



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115169** (13) **C2**
(51) МПК

B01D 53/04 (2006.01)
B01D 53/02 (2006.01)
B01J 20/20 (2006.01)
B01J 20/34 (2006.01)
C10L 3/10 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2015 08764</p> <p>(22) Дата подання заявки: 18.03.2014</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.09.2017</p> <p>(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 2013-057135</p> <p>(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 19.03.2013</p> <p>(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: JP</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 10.12.2015, Бюл.№ 23</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2017, Бюл.№ 18</p> <p>(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: РСТ/JP2014/057378, 18.03.2014</p>	<p>(72) Винахідник(и): Утакі Такахіса (JP), Кавасіма Сьота (JP), Секі Кенджі (JP), Моріта Юхей (JP)</p> <p>(73) Власник(и): ОСАКА ГЕС КО., ЛТД., 1-2, Hiranomachi 4-chome, Chuo-ku, Osaka-shi, Osaka 5410046, Japan (JP)</p> <p>(74) Представник: Дубинський Михайло Ілліч, реєстр. №70</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: JP 2000312824 A, 14.11.2000 JP H1143322 A, 16.02.1999 JP H06100309 A, 12.04.1994</p>
---	---

(54) СПОСІБ ОЧИЩЕННЯ ГАЗУ

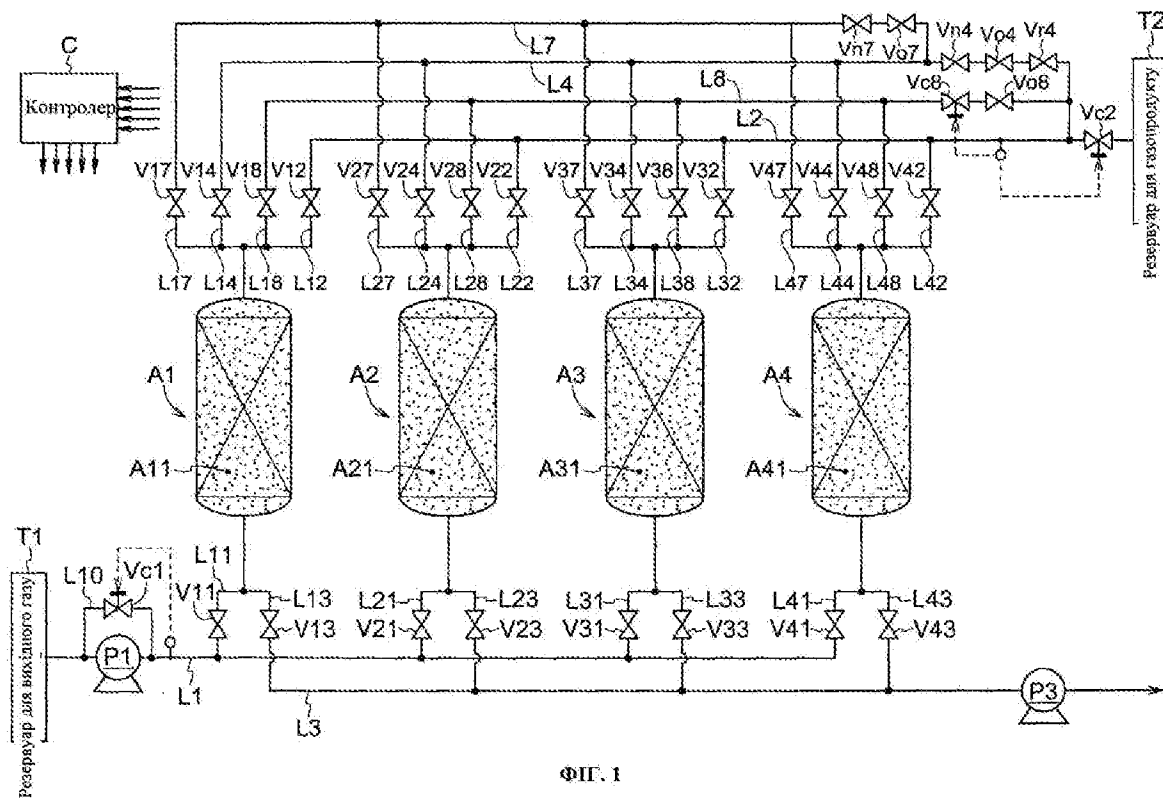
(57) Реферат:

СПОСІБ ОЧИЩЕННЯ ГАЗУ

Реферат

Швидкість видобування призначеного для очищення газу з газоочисного пристрою, в якому застосовується PSA-пристрій, поліпшується, і досягаються високий ступінь очищення та висока швидкість видобування при добрій продуктивності. Даний винахід є спрямованим на спосіб очищення газу з застосуванням способу PSA, при якому вуглецеве молекулярне сито, яке має об'єм пор, при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,05 см³/г, і об'єм пор, при діаметрі пор 0,34 нм, 0,15 см³/г або більше, у розподілі пор за діаметром, вимірним способом МР, застосовують як адсорбент, і на етапі адсорбції сторонній газ адсорбується з вихідного газу шляхом приведення вихідного газу у контакт з адсорбентом протягом 10 секунд або більше і 6000 секунд або менше для одержання концентрованого метану.

UA 115169 C2



ФІГ. 1

Галузь винаходу

Даний винахід стосується способу очищення газу, який включає:

забезпечення адсорбційної колони, наповненої адсорбентом, що адсорбує сторонній газ, відмінний від метану, з вихідного газу, який містить метан;

5 забезпечення лінії подачі вихідного газу для подачі вихідного газу до адсорбційної колони; забезпечення лінії видобування газопродукту для відведення метану, який не був адсорбований на адсорбент, як газопродукту;

забезпечення лінії відведення стороннього газу для відведення десорбованого стороннього газу, який був адсорбований на адсорбент; та

10 здійснювані поперемінно за допомогою адсорбційної колонки, лінії подачі вихідного газу, лінії видобування газопродукту та лінії відведення стороннього газу,

етап адсорбції, що включає подання вихідного газу до адсорбційної колони по лінії подачі вихідного газу, адсорбування стороннього газу на адсорбент та видобування газопродукту по лінії видобування газопродукту, та

15 етап десорбції, що включає зниження тиску / десорбцію стороннього газу, адсорбованого на адсорбенті, та відведення цього стороннього газу по лінії відведення стороннього газу у стані, коли лінія подачі вихідного газу та лінія видобування газопродукту є закритими.

Рівень техніки

20 У разі ефективного використання горючого газу необхідно відокремити газ, такий, як повітря, від вихідного газу, який містить горючий газ, та концентрувати горючий газ до відповідного діапазону концентрації. Пропонувалися різні пристрої та способи концентрації горючого газу і пропонувалися винаходи, згідно з якими так званий шахтний газ, який є горючим газом, використовують як вихідний газ, повітря (яке здебільшого складається з азоту, кисню та діоксиду вуглецю) відокремлюють від вихідного газу, застосовуючи адсорбент, і метан концентрують для використання.

Тобто, при застосуванні природного цеоліту, який має значно нижчу швидкість адсорбції для метану, ніж для азоту, як адсорбенту (тобто, при застосуванні адсорбенту, який вибірково адсорбує азот, кисень та діоксид вуглецю відносно метану) шахтний газ вводять в адсорбційну колону, заповнену адсорбентом, за допомогою компресора або іншого подібного пристрою до досягнення заданого тиску. Внаслідок цього кисень, азот та діоксид вуглецю, які містяться у шахтному газі, адсорбуються першими у передній частині (нижній частині) адсорбційної колони, а метан, який має меншу швидкість адсорбції, адсорбується у задній частині (верхній частині) адсорбційної колони. Крім того, пропонувалися винаходи, які стосувалися пристроїв та способів концентрації метану, згідно з якими вищеописаний метан додатково вивільнювався з верхньої частини адсорбційної колони, до досягнення атмосферного тиску.

35 Таким чином, повітря може відокремлюватися від шахтного газу як вихідного газу через застосування адсорбенту, метан може концентруватися і концентрований метан може використовуватись як паливо або для інших подібних цілей. Вважається, що подібним чином може використовуватись шахтний газ, який містить відносно високу концентрацію метану.

40 Тобто, передбачається конфігурація (далі вказується як "PSA-пристрій" (адсорбція з перепадом тиску)), яка включає:

адсорбційну колону, наповнену адсорбентом, який адсорбує сторонній газ, відмінний від призначеного для очищення газу, від вихідного газу;

45 лінію подачі вихідного газу для подачі вихідного газу до адсорбційної колони; лінію видобування газопродукту для відведення призначеного для очищення газу, який не адсорбувався на адсорбент, як газопродукту; та

лінію відведення стороннього газу для відведення десорбованого стороннього газу, який був адсорбований на адсорбент,

50 причому адсорбційна колона, лінія подачі вихідного газу, лінія видобування газопродукту та лінія відведення стороннього газу є сполученими таким чином, щоб забезпечувалася робота з перепадом тиску переміжно виконуваних

етапу адсорбції, що включає приймання вихідного газу по лінії подачі вихідного газу, адсорбування стороннього газу на адсорбент та видобування газопродукту, та

55 етапу десорбції, що включає десорбування стороннього газу, адсорбованого на адсорбенті, та відведення цього стороннього газу по лінії відведення стороннього газу.

60 Таким чином, коли вихідний газ подається до адсорбційної колони по лінії подачі вихідного газу, виконують етап адсорбції, що включає адсорбування стороннього газу з вихідного газу на адсорбент в адсорбційній колоні. Призначений для очищення газ у вихідному газі, який не адсорбувався на адсорбент, відводять по лінії видобування газопродукту, а адсорбційна колона, яка була насичена шляхом адсорбування стороннього газу, може бути регенерована

шляхом здійснення етапу десорбції зниження тиску / десорбції стороннього газу, адсорбованого на адсорбенті. Відпрацьований газ, який утворюється в цей час, складається здебільшого зі стороннього газу і виводиться по лінії відведення стороннього газу. Може виконуватися робота з перепадом тиску при повторенні етапу адсорбції та етапу десорбції.

5 У цьому разі при концентруванні метану, який міститься у біогазі або шахтному газі, адсорбент, який має високу адсорбційну здатність для стороннього газу у вихідному газі, а також той, який має високу здатність до розділення метану / стороннього газу, є бажаними як адсорбент. Однак відомо не дуже багато адсорбентів, які мають високу адсорбційну здатність для стороннього газу у вихідному газі, а також тих, які мають високу здатність до розділення метану / стороннього газу. Наприклад, у Патентних документах з 1 по 5 вказується, що вуглецеві молекулярні сита, які мають середній діаметр пор приблизно від 3 Å до 5 Å, є придатними для адсорбційного відокремлення метану від різних газів (див., наприклад, Патентні документи з 1 по 5).

15 Однак було виявлено, що, крім діаметра пор, розподіл об'єму пор та константа часу адсорбції сприяють ефективності відокремлення стороннього газу (див., наприклад, Патентні документи з 6 по 9), і існує потреба у виборі відповідного адсорбенту згідно з призначенням роботи з перепадом тиску.

Документи існуючого рівня техніки

Патентні документи

20 Патентний документ 1: JP S58-159830A
 Патентний документ 2: JP H02-000699A
 Патентний документ 3: JP H07-316571A
 Патентний документ 4: JP 2003-019415A
 Патентний документ 5: JP 2006-083311A
 25 Патентний документ 6: WO 2008/053680
 Патентний документ 7: WO 2008/053681
 Патентний документ 8: JP H01-081896A
 Патентний документ 9: JP 2000-312824A

Опис винаходу

30 Проблема, яку розв'язує винахід

Крім того, завдяки технології згідно з вищезазначеним Патентним документом 2, може забезпечуватися вищий ступінь очищення газопродукту, оскільки чистота газопродукту може визначатися за допомогою PSA-пристрою. Однак мембранний сепаратор, який застосовують для попереднього збільшення чистоти вихідного газу, який подається на PSA-пристрій, викликає значне зниження швидкості видобування призначеного для очищення газу, і в результаті ця технологія навряд чи сприятиме збільшенню швидкості видобування пристрою в цілому.

Таким чином, мета даного винаходу полягає у поліпшенні швидкості видобування продукту з газоочисного пристрою, в якому застосовують PSA-пристрій, що дозволяє досягати як високого ступеня чистоти так і високої швидкості видобування при належній продуктивності.

40 Засоби розв'язання проблеми

(Конфігурація 1)

Для досягнення вищеприписаної цілі відмітна особливість способу очищення газу згідно з даним винаходом є спрямованою на спосіб очищення газу, який включає:

45 забезпечення адсорбційної колони, наповненої адсорбентом, який адсорбує сторонній газ, відмінний від метану, з вихідного газу, який містить метан;

забезпечення лінії подачі вихідного газу для подачі вихідного газу до адсорбційної колони;

забезпечення лінії видобування газопродукту для відведення метану, який не був адсорбований на адсорбент, як газопродукту;

50 забезпечення лінії відведення стороннього газу для відведення десорбованого стороннього газу, який був адсорбований на адсорбент; та

здійснювані попеременно за допомогою адсорбційної колони, лінії подачі вихідного газу, лінії видобування газопродукту та лінії відведення стороннього газу,

етап адсорбції, що включає приймання вихідного газу до адсорбційної колони по лінії подачі вихідного газу, адсорбування стороннього газу на адсорбент та видобування газопродукту по лінії видобування газопродукту, та

етап десорбції, що включає зниження тиску / десорбцію стороннього газу, адсорбованого на адсорбенті, та відведення цього стороннього газу по лінії відведення стороннього газу у стані, коли лінія подачі вихідного газу та лінія видобування газопродукту є закритими,

60 причому вуглецеве молекулярне сито, що має об'єм пор ($V_{0,38}$), при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,05 см³/г, і об'єм пор ($V_{0,34}$), при діаметрі пор 0,34 нм, 0,15 см³/г або

більше, у розподілі пор за діаметром, виміряним способом МР, застосовують як адсорбент, і на етапі адсорбції сторонній газ адсорбується з вихідного газу шляхом приведення вихідного газу у контакт з адсорбентом протягом 10 секунд або більше і 6000 секунд або менше для одержання концентрованого метану.

5 (Функціонування та ефект 1)

В результаті широких досліджень типів та фізичних властивостей адсорбентів при здійсненні вищеописаного способу очищення газу автори даного винаходу виявили, що вуглецеве молекулярне сито, яке має об'єм пор ($V_{0,38}$), при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,05 см³/г, і об'єм пор ($V_{0,34}$), при діаметрі пор 0,34 нм, 0,15 см³/г або більше, 10 яке зазвичай застосовують для розділення повітря, може бути оптимально застосоване як вищеописаний адсорбент для очищення метану шляхом розділення.

Тобто, хоча таке вуглецеве молекулярне сито застосовують для розділення повітря (очищення повітря шляхом його розділення на азот та кисень) завдяки його чудовій здатності до розділення кисню та азоту у повітрі, автори винаходу несподівано виявили, що вуглецеве 15 молекулярне сито може бути придатним для розділення кисню, азоту та метану шляхом регулювання його циклу адсорбційного відокремлення, і здійснили даний винахід.

Вищеописаний адсорбент зазвичай застосовують для розділення повітря, оскільки він забезпечує властивості адсорбування кисню під час газового контакту протягом приблизно від 6 секунд до 60 секунд, не адсорбуючи азот. Однак авторами було виявлено, що належний час адсорбційного відокремлення, протягом якого цей адсорбент адсорбує кисень, діоксид вуглецю та азот з повітря і не адсорбує метан, може бути встановлений шляхом приведення адсорбента у контакт з газом протягом довшого періоду часу. Хоча цей час адсорбційного відокремлення може коливатися залежно від типу газу, який співіснує з метаном, його оптимальний діапазон складає від 10 секунд або більше до 6000 секунд або менше, і приведення адсорбента у контакт 20 з вихідним газом протягом тривалого часу дозволяє забезпечувати газороздільний період часу доти, доки адсорбент не почне адсорбувати метан після адсорбції кисню, діоксиду вуглецю та азоту з повітря.

Відповідно, було виявлено, що час контакту приблизно від 1 хвилини до 100 хвилин забезпечує можливість відокремлення азоту / метану, а час контакту приблизно від 6 секунд до 30 100 хвилин забезпечує можливість відокремлення кисню та діоксиду вуглецю від метану з високою точністю.

(Конфігурація 2)

Крім того, адсорбент може мати об'єм пор ($V_{0,38}$), при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,01 см³/г, і об'єм пор ($V_{0,34}$), при діаметрі пор 0,34 нм, 0,20 см³/г або більше.

35 (Функціонування та ефект 2)

Стосовно фізичних властивостей адсорбента, молекулярний діаметр відокремлюваного газу зазвичай визначається діаметром пор, а адсорбційна здатність для газу, що відповідає діаметрові пор, зазвичай визначається об'ємом пор при цьому діаметрі пор. Таким чином, 40 точніше кажучи, коли адсорбційна здатність є дуже великою при діаметрі пор 0,34 нм, що відповідає молекулярному діаметру азоту, і коли адсорбційна здатність є дуже малою при діаметрі пор 0,38 нм або більше, що відповідає молекулярному діаметру метану, може досягатися більше співвідношення розділення газів.

(Конфігурація 3)

Крім того, адсорбент може мати діаметр частинок від 0,5 мкм до 3,0 мкм, і щільність заповнення адсорбентом адсорбційної колони може становити від 0,60 г/мл до 0,75 г/мл.

45 (Функціонування та ефект 3)

У разі здійснення способу очищення газу за вищеописаних умов чим вищою є ефективність газового контакту для адсорбенту, тим вищою є ефективність адсорбційного розділення газів, яка може бути визначена. Стосовно ефективності газового контакту для адсорбента, 50 вимагається забезпечення певної великої кількості інтервалу між адсорбентами. Величина інтервалу може бути відповідним чином визначена на основі співвідношення між діаметром частинок адсорбенту та густиною заповнення адсорбенту для адсорбційної колони. У даному разі було виявлено, що коли діаметр частинок адсорбенту становить від 0,5 мкм до 3,0 мкм, і щільність заповнення адсорбентом адсорбційної колони становить від 0,60 г/мл до 0,75 г/мл, 55 може бути визначена особливо висока ефективність газового контакту для адсорбенту.

Само собою зрозуміло, що у разі зміни діаметра частинок адсорбенту може бути встановлена відповідна щільність заповнення для адсорбенту.

(Конфігурація 4)

Крім того, вищеописаний спосіб очищення газу включає перед виконанням способу 60 очищення газу

застосування газу, який містить низьку концентрацію метану, концентрація метану в якому становить менше за 50%, як вихідного газу, що знаходиться вище за потоком;

забезпечення адсорбційної колони, що знаходиться вище за потоком, заповненої адсорбентом метану, який адсорбує метан з вихідного газу, що знаходиться вище за потоком;

5 забезпечення лінії, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу для подачі вихідного газу, що знаходиться вище за потоком, до адсорбційної колони, що знаходиться вище за потоком;

забезпечення лінії, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу для відведення стороннього газу, що знаходиться вище за потоком, який не був адсорбований на адсорбенті метану;

10 забезпечення лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газу для видобування десорбованого метану, який був адсорбований на адсорбенті метану; та

здійснювані поперемінно за допомогою адсорбційної колони, що знаходиться вище за потоком, лінії, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу та лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газу,

етап адсорбції, що знаходиться вище за потоком, що включає приймання вихідного газу, що знаходиться вище за потоком, по лінії, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу, адсорбування метану на адсорбент метану та відведення стороннього газу, що знаходиться

20 вище за потоком, який не був адсорбований на адсорбенті метану; та етап десорбції, що знаходиться вище за потоком, що включає десорбування метану, адсорбованого на адсорбенті метану, та видобування цього метану по лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газу при закритих лінії, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу та лінії, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу,

25 що дозволяє одержувати газ, виведений по лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газу, як вихідний газ, який має концентрацію метану 50% або більше.

(Функціонування та ефект 4)

Завдяки підвищенню концентрації метану шляхом застосування пристрою для адсорбції метану, такого, як PSA, перед виконанням вищеописаного способу очищення газу, існує можливість видобування висококонцентрованого метану у дуже ефективний спосіб. У разі здійснення адсорбції в один етап з застосуванням адсорбенту, який адсорбує сторонній газ, відмінний від метану, якщо вихідний газ має низьку концентрацію, велика кількість стороннього газу, відмінного від метану, адсорбується на адсорбенті. Відповідно, кількість метанового продукту для промивання адсорбенту збільшується, в результаті чого швидкість видобування

35 знижується. Для уникнення цього перевагу віддають здійсненню адсорбції у два етапи шляхом забезпечення пристрою, призначеного для адсорбування метану, такого, як PSA, на стороні, що знаходиться вище за потоком.

Тобто, як пристрій, призначений для адсорбування метану, такий, як PSA, може бути прийнятною конфігурація, в якій:

40 газ, який містить низьку концентрацію метану, концентрація метану в якому становить менше за 50%, використовується як вихідний газ, що знаходиться вище за потоком;

передбачено адсорбційну колону, що знаходиться вище за потоком, заповнену адсорбентом метану, який адсорбує метан з вихідного газу, що знаходиться вище за потоком;

45 передбачено лінію, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу для подачі вихідного газу, що знаходиться вище за потоком, до адсорбційної колони, що знаходиться вище за потоком;

передбачено лінію відведення, що знаходиться вище за потоком, стороннього газу для відведення стороннього газу, що знаходиться вище за потоком, який не був адсорбований на адсорбенті метану; і

50 передбачено лінію, що знаходиться вище за потоком, видобування для видобування десорбованого метану, який був адсорбований на адсорбенті метану.

Такий пристрій дозволяє одержувати вихідний газ, який має концентрацію метану 50% або більше, і може бути легко застосований для здійснення способу очищення газу згідно з даним винаходом.

55 Слід зазначити, що в цьому разі відомі конфігурації можуть застосовуватись як прийнятні для матеріалу адсорбент метану, конфігурації адсорбційної колони і т. ін.

Корисні ефекти винаходу

Відповідно, існує можливість видобування метану, який має вищий ступінь очищення, та ефективного використання шахтного газу, біогазу або іншого подібного газу, який зазвичай

60 важко піддається повторному використанню, з високою швидкістю видобування метану.

Короткий опис фігур

ФІГ. 1 є схематичною діаграмою газоочисного пристрою.

ФІГ. 2 є покроковою діаграмою, яка показує спосіб концентрування метану.

5 ФІГ. 3 є діаграмою, яка пояснює функціонування газового потоку у разі здійснення способу концентрування метану з ФІГ. 2.

ФІГ. 4 є графіком, який показує розподіл діаметра пор адсорбентів.

ФІГ. 5 є графіком, який показує значення рівноважної адсорбції в адсорбенті.

ФІГ. 6 є графіком, який показує значення рівноважної адсорбції в адсорбентах.

10 ФІГ. 7 є схематичною діаграмою газоочисного пристрою згідно з альтернативним варіантом втілення (2).

ФІГ. 8 є покроковою діаграмою, яка показує спосіб концентрування метану згідно з альтернативним варіантом втілення (2).

ФІГ. 9 є схематичною діаграмою газоочисного пристрою згідно з альтернативним варіантом втілення (4).

15 ФІГ. 10 є схематичною діаграмою газоочисного пристрою згідно з альтернативним варіантом втілення (5).

ФІГ. 11 є схематичною діаграмою газоочисного пристрою згідно з альтернативним варіантом втілення (6).

Оптимальний режим виконання винаходу

20 Далі описуються спосіб очищення газу та пристрій для виконання способу згідно з варіантом втілення даного винаходу. Хоча нижче описуються оптимальні варіанти втілення, кожен з цих варіантів втілення описується для більш точного пояснення даного винаходу. Існує можливість різних модифікацій без відхилення від обсягу та сутності винаходу, і даний винахід не обмежується представленим нижче описом.

25 (Газоочисний пристрій)

Як показано на ФІГ. 1, газоочисний пристрій включає адсорбційні колони з А1 по А4, які заповнюються адсорбентами з А11 по А41. Кожна адсорбційна колона є оснащеною лінією подачі вихідного газу L1 від резервуара Т1 для вихідного газу, лінією видобування газопродукту L2 та резервуар Т2 для газопродукту відведення, як газопродукту, метану як призначеного для очищення газу, який не адсорбувався на адсорбентах з А11 по А41, та лінією відведення стороннього газу L3 для відведення десорбованого стороннього газу, який був адсорбований на адсорбентах з А11 по А41.

30 Подача газу з резервуара Т1 для вихідного газу до лінії подачі вихідного газу L1 здійснюють, застосовуючи подавальний насос Р1, і обвідна лінія L10, яка обходить подавальний насос Р1, є оснащеною клапаном Vc1 регулювання тиску, таким чином, щоб забезпечувалася можливість стійкого регулювання тиску під час підвищення тиску в адсорбційних колонах з А1 по А4. Вихідний газ, який подається на лінію подачі вихідного газу L1, подається до адсорбційних колон з А1 по А4 через подавальні лінії з L11 по L41, які включають перемикальні клапани з V11 по V41.

40 Газопродукт, виведений з адсорбційних колон з А1 по А4, рухається по лінії видобування газопродукту L2 через видобувні лінії з L12 по L42, які включають перемикальні клапани з V12 по V42. Передбачено клапан Vc2 для регулювання тиску у лінії видобування газопродукту L2. Шляхом застосування клапану регулювання тиску Vc2 для регулювання тиску газопродукту, виведеного з адсорбційних колон з А1 по А4 у резервуар Т2 для газопродукту, тиск видобування газопродукту з адсорбційних колон з А1 по А4 може регулюватися на основі співвідношення з тиском подачі вихідного газу в адсорбційних колонах з А1 по А4.

45 Сторонній газ, адсорбований в адсорбційних колонах з А1 по А4, десорбується з адсорбентів з А11 по А41 шляхом зниження тиску і виводиться по лінії відведення стороннього газу L3 через лінії з L13 по L43 для відпрацьованого газу, які включають перемикальні клапани з V13 по V43.

50 У лінії видобування газопродукту L2 лінія L4 для промивання газопродукту для переміщення газопродукту як промивального газу до адсорбційних колон з А1 по А4 з резервуара Т2 для газопродукту є передбаченою на стороні, що знаходиться вище за потоком, (з боку адсорбційних колон з А1 по А4) відносно клапана Vc2 для регулювання тиску. Тобто, промивальний газ тече по лінії L4 для промивання газопродукту з резервуара Т2 для газопродукту і подається до адсорбційних колон через промивальні лінії з L14 по L44, які включають перемикальні клапани з V14 по V44. Крім того, газ в адсорбційних колонах з А1 по А4 замінюється на газопродукт і виводиться як сторонній газ по лінії відведення стороннього газу L3 через лінії з L13 по L43 для відпрацьованого газу, які включають перемикальні клапани з V13 по V43. Крім того, передбачено клапан Vr4 зниження тиску, відкривальний / закривальний

клапан Vo4 та голчастий клапан Vn4 між лінією для видобування газопродукту L2 та адсорбційними колонами з A1 по A4 у лінії L4 для промивання газопродукту. Це забезпечує можливість проходження газопродукту з резервуара T2 для газопродукту як промивального газу до адсорбційних колон з A1 по A4 з газопромивальної лінії L4 через промивальні лінії з L14 по L44, які включають перемикальні клапани з V14 по V44, таким чином, здійснюючи операцію промивання адсорбційних колон з A1 по A4. Відповідно, тиск для промивання адсорбційних колон з A1 по A4 контролюється клапаном Vr4 зниження тиску і регулюється голчастим клапаном Vn4 для запобігання швидкій зміні тиску і легко перемикається відкривальним / закривальним клапаном Vo4.

Крім того, передбачено лінію L7 вирівнювання тиску між колонами для адсорбційних колон з A1 по A4, таким чином, щоб газ, який виводиться з верхньої частини адсорбційних колон з A1 по A4 під час етапів вирівнювання тиску (зниження тиску), міг переміщуватися через лінію L4 для промивання газопродукту до верхньої частини адсорбційних колон з A1 по A4, де здійснюються етапи вирівнювання тиску (підвищення тиску). Тобто, газ, який виводиться з верхньої частини адсорбційних колон з A1 по A4 на етапах вирівнювання тиску (зниження тиску), тече по лінії L7 вирівнювання тиску між колонами через лінії вирівнювання тиску з L17 по L47, які включають перемикальні клапани з V17 по V47, і тече через промивальні лінії з L14 по L44, які включають перемикальні клапани з V14 по V44, до адсорбційних колон з A1 по A4, де здійснюються етапи вирівнювання тиску (підвищення тиску). Передбачено голчастий клапан Vn7 та відкривальний / закривальний клапан Vo7 у лінії L7 вирівнювання тиску між колонами, і, таким чином, газ, який виводиться з верхньої частини кожної адсорбційної колони через відповідно лінії вирівнювання тиску у цей час поступово переміщується через голчастий клапан Vn7 і тече до іншої з адсорбційних колон з A1 по A4 через лінію L4 для промивання газопродукту.

Крім того, передбачено лінію L8 нагнітання газопродукту для подачі газопродукту як газу для збільшення тиску всередині адсорбційних колон з A1 по A4 для адсорбційних колон з A1 по A4. Тобто, на етапі підвищення тиску газопродукт, який подається з резервуара T2 для газопродукту, тече до адсорбційних колон по лінії L8 нагнітання газопродукту через лінії нагнітання з L18 по L48, які включають перемикальні клапани з V18 по V48. Відкривальний / закривальний клапан Vo8 та клапан регулювання тиску Vc8 передбачено у лінії L8 нагнітання газопродукту, і тиск в адсорбційних колонах з A1 по A4 може підвищуватися шляхом переміщення газопродукту до адсорбційних колон та основі утримувального тиску резервуара T2 для газопродукту у цей час.

Крім того, передбачено контролер С у газоочисному пристрої. Контролер С контролює відкривання та закривання перемикальних клапанів з V11 по V48 і т. ін., передбачених в адсорбційних колонах з A1 по A4, та трубах лінії подачі вихідного газу L1, лінії видобування газопродукту L2, лінії відведення стороннього газу L3, лінії L4 для промивання газопродукту, лінії L7 вирівнювання тиску між колонами та лінії L8 нагнітання газопродукту. Відповідно, контролер С служить як контролер адсорбції/десорбції, який виконує адсорбційні етапи в адсорбційних колонах з A1 по A4 шляхом застосування подавального насоса P1, а також функціонує як контролер промивання для промивання адсорбційних колон з A1 по A4 шляхом переміщення газопродукту до адсорбційних колон з A1 по A4 з резервуара T2 для газопродукту.

Слід зазначити, що як адсорбенти з A11 по A41 у даному разі в оптимальному варіанті застосовують адсорбент, здатний вибірково адсорбувати сторонній газ, відмінний від метану, у вихідному газі. Як адсорбент застосовують адсорбент, який здебільшого складається з принаймні одного матеріалу, вибраного з групи, до якої належать активоване вугілля, вуглецеве молекулярне сито, цеоліт та пористий металевий комплекс.

Адсорбенти з A11 по A41 мають діаметр частинок від 0,5 мкм до 3,0 мкм і мають густину заповнення для адсорбційних колон з A1 по A4 від 0,60 г/мл до 0,75 г/мл.

Зокрема, також існує можливість застосування, наприклад, вуглецевого молекулярного сита, що має об'єм пор ($V_{0,38}$), при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,01 см³/г, і об'єм пор ($V_{0,34}$), при діаметрі пор 0,34 нм, 0,20 см³/г або більше, вимірним способом MP.

Слід зазначити, що як показано на ФІГ. 4, у представленому варіанті втілення вуглецеве молекулярне сито, яке має об'єм пор ($V_{0,38}$), при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,05 см³/г, і об'єм пор ($V_{0,34}$), при діаметрі пор 0,34 нм, 0,15 см³/г або більше, у розподілі пор за діаметром, вимірним способом MP, застосовують як адсорбенти з A11 по A41.

Приклади адсорбентів з A11 по A41, які відповідають умовам, включають адсорбенти з А по С, F та G, показані на ФІГ. 4.

На ФІГ. 4 адсорбенти з А по С, F та G мають об'єм пор ($V_{0,38}$), при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,05 см³/г, і об'єм пор ($V_{0,34}$), при діаметрі пор 0,34 нм, 0,15 см³/г або

більше, а отже, мають низьку адсорбційну здатність для метану і потребують дуже тривалого часу для набуття адсорбційної здатності для метану. Натомість було виявлено, що адсорбенти D та E мають великий об'єм пор при діаметрі пор 0,38 нм і набувають адсорбційної здатності для метану за відносно короткий час, а отже, не є придатними для відокремлення метану.

5 В результаті визначення значення рівноважної адсорбції для різних газів (кисню, діоксиду вуглецю, азоту, метану) цих адсорбентів, показники адсорбції для кисню та діоксиду вуглецю суттєво збільшуються приблизно через 0,1 хвилини (наприклад, приблизно від 6 секунд до 10 секунд), і показник адсорбції для азоту суттєво збільшуються по закінченню періоду приблизно від 1 хвилини (60 секунд) до 10 хвилин (600 секунд), як представлено на ФІГ. 5 для адсорбенту 10 С. Натомість показник адсорбції для метану суттєво збільшується приблизно через 100 хвилин (6000 секунд), а отже, існує можливість відокремлення й видалення кисню, азоту та діоксиду вуглецю з метану.

На ФІГ. 6 показано криві рівноважної адсорбції для азоту та метану в адсорбентах С, D та E.

15 Як показано на ФІГУРАХ 5 та 6, в адсорбенті С показник адсорбції метану у момент часу (приблизно 289 хвилин), коли показник адсорбції азоту досяг рівноваги, становить приблизно 40% рівноважного показника адсорбції. Натомість, як показано на ФІГ. 6, в адсорбенті D показник адсорбції метану у момент часу (приблизно 15 хвилин), у який показник адсорбції азоту досяг рівноваги, досягає приблизно 92% рівноважного показника адсорбції. Крім того, в адсорбенті E показник адсорбції метану у момент часу, коли показник адсорбції азоту досяг 20 рівноваги, досягає приблизно 96% рівноважного показника адсорбції.

Тобто, як можна побачити, в адсорбенті С існує значна відмінність між часом, у який здебільшого відбувається адсорбція стороннього газу, та часом, у який здебільшого відбувається адсорбція метану, а отже, вимагається багато часу для набуття адсорбційної здатності для метану, тоді як в адсорбентах D та E відмінність між цими показниками часу є невеликою, а отже, адсорбційна здатність для метану набувається за відносно короткий час.

25 З огляду на вищезазначене, під час виконання етапу адсорбції з адсорбційними колонами з А1 по А4, заповненими адсорбентом С, приведення вихідного газу у контакт з адсорбентом С протягом 10 секунд або більше і 6000 секунд або менше забезпечує можливість сприятливого адсорбування стороннього газу (кисню, азоту, діоксиду вуглецю) з шахтного газу для сприятливого відокремлення метану. Слід зазначити, що в оптимальному варіанті такий самий час контакту також визначають для адсорбентів А, В, F та G, відмінних від адсорбенту С.

Крім того, як показано на ФІГУРАХ 5 та 6, порівняння, наприклад, між часом (приблизно 289 хвилин), який вимагається для досягнення показника адсорбції метану в адсорбенті С приблизно 40% рівноважного показника адсорбції, та часом (приблизно 15 хвилин), який вимагається для досягнення показника адсорбції метану в адсорбенті D приблизно 40% 35 рівноважного показника адсорбції, демонструє, що вимагається значно триваліший час в адсорбенті С.

Крім того, у період часу (наприклад, період часу приблизно від 0 хвилин або більше до 289 хвилин або менше, коли показник адсорбції метану становить приблизно від 0% до 40%), коли показник адсорбції метану в адсорбенті С є відносно малим, значення різниці між показником адсорбції азоту та показником адсорбції метану є відносно великим. У період часу (період часу приблизно від 0 хвилин або більше до 15 хвилин або менше, коли показник адсорбції метану становить приблизно від 0% до 40%), коли показник адсорбції метану в адсорбенті D є відносно малим, значення різниці між показником адсорбції азоту та показником адсорбції метану є 45 відносно малим.

Відповідно, в адсорбенті С, може забезпечуватися триваліший час для етапу адсорбції, ніж в адсорбенті D, що дозволяє збільшити кількість обробленого метану та поліпшити ефективність відокремлення метану від вихідного газу.

50 З цієї точки зору в адсорбенті С час, протягом якого вихідний газ приводять у контакт з адсорбентом С на етапі адсорбції, в оптимальному варіанті визначають приблизно від 600 секунд або більше до 6000 секунд або менше. За таких умов існує можливість установа часу, більш раннього за момент, коли показник адсорбції азоту в адсорбенті С досягає рівноважного показника адсорбції (приблизно 6000 секунд або менше), і який дозволяє поліпшити показник обробки вихідного газу та ефективність відокремлення метану (приблизно 55 600 секунд або більше), водночас забезпечуючи максимальну тривалість етапу адсорбції.

(Адсорбційні колони)

Адсорбційні колони з А1 по А4 заповнюють адсорбентами з А11 по А41, відповідно. Під адсорбційними колонами з А1 по А4 передбачено подавальні лінії з L11 по L41 для подачі шахтного газу з резервуара Т1 для вихідного газу за допомогою подавального насоса Р1 для 60 утворення лінії подачі вихідного газу L1. Над адсорбційними колонами з А1 по А4 передбачено

лінії видобування з L12 по L42 для видобування метану як призначеного для очищення газу, який не адсорбувався на адсорбентах з A11 по A41, з шахтного газу, який подається до адсорбційних колон з A1 по A4, для утворення лінії видобування газопродукту L2. Це забезпечує конфігурацію, здатну подавати шахтний газ по лінії подачі вихідного газу L1 до адсорбційних колон з A1 по A4 та виводити будь-який метан, який не адсорбувався на адсорбентах з A11 по A41, по лінії видобування газопродукту L2, таким чином, адсорбуючи сторонній газ на адсорбенти з A11 по A41 і відокремлюючи сторонній газ від метану. Крім того, в адсорбційних колонах з A1 по A4 передбачено лінії з L13 по L43 для відпрацьованого газу, призначені для відведення стороннього газу, адсорбованого на адсорбентах з A11 по A41, під адсорбційними колонами з A1 по A4 для утворення лінії відведення стороннього газу L3, що забезпечує конфігурацію, здатну збирати з шахтного газу, який подається на лінію подачі вихідного газу L1, сторонній газ, відмінний від метану, який був адсорбований на адсорбентах з A11 по A41.

Слід зазначити, що у подавальних лініях з L11 по L48 передбачено перемикальні клапани з V11 по V48, утворюючи конфігурацію, яка забезпечує можливість здійснення за допомогою контролера С загального контролю над перемиканням між подачею, відведенням та утриманням газу в адсорбційних колонах з A1 по A4 за допомогою насосів P1 та P3.

(Спосіб концентрування метану)

Як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, в адсорбційних колонах з A1 по A4 контролер С контролює перемикальні клапани з V11 по V45 та клапани P1 та P3 для:

забезпечення адсорбційної колони, наповненої адсорбентом, який адсорбує сторонній газ, який складається здебільшого з повітря, з вихідного газу, який містить концентрацію метану 40% або більше та 70% або менше;

забезпечення лінії подачі вихідного газу для подачі вихідного газу до адсорбційної колони;

забезпечення лінії видобування газопродукту для відведення метану, який не був адсорбований на адсорбент, як газопродукту;

забезпечення лінії відведення стороннього газу для відведення десорбованого стороннього газу, який був адсорбований на адсорбент; та

виконання PSA-операції переміжного виконання в адсорбційній колоні лінії подачі вихідного газу, лінії видобування газопродукту та лінії відведення стороннього газу,

етапу адсорбції, що включає приймання вихідного газу до адсорбційної колони по лінії подачі вихідного газу, адсорбування стороннього газу на адсорбент та видобування газопродукту по лінії видобування газопродукту, та

етапу десорбції, що включає зниження тиску / десорбцію стороннього газу, адсорбованого на адсорбенті, та відведення цього стороннього газу по лінії відведення стороннього газу у стані, коли лінія подачі вихідного газу та лінія видобування газопродукту є закритими.

Через такий контроль відбуваються зміни у внутрішньому тиску адсорбційних колон з A1 по A4, як показано на ФІГ. 2.

Більш конкретно адсорбційна колона A1 контролюється згідно з описаними нижче етапами. Хоча така сама операція також виконується для інших адсорбційних колон з A2 по A4 зі зсувом фаз, її детальний опис пропущено й замінено описом з посиланням на ФІГУРИ 2 та 3 для уникнення повторення. Слід зазначити, що адсорбційні колони з A1 по A4 вказуються як перша та четверта адсорбційні колони з A1 по A4 в цьому порядку. ФІГУРИ 2 та 3 показують робочий стан відкривальних / закривальних клапанів і т. ін. на етапах. Число, вказане у дужках < >, означає номер етапу на ФІГУРАХ 2 та 3. Робочі умови, конкретно описані нижче, є лише ілюстративними, і даний винахід не обмежується представленими нижче конкретними прикладами.

<1> Препаралельний етап адсорбції

Як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, шахтний газ як вихідний газ вводять у першу адсорбційну колону A1 з резервуара T1 для вихідного газу. У цей час тиск у першій адсорбційній колоні A1 підвищують через тиск нагнітання вихідного газу. Крім того, хоча повітря як сторонній газ у шахтному газі, який подається з резервуара T1 для вихідного газу через перемикальний клапан V11 подавальної лінії L11, адсорбується на адсорбент A11, будь-який неадсорбований метан видобувається як газопродукт у резервуар T2 для газопродукту через перемикальний клапан V12 лінії видобування L12.

У даному разі на початковій стадії етапу адсорбції етап адсорбції першої адсорбційної колони A1 розпочинають для поступового підвищення внутрішнього тиску першої адсорбційної колони A1, паралельно з поступовим зниженням внутрішнього тиску четвертої адсорбційної колони A4 на кінцевій стадії етапу адсорбції четвертої адсорбційної колони A4. Тобто, перед початком етапу адсорбції першої адсорбційної колони A1 здійснюють препаралельний етап

адсорбції у першій адсорбційній колоні А1 разом з постпаралельним адсорбційним етапом четвертої адсорбційної колоні А4.

У цей час друга адсорбційна колона А2 перебуває на етапі очікування, і у третій адсорбційній колоні А3 розпочинається етап десорбції.

5 <3 2 по 4> Етап адсорбції

Як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, після препаралельного етапу адсорбції шахтний газ вводять у першу адсорбційну колону А1 з резервуара Т1 для вихідного газу. У цей час тиск у першій адсорбційній колоні А1 далі підвищують через тиск нагнітання вихідного газу. Крім того, коли повітря адсорбується на адсорбент А11 через перемикальний клапан V11 подавальної лінії L11, метан видобувається у резервуар Т2 для газопродукту.

У цей час друга адсорбційна колона А2 виконує <2> етап кінцевого вирівнювання тиску (підвищення тиску) і переходить до <3 3 по 4> етапу підвищення тиску.

Крім того, третя адсорбційна колона А3 виконує <3> промивальний етап та <4> етап початкового вирівнювання тиску (підвищення тиску) після <2> етапу десорбції.

15 Крім того, четверта адсорбційна колона А4 виконує <2> початкове вирівнювання тиску (зниження тиску) і переходить до <4> етапу кінцевого вирівнювання тиску (зниження тиску), з <3> етапом очікування між ними.

У цей час може бути визначений ступінь очищення метану у газопродукті шляхом встановлення часу або іншого подібного параметра етапу адсорбції і може бути встановлений 20 на 90% або більше. Наприклад, у разі застосування циліндричної (внутрішній діаметр: 54 мм, об'єм: 5,7 л) адсорбційної колоні А1 та обробки вихідного газу, який містить 60% метану та 50% азоту при 12 нл/хв, газопродукт, який має концентрацію метану 95%, концентрацію азоту 5% та тиск приблизно 0,7 МПа (надп.), успішно видобували у резервуар Т2 для газопродукту, коли етап адсорбції виконували протягом приблизно 90 секунд з тиском нагнітання за допомогою 25 подавального насоса Р1, встановленим приблизно на 0,7 МПа (надп.). Слід зазначити, що адсорбційна колона А1 заповнюється адсорбентом С, який має діаметр частинок 1,8 ммφ з густиною заповнення 0,69 г/мл.

<5> Постпаралельний етап адсорбції

На кінцевій стадії етапу адсорбції першої адсорбційної колоні А1 виконують 30 постпаралельний етап адсорбції виконання етапу адсорбції паралельно з препаралельним адсорбційним етапом у другій адсорбційній колоні А2 на початковій стадії етапу адсорбції. Тобто, кількість подачі шахтного газу на етапі адсорбції та кількість подачі шахтного газу до першої та другої адсорбційних колон А1 та А2 на даному етапі є однаковою, а отже, на даному етапі кожне зі значень кількості подачі шахтного газу до першої та другої адсорбційних колон А1 35 та А2 установлюють таким чином, щоб вона була меншою за кількість подачі шахтного газу на етапі адсорбції. Відповідно, як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, на даному етапі шляхом зменшення швидкості адсорбційного потоку на кінцевій стадії етапу адсорбції, зміна навколишніх умов в адсорбційній колоні може стримуватися таким чином, щоб вона відбувалася поступово, і існує можливість стабілізації потоку шахтного газу в адсорбційній колоні А1, інгібування утворення 40 турбулентного потоку в адсорбційній колоні А1 та забезпечення стійкого функціонування адсорбенту А11.

Слід зазначити, що у цей час третя адсорбційна колона А3 виконує етап очікування, а четверта адсорбційна колона А4 виконує етап десорбції.

<6> Етап початкового вирівнювання тиску (зниження тиску)

45 Перша адсорбційна колона А1, яка завершила етап адсорбції, виконує етап початкового вирівнювання тиску (зниження тиску) між нею та третьою адсорбційною колоною А3, яка виконує етап кінцевого вирівнювання тиску (підвищення тиску). Тобто, як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, неадсорбований газ у колоні виводиться через перемикальний клапан V17 лінії вирівнювання тиску L17 і переміщується до третьої адсорбційної колоні А3 через перемикальний клапан V37. В результаті, як показано на ФІГ. 2, виконується вирівнювання тиску 50 між першою адсорбційною колоною А1 та третьою адсорбційною колоною А3 у стані проміжного тиску на стороні низького тиску.

Слід зазначити, що у цей час друга адсорбційна колона А2 виконує етап адсорбції, а четверта адсорбційна колона А4 виконує етап десорбції.

55 <7> Етап очікування

Потім перша адсорбційна колона А1 набуває стану очікування, і підтримується стан проміжного тиску на стороні високого тиску.

У цей час друга адсорбційна колона А2 виконує етап адсорбції, третя адсорбційна колона А3 переходить до етапу підвищення тиску, а четверта адсорбційна колона А4 переходить до 60 промивального етапу.

<8> Етап кінцевого вирівнювання тиску (зниження тиску)

Потім, як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, перша адсорбційна колона А1 виконує етап кінцевого вирівнювання тиску (зниження тиску) між нею та четвертою адсорбційною колоною А4, яка завершила етап десорбції і виконує етап початкового вирівнювання тиску (підвищення тиску).

5 Тобто, будь-який неадсорбований газ у колоні та сторонній газ, який початково починає десорбуватися з адсорбенту А11, виводяться через перемикальний клапан V17 лінії вирівнювання тиску L17 і переміщуються до четвертої адсорбційної колоні А4 через перемикальний клапан V47. В результаті здійснюється вирівнювання тиску між першою адсорбційною колоною А1 та четвертою адсорбційною колоною А4, яка завершила етап десорбції і перебуває у стані низького тиску.

10 Слід зазначити, що у цей час друга адсорбційна колона А2 виконує етап адсорбції, а третя адсорбційна колона А3 виконує етап підвищення тиску.

<3 9 по 10> Етап десорбції

15 Як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, перша адсорбційна колона А1, яка досягла стану проміжного тиску на стороні низького тиску, перебуває у стані, в якому висококонцентрований сторонній газ адсорбується на адсорбенті А11 у колоні, і висококонцентрований сторонній газ, адсорбований на адсорбенті А11, видобувається шляхом виконання етапу десорбції зниження тиску всередині колоні зі стану проміжного тиску на стороні низького тиску до стану низького тиску за допомогою вакуумного насоса Р3. Тобто, концентрований сторонній газ видобувається

20 через перемикальний клапан V13 лінії L13 для відпрацьованого газу. Слід зазначити, що у цей час, після виконання <9> постпаралельного етапу адсорбції паралельно з третьою адсорбційною колоною А3, друга адсорбційна колона А2 виконує <10> етап початкового вирівнювання тиску (зниження тиску) між нею та четвертою адсорбційною колоною А4.

25 У третій адсорбційній колоні А3 після виконання <9> препаралельного етапу адсорбції паралельно з другою адсорбційною колоною А2 виконується <10> етап адсорбції.

Після <9> етапу очікування четверта адсорбційна колона А4 виконує <10> етап кінцевого вирівнювання тиску (підвищення тиску) між нею та другою адсорбційною колоною А2.

<11> Промивальний етап

30 Як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, перша адсорбційна колона А1, яка перейшла до витіснення під низьким тиском, промиває газ у колоні до газу, який здебільшого складається з метану, викликаючи потік газопродукту до колоні. Тобто, відкривальний / закривальний клапан Vo4 лінії L4 для промивання газопродукту є відкритим, і голчастий клапан Vn4 є відрегульованим, газопродукт тече до першої адсорбційної колоні А1 з резервуара Т2 для газопродукту через перемикальний клапан V14 промивальної лінії L14, таким чином, щоб внутрішній тиск резервуара Т2 для газопродукту м'яко діяв на адсорбційну колону А1, таким чином, замінюючи атмосферу у першій адсорбційній колоні А1 метаном, а газ, який залишився у першій адсорбційній колоні А1, вивільнюється як відпрацьований газ у лінію відведення стороннього газу L3 через перемикальний клапан V13 лінії L13 для відпрацьованого газу.

40 Слід зазначити, що у цей час друга адсорбційна колона А2 перебуває на етапі очікування, а третя адсорбційна колона А3 продовжує етап адсорбції. Крім того, четверта адсорбційна колона А4 виконує етап підвищення тиску.

<12> Етап початкового вирівнювання тиску (підвищення тиску)

45 Як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, перша адсорбційна колона А1, яка набула стану низького тиску і вивільнила адсорбоване повітря, і в якій було регеновано адсорбент А11, виконує етап початкового вирівнювання тиску (підвищення тиску) між нею та другою адсорбційною колоною А2, таким чином, відновлюючи тиск у колоні й приймаючи відпрацьований газ, виведений на кінцевому етапі вирівнювання тиску (зниження тиску) у другій адсорбційній колоні А2, причому відпрацьований газ містить метан через початково десорбований газ з адсорбенту А21. Тобто, газ, вивільнений з другої адсорбційної колоні А2 у стані проміжного тиску на стороні високого тиску через перемикальний клапан V27 у лінії вирівнювання тиску L27, приймається у лінії L7 вирівнювання тиску між колонами через перемикальний клапан V14 у промивальній лінії L14. В результаті, як показано на ФІГ. 2, перша адсорбційна колона А1 відновлює свій тиск зі стану низького тиску до стану проміжного тиску на стороні низького тиску.

55 Слід зазначити, що у цей час третя адсорбційна колона А3 продовжує етап адсорбції, а четверта адсорбційна колона А4 виконує етап підвищення тиску.

<13> Етап очікування

Потім, як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, перша адсорбційна колона А1 набуває стану очікування, і підтримується стан проміжного тиску на стороні високого тиску.

60 У цей час друга адсорбційна колона А2 виконує етап десорбції, а третя адсорбційна колона

A3 переходить до постпаралельного етапу адсорбції, і четверта адсорбційна колона A4 переходить до препаралельного етапу адсорбції.

<14> Етап кінцевого вирівнювання тиску (підвищення тиску)

5 Як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, перша адсорбційна колона A1, яка відновила свій тиск до стану проміжного тиску на стороні низького тиску, намагається далі відновити тиск у колоні шляхом наступного виконання етапу кінцевого вирівнювання тиску (підвищення тиску) між нею та третьою адсорбційною колоною A3, яка виконує етап адсорбції безпосередньо після завершення етапу початкового вирівнювання тиску (зниження тиску). Тобто, газ у колоні, виведений з третьої адсорбційної колони A3 у стані високого тиску, приймається у лініях вирівнювання тиску з L17 по L37 лінії L7 вирівнювання тиску між колонами через перемикальні клапани V17 та V37. В результаті, як показано на ФІГ. 2, перша адсорбційна колона A1 відновлює свій тиск зі стану проміжного тиску на стороні низького тиску до стану проміжного тиску на стороні високого тиску.

10 Слід зазначити, що у цей час друга адсорбційна колона A2 виконує етап десорбції, а четверта адсорбційна колона A4 виконує етап адсорбції.

<3 15 по 16> Етап підвищення тиску

15 Як показано на ФІГ. 2, тиск першої адсорбційної колони A1, яка відновила свій тиск до стану проміжного тиску на стороні високого тиску, відновлюється до стану високого тиску шляхом нагнітання газопродукту. В результаті внутрішній простір першої адсорбційної колони A1 відновлюється до стану високого тиску і регенерується через подачу шахтного газу до стану високого тиску, здатного адсорбувати повітря, що міститься у шахтному газі.

20 Слід зазначити, що у цей час друга адсорбційна колона A2 виконує <16> етап початкового вирівнювання тиску (підвищення тиску) між нею та третьою адсорбційною колоною A3 після <15> промивального етапу. Третя адсорбційна колона A3 виконує, після <15> етапу очікування, <16> етап кінцевого вирівнювання тиску (зниження тиску) між нею та другою адсорбційною колоною A2. Четверта адсорбційна колона A4 виконує етап адсорбції.

25 Слід зазначити, що у цей час, коли відкривальні / закривальні клапани і т. ін. функціонують, як показано на ФІГУРАХ 2 та 3, друга адсорбційна колона A2 виконує етап початкового вирівнювання тиску (підвищення тиску), а третя адсорбційна колона A3 виконує етапу кінцевого вирівнювання тиску (зниження тиску), і, таким чином, вони виконують вирівнювання тиску між собою.

(Альтернативні варіанти втілення)

30 (1) Вищеописаний газоочисний пристрій може бути оснащений датчиком тиску, датчиком температури та іншими подібними пристроями, залежно від потреби. Зокрема, зазвичай передбачаються датчик тиску та газовий датчик для спостереження за тиском нагнітання вихідного газу та концентрацією метану в газопродукті, але їх детальний опис у вищеописаному варіанті втілення не представлено.

35 (2) Цикл PSA не обмежується описаним вище, за умови, що він є сконфігурованим таким чином, щоб адсорбційні колони могли безперервно ефективно застосовуватися, і існує можливість різних модифікацій. Наприклад, у разі, якщо газоочисний пристрій має вищеописану конфігурацію, показану на ФІГ. 7, існує можливість здійснення робочого способу згідно з ФІГ. 8.

40 (3) Хоча показано приклад, у якому спосіб очищення газу у вищеописаному варіанті втілення застосовується для очищення шахтного газу, спосіб очищення газу може застосовуватися у разі концентрування газів, відмінних від шахтного газу, які містять метан на такому самому рівні, як шахтний газ, таких, як біогаз, а також може бути застосований у випадках, коли очищення досягається шляхом адсорбування стороннього газу, відмінного від призначеного для очищення газу, з вихідного газу. При цьому адсорбент може бути відповідним чином замінений залежно від типів та концентрації призначеного для очищення газу та стороннього газу.

45 (4) Крім того, при використанні шахтного газу як вихідного газу концентрація метану є низькою, а отже, забезпечення достатньої ефективності очищення є малоімовірним, і, таким чином,

перед виконанням способу очищення газу

газ, який містить низьку концентрацію метану, концентрація метану в якому становить менше за 50%, використовується як вихідний газ, що знаходиться вище за потоком,

50 передбачено адсорбційну колону, що знаходиться вище за потоком, заповнену адсорбентом метану, який адсорбує метан з вихідного газу, що знаходиться вище за потоком,

передбачено лінію, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу для подачі вихідного газу, що знаходиться вище за потоком, до адсорбційної колони, що знаходиться вище за потоком,

60 передбачено лінію, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу для

відведення стороннього газу, що знаходиться вище за потоком, який не був адсорбований на адсорбенті метану,

передбачено лінію, що знаходиться вище за потоком, видобування для видобування десорбованого метану, який був адсорбований на адсорбенті метану, і

5 адсорбційна колона, що знаходиться вище за потоком, лінія, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу, лінія, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу та лінія, що знаходиться вище за потоком, видобування застосовуються для переміжного виконання

10 етапу адсорбції, що знаходиться вище за потоком, що включає приймання вихідного газу, що знаходиться вище за потоком, по лінії, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу, адсорбування метану на адсорбент метану та відведення стороннього газу, що знаходиться вище за потоком, який не був адсорбований на адсорбенті метану, та

15 етапу десорбції, що знаходиться вище за потоком, що включає десорбування метану, адсорбованого на адсорбенті метану, та видобування цього метану по лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газу при закритих лінії, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу та лінії, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу,

що дозволяє одержувати газ, виведений по лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газу, як вихідний газ, який має концентрацію метану 40% або більше та 70% або менше.

20 Тобто, може бути прийнятною конфігурація як показано на ФІГ. 9.

Як показано на ФІГ. 9, додатково до застосування вищеописаного газоочисного пристрою як газоочисного пристрою, що знаходиться нижче за потоком, застосовують PSA-пристрій як газоочисний пристрій, що знаходиться вище за потоком, причому PSA-пристрій має конфігурацію, в якій адсорбенти з A11a по A41a у газоочисному пристрої, що знаходиться нижче
25 за потоком, є замінені на адсорбенти метану, і функція лінії, що знаходиться нижче за потоком, видобування газопродукту L2p та функція лінії, що знаходиться нижче за потоком, відведення стороннього газу L3p у газоочисному пристрої, що знаходиться нижче за потоком, є взаємозамінними, і

етап десорбції, що знаходиться вище за потоком, десорбування метану, адсорбованого на
30 адсорбенти з A11a по A41a та видобування метану з лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газопродукту L2a, при закритих лінії, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу L1a та лінії, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу L3a, виконують переміжно, і газ, виведений з лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газопродукту L2a, подається до газоочисного пристрою, що знаходиться нижче за потоком, як
35 вихідний газ, який має концентрацію метану 40% або більше і 70% або менше.

Слід зазначити, що на ФІГ. 9 частини, які виконують такі самі функції, як відповідні частини газоочисного пристрою з ФІГ. 1, позначаються такими самими номерами, що й газоочисний пристрій з ФІГ. 1, з додаванням "а" до номерів у газоочисному пристрої, що знаходиться вище
40 за потоком, та додаванням "р" до номерів у газоочисному пристрої, що знаходиться нижче за потоком, і їх детальний опис не представлено. Однак слід зазначити, що газоочисний пристрій, що знаходиться вище за потоком, та газоочисний пристрій, що знаходиться нижче за потоком, відрізняються один від одного тим, що у газоочисному пристрої, що знаходиться нижче за потоком, лінія видобування газопродукту L2p є сполученою з верхньою частиною адсорбційних колон з A1p по A4p, а лінія, що знаходиться нижче за потоком, відведення стороннього газу L3p є сполученою з нижньою частиною адсорбційних колон з A1p по A4p газоочисному пристрої, що
45 знаходиться нижче за потоком, тоді як у лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газопродукту L2a є сполученою з нижньою частиною адсорбційних колон з A1a по A4a, і лінія, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу L3a є сполученою з верхньою частиною адсорбційних колон з A1a по A4a пристрої, що знаходиться вище за потоком.

50 Оскільки у такій конфігурації застосовується адсорбент метану, перевагу віддають застосуванню

адсорбенту 21a газу метану, який являє собою принаймні один матеріал, вибраний з групи, до якої належать активоване вугілля, цеоліт, силікагель та металоорганічний комплекс (наприклад, фумарат міді, терефталат міді, циклогександикарбоксилат міді) з середнім
55 діаметром пор від 4,5 до 15Å, вимірним способом МР, та показником адсорбції газу метану під атмосферним тиском і 298 К 20 Нмл/г або більше.

Такий адсорбент має властивості вибіркового адсорбування газу метану, який міститься у вихідному газі, у стані високого тиску, наближеного до атмосферного тиску, та десорбування адсорбованого газу метану у стані низького тиску, нижчого за атмосферний тиск.

60 В адсорбційних колонах з A1a по A4a контролер С контролює перемикальні клапани з V11a

по V45a та клапани P1a та P2a у газоочисному пристрої, що знаходиться вище за потоком, для виконання нижчезазначених етапів у такому порядку:

етапу адсорбції, що включає приймання поданого газу метану у стані високого тиску, наближеного до атмосферного тиску, з нижньої частини адсорбційних колон з A1a по A4a, адсорбування газу метану на адсорбенти з A11a по A41a та вивільнення відхідного газу, який складається здебільшого з повітря, з верхньої частини адсорбційних колон з A1a по A4a;

етапу початкового вирівнювання тиску (зниження тиску) переміщення газу, який має відносно низьку концентрацію метану, в одній з адсорбційних колон з A1a по A4a, яка перебуває у стані високого тиску, до іншої з адсорбційних колон з A1a по A4a, яка перебуває у стані проміжного тиску, при тиску, нижчому за тиск в одній з адсорбційних колон з A1a по A4a, таким чином, щоб привести тиск в одній з адсорбційних колон з A1a по A4a у стан проміжного тиску на стороні високого тиску;

етапу очікування;

етапу кінцевого вирівнювання тиску (зниження тиску) переміщення газу, на якому концентрація метану є дещо вищою, ніж на етапі початкового вирівнювання тиску (зниження тиску) в одній з адсорбційних колон з A1a по A4a, яка перебуває у стані проміжного тиску, при тиску, вищому за тиск стану низького тиску, до іншої з адсорбційних колон з A1a по A4a, яка перебуває у стані низького тиску, таким чином, щоб привести тиск в одній з адсорбційних колон з A1a по A4a у стан проміжного тиску на стороні низького тиску;

після зниження тиску в колоні шляхом виконання етапу вирівнювання тиску (зниження тиску) – етапу зниження тиску подальшого зниження тиску в одному з адсорбентів з A11a до A41a до стану низького тиску для десорбування газу метану, адсорбованого на одному з адсорбентів з A11a по A41a, та видобування газу метану з нижньої частини однієї з адсорбційних колон з A1a по A4a;

етапу початкового вирівнювання тиску (підвищення тиску) приймання в одну з адсорбційних колон з A1a по A4a у стані низького тиску газу в іншій з адсорбційних колон з A1a по A4a у стані проміжного тиску на стороні високого тиску, таким чином, щоб привести тиск в одній з адсорбційних колон з A1a по A4a до стану проміжного тиску на стороні низького тиску;

етапу кінцевого вирівнювання тиску (підвищення тиску) приймання в одну з адсорбційних колон з A1a по A4a, яка перебуває у стані проміжного тиску на стороні низького тиску газу в іншій з адсорбційних колон з A1a по A4a, яка перебуває у стані високого тиску, таким чином, щоб привести тиск в одній з адсорбційних колон з A1a по A4a у стан проміжного тиску на стороні високого тиску;

етапу очікування; і

після підвищення тиску в колоні шляхом виконання етапу вирівнювання тиску (підвищення тиску) – етапу підвищення тиску подальшої подачі стиснутого повітря в одну з адсорбційних колон з A1a по A4a з верхньої частини іншої з адсорбційних колон з A1a по A4a, для повторного приведення відповідного одного з адсорбентів з A11a по A41a у стан високого тиску, в якому метан може вибірково адсорбуватися.

Оскільки це дозволяє збирати газ, який має концентрація метану приблизно від 50 до 70% від вихідного газу, який містить, наприклад, 20% або більше і 40% або менше метану у газоочисному пристрої, що знаходиться вище за потоком, спосіб очищення газу згідно з даним винаходом може виконуватися навіть на шахтному газі, який має відносно низьку концентрацію метану, у газоочисному пристрої, що знаходиться нижче за потоком, шляхом використання газу, в якому метан був концентрований до певного ступеня у газоочисному пристрої, що знаходиться вище за потоком, як вихідного газу, а отже, існує можливість видобування висококонцентрованого метану у високоефективний спосіб. Це забезпечує можливість застосування способу очищення газу згідно з даним винаходом до вихідних газів, які мають широкий діапазон значень концентрації метану.

(5) Хоча промивальний етап виконують з газопродуктом під тиском у вищеописаному газоочисному пристрої, може бути прийнятною конфігурація, в якій зниження тиску виконують за допомогою вакуумного насоса P3. Тобто, може бути прийнятною конфігурація, показана на ФІГ. 10. При цій конфігурації у виконанні промивального етапу для газопродукту немає потреби у разі відведення газу по лінії відведення стороннього газу L3 шляхом застосування вакуумного насоса P3, в результаті чого кількість газопродукту збільшується, що забезпечує сприятливе збільшення швидкості видобування.

(6) Вищеописаний варіант втілення є сконфігурованим для відведення відпрацьованого газу на етапах десорбції та промивання по лінії відведення стороннього газу L3. Однак, оскільки частина відпрацьованого газу, утвореного під час десорбції та промивальних етапів, містить висококонцентрований метан, існує можливість забезпечення рециркуляційної лінії L5, яка

включає перемикальний клапан V5 або інший подібний пристрій, як показано на ФІГ. 11, для рециркуляції цього відпрацьованого газу як вихідного газу, що поліпшує ефективність видобування.

5 (7) У вищеописаному варіанті втілення представлено опис прикладу, в якому як адсорбенти з A11 по A41 застосовують

вуглецеве молекулярне сито, яке має об'єм пор ($V_{0,38}$), при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,05 см³/г, і об'єм пор ($V_{0,34}$), при діаметрі пор 0,34 нм, 0,15 см³/г або більше, у розподілі пор за діаметром, вимірним способом МР.

10 Однак як адсорбенти з A11 по A41 можна застосовувати

вуглецеве молекулярне сито, яке має об'єм пор ($V_{0,38}$), при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,01 см³/г, і об'єм пор ($V_{0,34}$), при діаметрі пор 0,34 нм, 0,20 см³/г або більше, у розподілі пор за діаметром, вимірним способом МР. Прикладами такого адсорбенту можуть бути адсорбенти з А по С та F, як показано на ФІГ. 4.

15 Слід зазначити, що, як показано на ФІГ. 5, в адсорбенті С показник адсорбції метану у момент часу, коли показник адсорбції азоту досяг рівноваги, становить приблизно 40% від рівноважного показника адсорбції. Натомість, хоча це не показано, в адсорбенті G показник адсорбції метану у момент часу, коли показник адсорбції азоту досяг рівноваги, досягає приблизно 60% рівноважного показника адсорбції.

20 Тобто, як можна побачити, в адсорбенті С існує значна відмінність між часом, коли здебільшого відбувається адсорбція стороннього газу, та часом, коли здебільшого відбувається адсорбція метану, а отже, вимагається відносно тривалий час для набуття адсорбційної здатності для метану, тоді як в адсорбенті G відмінність між цими показниками часу є невеликою, а отже, адсорбційна здатність для метану набувається за відносно короткий час.

25 Промислова застосовність

Згідно з даним винаходом, існує можливість поліпшення швидкості видобування продукту з газоочисного пристрою, в якому застосовується PSA-пристрій, та забезпечення газоочисного пристрою, в якому досягається високий ступінь очищення та висока швидкість видобування з належною продуктивністю.

30 Опис умовних позначень

3 A1 по A4: Адсорбційні колони з першої по четверту

3 A11 по A41: Адсорбенти

С: Контролер

L1: Лінія подачі вихідного газу

35 L2: Лінія видобування газопродукту

L3: Лінія відведення стороннього газу

L4: Промивальна лінія для газопродукту

L7: Лінія вирівнювання тиску між колонами

L8: Газопродукт лінія нагнітання

40 L9: Лінія видобування регенованого газу

L10, L30: Обвідні лінії

3 L11 по L41: Подавальні лінії

3 L12 по L42: Лінії видобування

3 L13 по L43: Лінії для відпрацьованого газу

3 L14 по L44: Промивальні лінії

45 3 L17 по L47: Лінії вирівнювання тиску

3 L18 по L48: Лінії нагнітання

P1: Подавальний насос

P2: Насос

P3: Вакуумний насос

50 T1: Резервуар для вихідного газу

T2: Резервуар для газопродукту

T5: Резервуар для регенованого газу

3 V11 по V44: Перемикальні клапани

55 3 Vc1 по Vc8: Клапани регулювання тиску

Vn4, Vn7: Голчасті клапани

3 Vo3 по Vo8: Відкривальні / закривальні клапани

Vr4: Клапан зниження тиску

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб очищення газу, який включає:

забезпечення адсорбційної колони, наповненої адсорбентом, який адсорбує сторонній газ, відмінний від метану, з вихідного газу, що містить метан;

забезпечення лінії подачі вихідного газу для подачі вихідного газу до адсорбційної колони;

забезпечення лінії видобування газопродукту для відведення метану, який не був адсорбований на адсорбент, як газопродукту;

забезпечення лінії відведення стороннього газу для відведення десорбованого стороннього газу, який був адсорбований на адсорбент; та

здійснювані поперемінно за допомогою адсорбційної колонки, лінії подачі вихідного газу, лінії видобування газопродукту та лінії відведення стороннього газу,

етап адсорбції, що включає приймання вихідного газу до адсорбційної колони по лінії подачі вихідного газу, адсорбування стороннього газу на адсорбент та видобування газопродукту по лінії видобування газопродукту, та

етап десорбції, що включає зниження тиску / десорбцію стороннього газу, адсорбованого на адсорбенті, та відведення стороннього газу по лінії відведення стороннього газу у стані, коли лінія подачі вихідного газу та лінія видобування газопродукту є закритими,

причому вуглецеве молекулярне сито, що має об'єм пор ($V_{0,38}$), при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,05 см³/г, і об'єм пор ($V_{0,34}$), при діаметрі пор 0,34 нм, 0,15 см³/г або більше, у розподілі пор за діаметром, виміряним способом МР, застосовують як адсорбент, і

на етапі адсорбції сторонній газ адсорбується з вихідного газу шляхом приведення вихідного газу у контакт з адсорбентом протягом 10 секунд або більше і 6000 секунд або менше для одержання концентрованого метану.

2. Спосіб очищення газу за п. 1, у якому адсорбент має об'єм пор ($V_{0,38}$), при діаметрі пор 0,38 нм або більше, який не перевищує 0,01 см³/г, і об'єм пор ($V_{0,34}$), при діаметрі пор 0,34 нм, 0,20 см³/г або більше.

3. Спосіб очищення газу за п. 1 або п. 2, у якому адсорбент має діаметр частинок від 0,5 мкм до 3,0 мкм, і щільність заповнення адсорбентом адсорбційної колони становить від 0,60 г/мл до 0,75 г/мл.

4. Спосіб очищення газу за будь-яким з пп. 1-3, що включає перед виконанням способу очищення газу:

застосування газу, який містить низьку концентрацію метану, концентрація метану в якому становить менше 50 %, як вихідного газу, що знаходиться вище за потоком;

забезпечення адсорбційної колони, що знаходиться вище за потоком, заповненої адсорбентом метану, який адсорбує метан з вихідного газу, що знаходиться вище за потоком;

забезпечення лінії, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу для подачі вихідного газу, що знаходиться вище за потоком, до адсорбційної колони, що знаходиться вище за потоком;

забезпечення лінії, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу для відведення стороннього газу, що знаходиться вище за потоком, який не був адсорбований на адсорбенті метану;

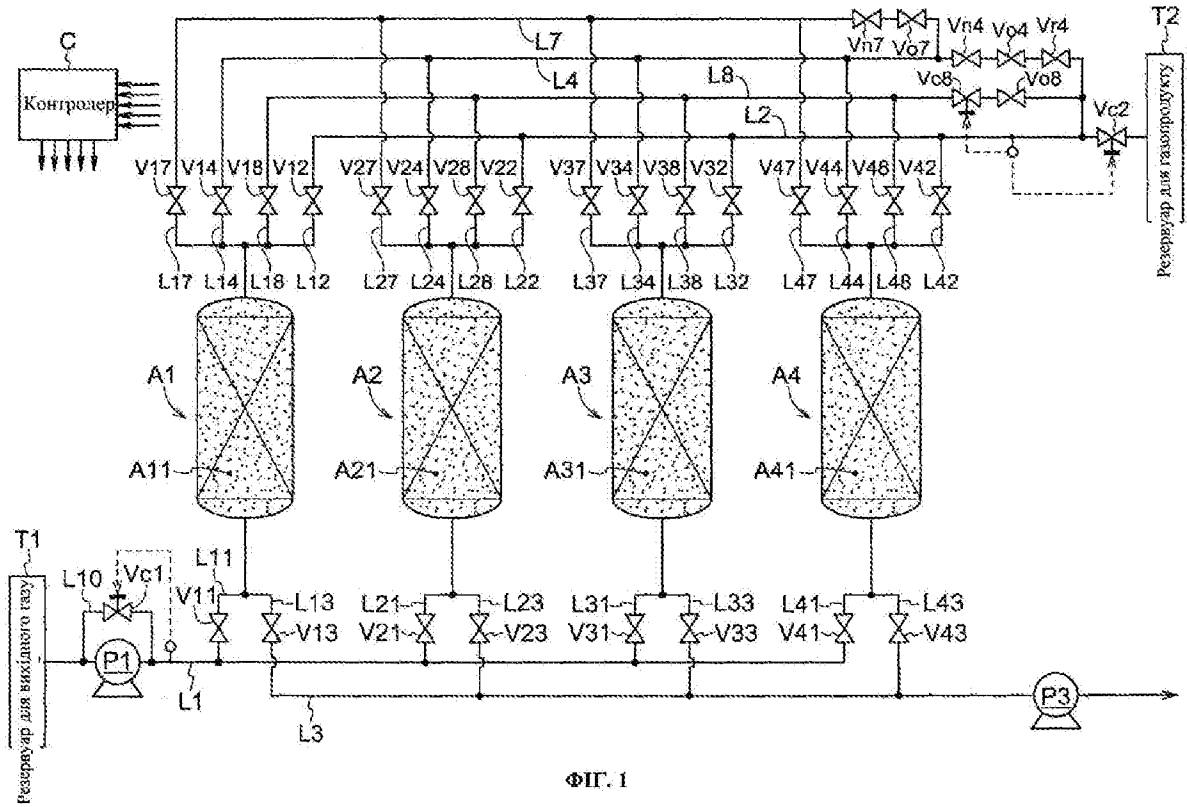
забезпечення лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газу для видобування десорбованого метану, який був адсорбований на адсорбенті метану; та

здійснювані поперемінно за допомогою адсорбційної колони, що знаходиться вище за потоком, лінії, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу, лінії, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу та лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газу,

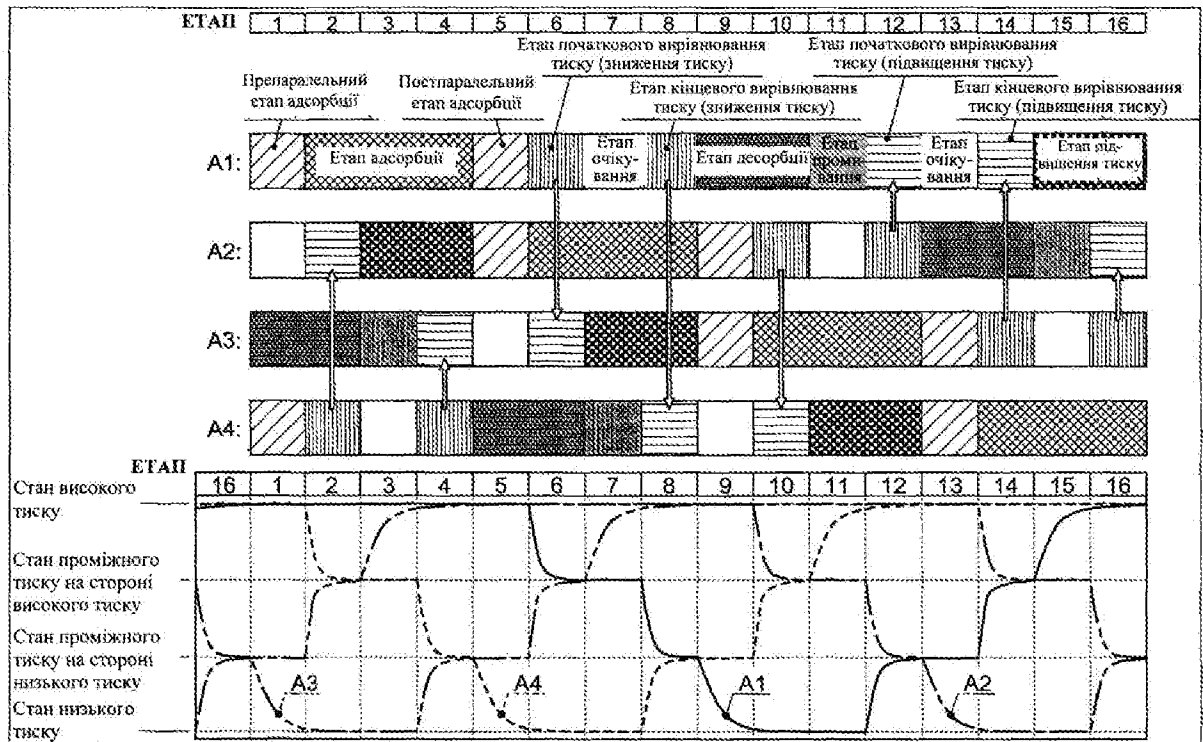
етап адсорбції, що знаходиться вище за потоком, що включає приймання вихідного газу, що знаходиться вище за потоком, по лінії, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу, адсорбування метану на адсорбент метану та відведення стороннього газу, що знаходиться вище за потоком, який не був адсорбований на адсорбенті метану; та

етап десорбції, що знаходиться вище за потоком, що включає десорбування метану, адсорбованого на адсорбенті метану, та видобування метану по лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газу при закритих лінії, що знаходиться вище за потоком, подачі вихідного газу та лінії, що знаходиться вище за потоком, відведення стороннього газу,

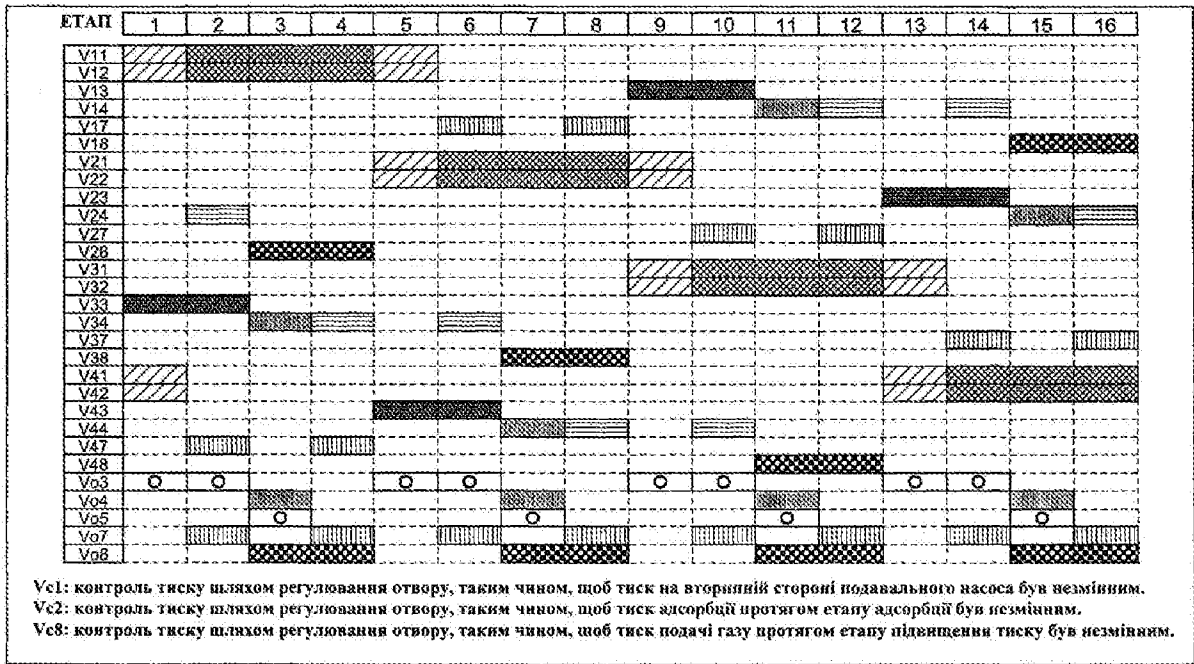
з одержанням газу, видобутого по лінії, що знаходиться вище за потоком, видобування газу, як вихідного газу, який має концентрацію метану 50 % або більше.



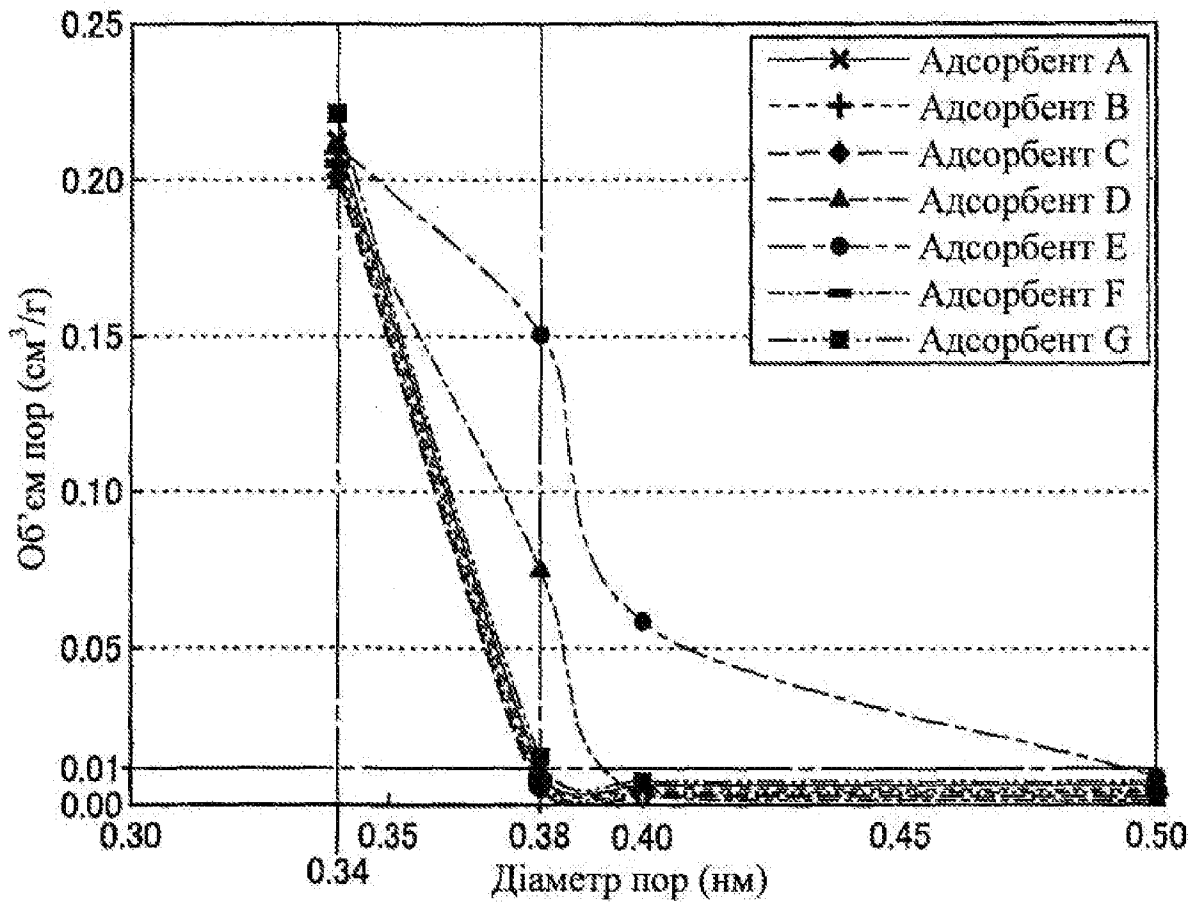
ФІГ. 1



ФІГ. 2

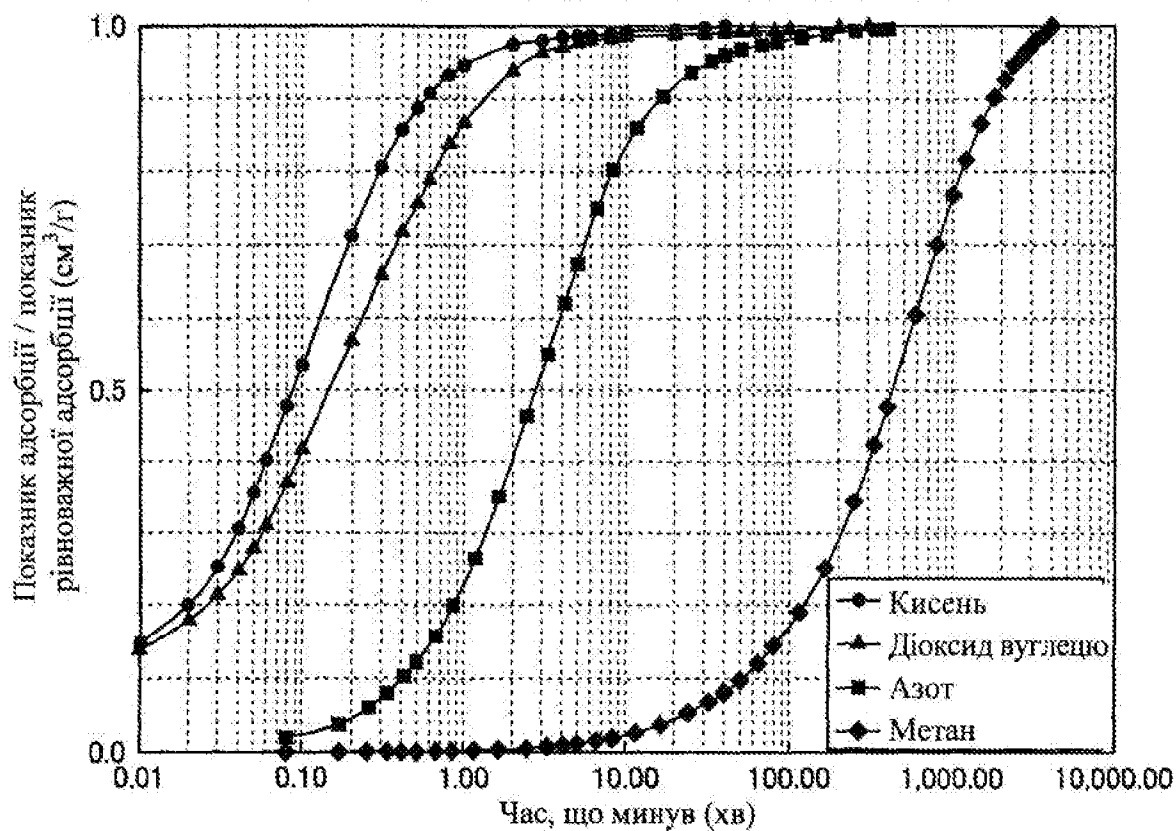


ФІГ. 3

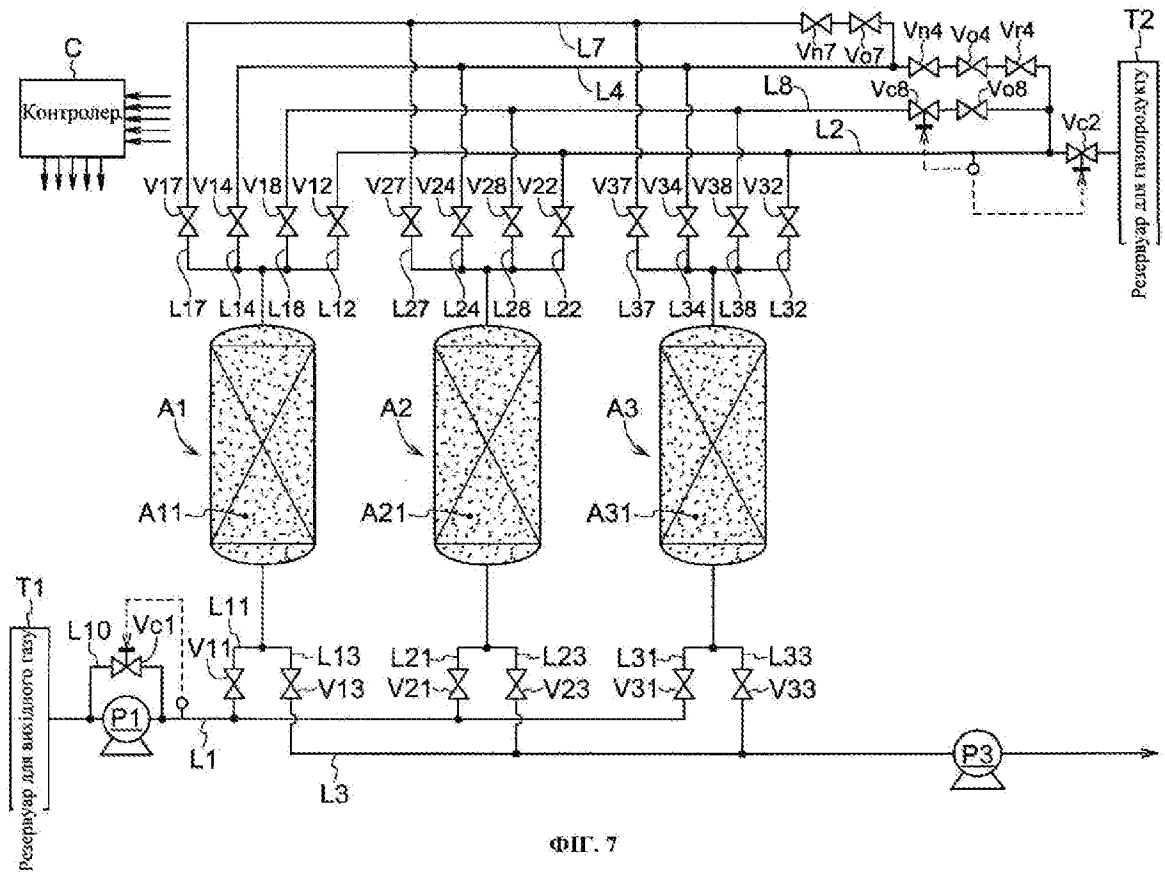
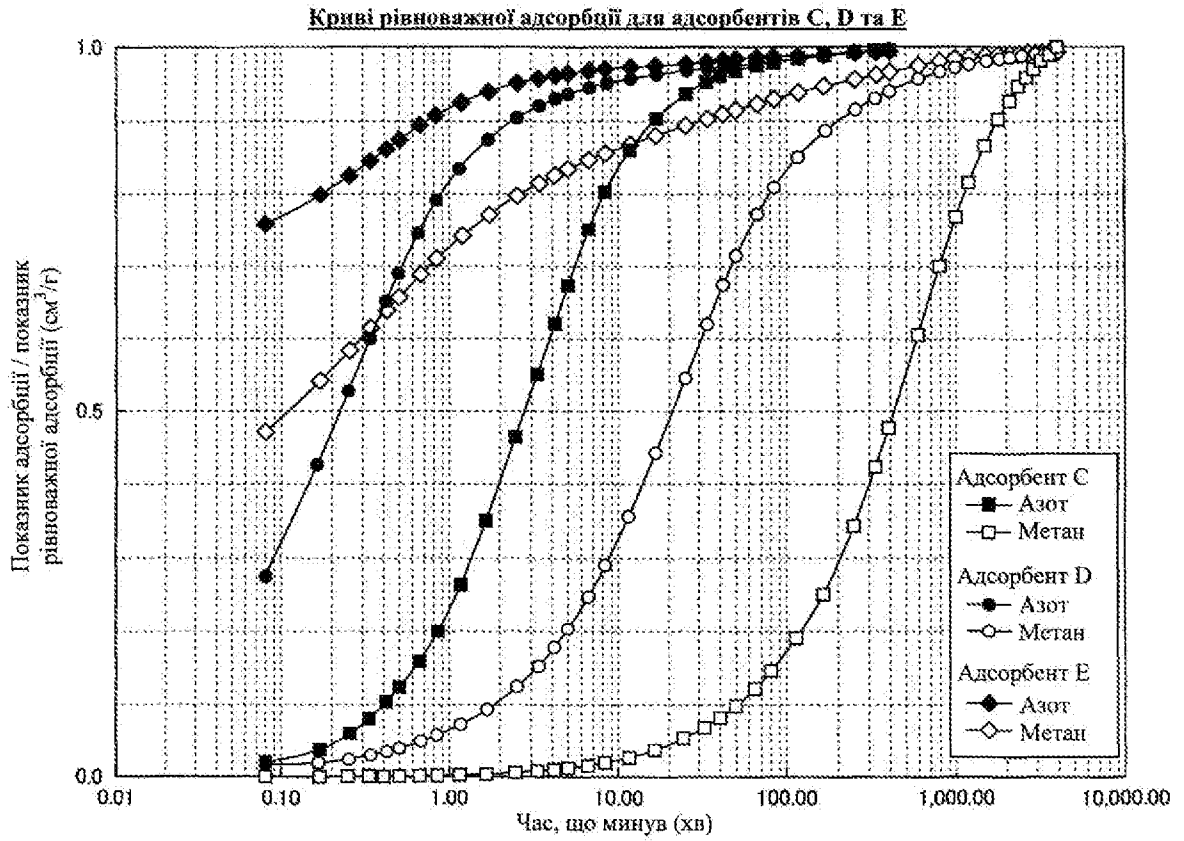


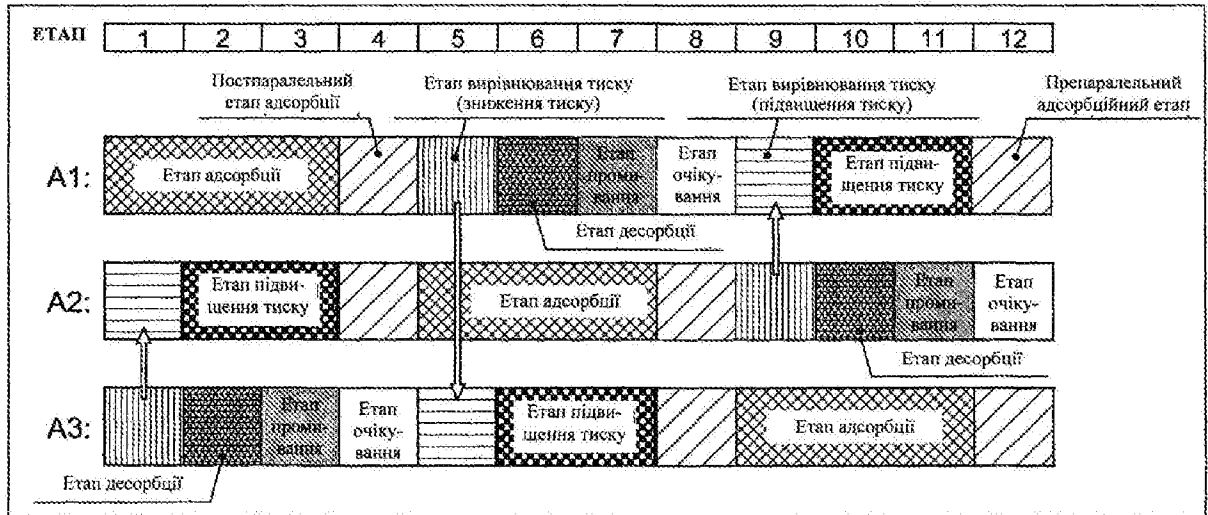
ФІГ. 4

Криві рівноважної адсорбції для адсорбенту С

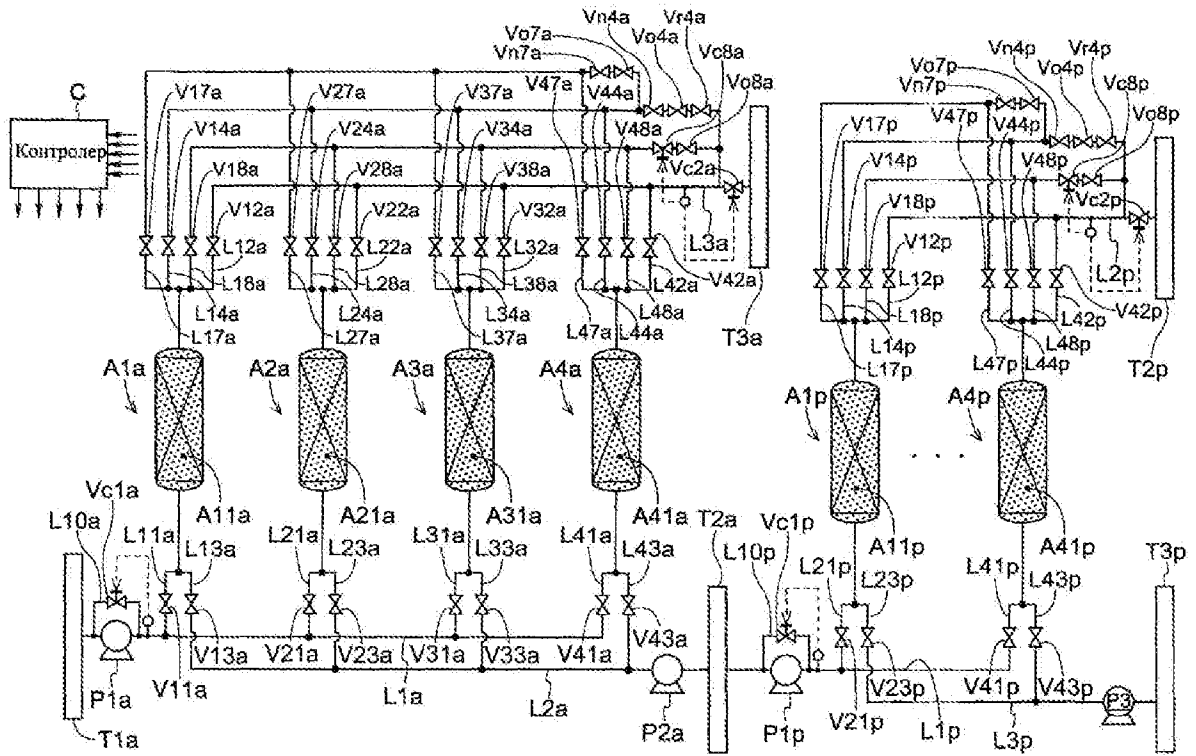


ФІГ. 5

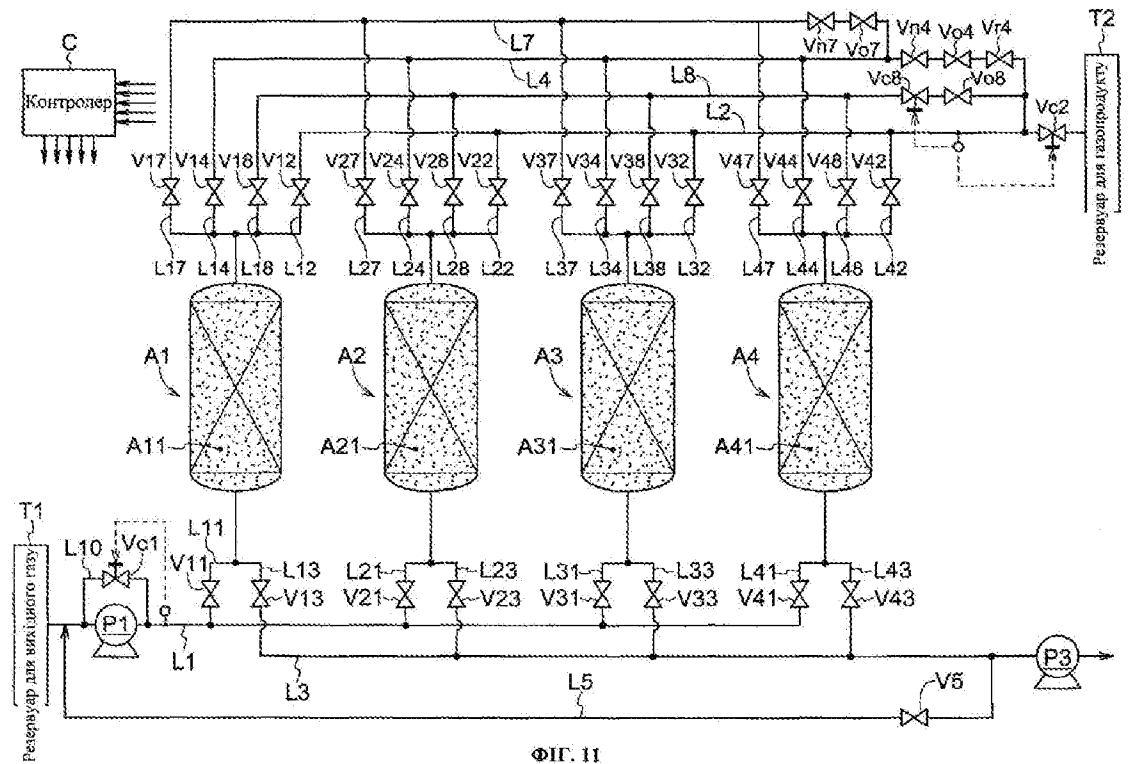
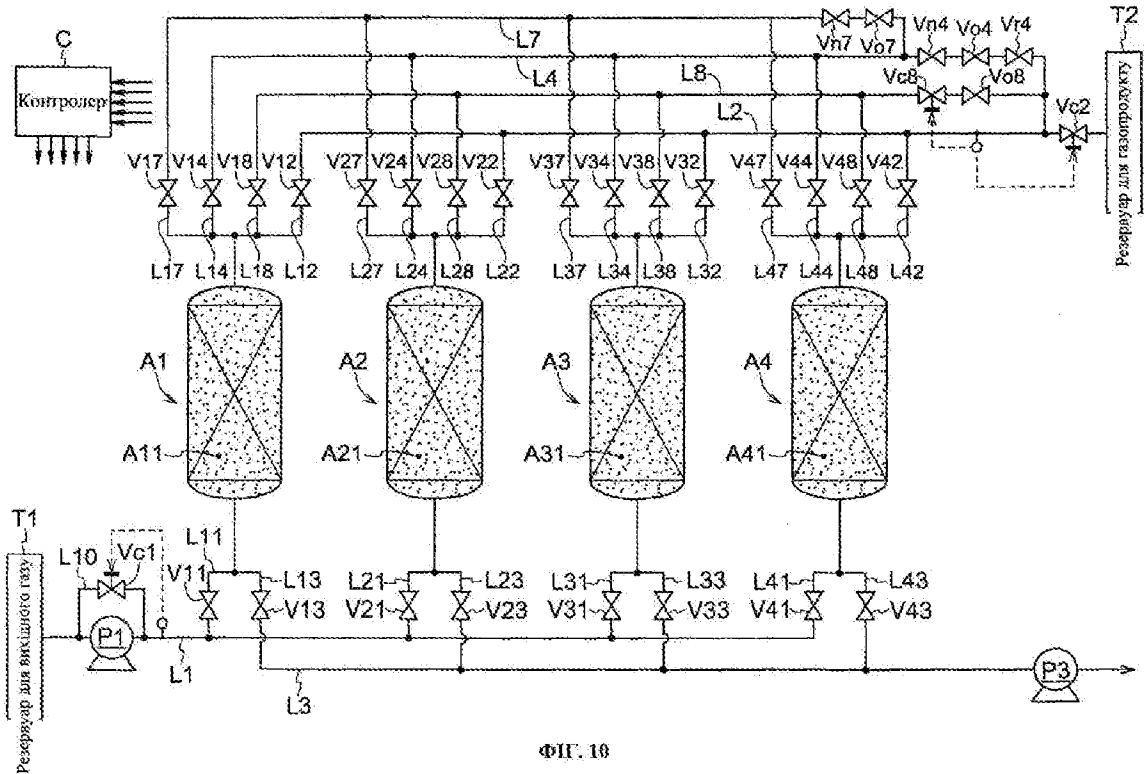




ФІГ. 8



ФІГ. 9



Комп'ютерна верстка Г. Паяльников

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601