГПТ	Різниця	Звич. сп.	ЗПГПТ	Різниця
Компресори						
Компресори з пропановим холодоагентом	162210	115960	46250	120962	86473	34489
Компресори з етиленовим холодоагентом	86090	41490	44600	64198	30940	33259
Компресори з метановим холодоагентом	14031	0	14031	10563	0	10463
Сумарна проектна потужність на стиснення холодоагенту	262331	157450	104881	195623	117412	78211
Відсоткова співвідношення	167%	100%	67%	167%	100%	67%



Фіг. 1



Фіг. 2

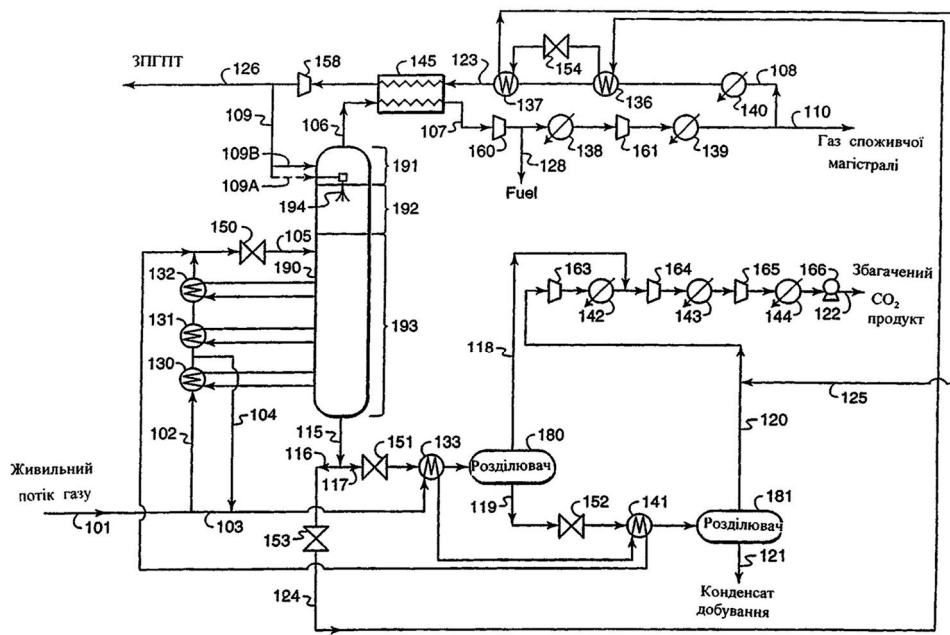


Fig. 3