



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **130934** (13) **C2**
(51) МПК (2026.01)

B01D 53/14 (2006.01)

B01D 53/62 (2006.01)

E21B 43/00

B65F 5/00

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2024 04716 (22) Дата подання заявки: 01.10.2024 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 18.06.2026 (41) Публікація відомостей про заявку: 24.09.2025, Бюл.№ 39 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 17.06.2026, Бюл.№ 24	(72) Винахідник(и): Іванов Юрій Вікторович (UA), Жук Геннадій Віліорович (UA), Крушневич Сергій Петрович (UA), Комісаренко Дмитро Анатолієвич (UA) (73) Володілець (володільці): ІНСТИТУТ ГАЗУ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, вул. Дегтярівська, 39, м. Київ, 03113 (UA) (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 85243 U, 11.11.2013 UA 93541 C2, 10.06.2016 RU 2637242 C1, 01.12.2017 KR 20120032310 A, 05.04.2012 CN 111804100 A, 23.10.2020 Extraction of carbon dioxide from gas mixtures with amines absorbing process / Yuriy Ivanov, Oleksandr Pyatnichko, Hennadiy Zhuk, Liliya Onopa, Mekhrzad Soltanibereshne // Energy Procedia Vol. 128. 2017. P. 240–247 TAO WANG et al Enhanced CO₂ Absorption and Desorption by Monoethanolamine (MEA)-Based Nanoparticle Suspensions // Ind. Eng. Chem. Res. 2016. 55. P. 7830–7838
---	---

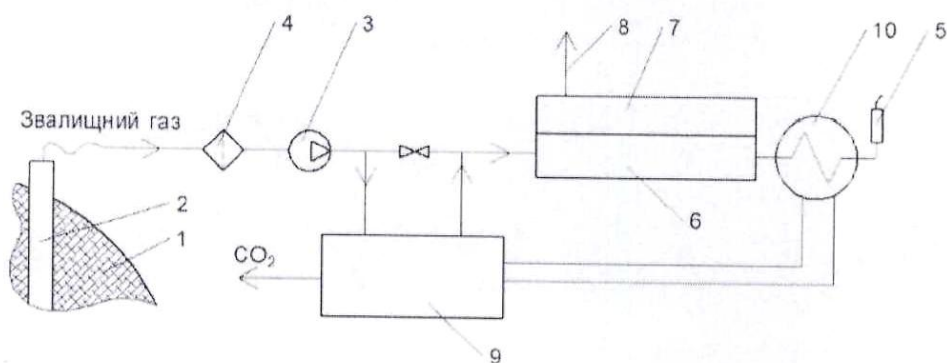
(54) СПОСІБ УТИЛІЗАЦІЇ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ

(57) Реферат:

Винахід належить до безпечної та економічно ефективної експлуатації полігонів і звалищ твердих побутових відходів (ТПВ), а саме технології одержання електричної та теплової енергії зі звалищних газів та їх комплексного перероблення й може бути використаний на полігонах і звалищах ТПВ насамперед для енергетичної утилізації звалищних газів. Пропонується спосіб утилізації звалищного газу, за яким у товщі ТПВ полігону або сміттєзвалища утворюють мережу свердловин, з яких за допомогою вакуум-нагнітача відкачують звалищний газ, який попередньо піддають очищенню від дисперсних частинок, після чого очищений звалищний газ транспортують до оснащеного системою охолодження й системою відведення вихлопних газів теплового двигуна, механічно з'єданого з генератором, а вироблену генератором електричну енергію спрямовують в електромережу. Після очищення звалищного газу від дисперсних частинок з нього методом абсорбції водним розчином амінів вилучають діоксид вуглецю, після чого абсорбент піддають теплової десорбції й видаляють з нього діоксид вуглецю, при цьому теплоту для її проведення одержують в утилізаторі тепла, сполученому з системою охолодження та системою відведення вихлопних газів теплового двигуна. Спосіб забезпечує енергоефективне вилучення діоксиду вуглецю зі звалищного газу та одночасне підвищення

UA 130934 C2

концентрації біометану в ньому, що сприяє збільшенню обсягів генерування електрики в результаті енергетичної утилізації звалищного газу.



Фіг. 2

Винахід належить до безпечної та економічно ефективної експлуатації полігонів і звалищ твердих побутових відходів (ТПВ), а саме технології одержання електричної та теплової енергії зі звалищних газів та їх комплексного перероблення, й може бути використаний на діючих, закритих і законсервованих полігонах і звалищах ТПВ насамперед для енергетичної утилізації звалищних газів.

Відомий спосіб утилізації звалищного газу, за яким у товщі твердих побутових відходів полігону або сміттєзвалища утворюють мережу свердловин, з яких за допомогою вакуум-нагнітача, наприклад газодувки, відкачують звалищний газ, який транспортують до теплового двигуна, механічно з'єданого з генератором, а вироблену генератором електричну енергію спрямовують в електромережу, при цьому в товщу твердих побутових відходів полігону або сміттєзвалища для збільшення виходу звалищного газу закачують діоксид вуглецю, у тому числі й виділений з вихлопних газів теплового двигуна [заявка № WO2023/137048A2, МПК(2006.01) B65F5/00, опубл. 20.07.2023]. Недоліком цього способу є насичення звалищного газу додатковим діоксидом вуглецю, що призводить до підвищення його концентрації в звалищному газі й відповідно зниженні концентрації біометану, а отже, й погіршенні енергетичних властивостей газоподібного палива, що надходить до теплового двигуна. У свого чергу це призводить до зниження обсягів генерування електрики, а також підвищення викидів парникових газів, насамперед діоксиду вуглецю, в атмосферу, що погіршує екологічний стан довкілля.

Найближчим до пропонованого технічного рішення є спосіб утилізації звалищного газу, за яким у товщі твердих побутових відходів полігону або сміттєзвалища утворюють мережу свердловин, з яких за допомогою вакуум-нагнітача, наприклад газодувки, відкачують звалищний газ, який попередньо піддають очищенню від дисперсних частинок, після чого очищений звалищний газ транспортують до оснащеного системою охолодження й системою відведення вихлопних газів теплового двигуна, наприклад, газопоршневого двигуна внутрішнього згорання, механічно з'єданого з генератором, при цьому вироблену генератором електричну енергію спрямовують в електромережу [Перспективні газові технології для сучасної України / Г.В. Жук, Ю.В. Іванов, Л.Р. Онопа та ін. Київ: Прометей, 2022. С. 235-242].

На відміну від попереднього аналога цей спосіб не потребує додаткової витрати діоксиду вуглецю, проте його високий вміст (зазвичай 32-42 % (об.)) у звалищному газі знижує енергетичні характеристики газоподібного палива, що надходить до теплового двигуна для генерування електроенергії. При цьому також збільшується викиди діоксиду вуглецю в атмосферу, адже він не лише утворюється в результаті роботи теплового двигуна, а й уже міститься на вході в нього у складі звалищного газу, що погіршує екологічний стан довкілля.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалити спосіб утилізації звалищного газу, в якому його нова реалізація забезпечує енергоефективне вилучення діоксиду вуглецю зі звалищного газу та одночасно підвищує в ньому концентрацію біометану, що сприяє збільшенню обсягів генерування електрики в результаті енергетичної утилізації звалищного газу, що продукується на полігонах і звалищах твердих побутових відходів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі утилізації звалищного газу, за яким у товщі твердих побутових відходів полігону або сміттєзвалища утворюють мережу свердловин, з яких за допомогою вакуум-нагнітача відкачують звалищний газ, який попередньо піддають очищенню від дисперсних частинок, після чого очищений звалищний газ транспортують до оснащеного системою охолодження і системою відведення вихлопних газів теплового двигуна, механічно з'єданого з генератором, а вироблену генератором електричну енергію спрямовують в електромережу, згідно з пропонованим винаходом, новим є те, що після очищення звалищного газу від дисперсних частинок з нього методом абсорбції водним розчином амінів вилучають діоксид вуглецю, після чого абсорбент піддають тепловій десорбції й видаляють з нього діоксид вуглецю, при цьому теплоту для її проведення одержують в утилізаторі тепла, сполученому з системою охолодження та системою відведення вихлопних газів теплового двигуна.

У переважних прикладах реалізації способу абсорбцію діоксиду вуглецю проводять водним розчином метилдіетаноламіну й моноетаноламіну за такого співвідношення, мас. %: метилдіетаноламіну - 35-45; моноетаноламін - 5-15; вода - решта, а десорбований діоксид вуглецю піддають зрідженню для подальшого зберігання й постачання споживачу.

Реалізація пропонованого способу утилізації звалищного газу із зазначеними відмітними ознаками дає змогу видалити діоксид вуглецю з газоподібного палива та одночасно в ньому підвищити концентрацію біометану на вході в тепловий двигун, що сприяє збільшенню обсягів генерування електрики в результаті енергетичної утилізації звалищного газу.

Підвищення концентрації біометану також дає змогу підвищити продуктивність вакуум-нагнітача звалищного газу, а отже, й витрату газоподібного палива на вході в тепловий двигун. При цьому збільшується підсмоктування навколишнього повітря в товщу твердих побутових відходів полігону або сміттєзвалища, а отже, й потрапляння його в звалищний газ, що дещо знижує в ньому концентрацію біометану. Проте зазначене зниження концентрації біометану, як було зазначено, може бути скомпенсоване підвищенням витрати газоподібного палива на вході в тепловий двигун. У цьому разі важливо знайти компроміс між концентрацією біометану в газоподібному паливі на вході в тепловий двигун та витратою зазначеною палива для забезпечення стабільної роботи теплового двигуна.

Вилучення з очищеного від дисперсних частинок звалищного газу діоксиду вуглецю методом абсорбції водним розчином амінів (на відміну від традиційного методу абсорбції водою) забезпечує не лише ефективне вилучення зі звалищного газу діоксиду вуглецю, а й унеможливорює часткове розчинення в абсорбенті цільового компоненту біометану, потрібного для ефективної роботи теплового двигуна.

Одержання ж потрібної для проведення процесу теплової десорбції діоксиду вуглецю теплоти в утилізаторі тепла, сполученому з системою охолодження та системою відведення вихлопних газів теплового двигуна, робить пропонований спосіб енергетично незалежним через утилізацію теплоти, що виділяється в результаті роботи теплового двигуна й не потребує сторонніх джерел енергії.

Проведення абсорбції діоксиду вуглецю водним розчином метилдіетаноламіну й моноетаноламіну за зазначеного співвідношення компонентів абсорбенту забезпечує найбільш ефективні умови її проходження.

Зрідження десорбованого діоксиду вуглецю та його подальше зберігання й постачання споживачу не лише дає змогу використовувати цю речовину в різних галузях економіки (насамперед у хімічній промисловості під час виробництва соди, сечовини тощо, а також у харчовій промисловості виробництві цукру, вина, пива, газованої води і т. д.), а й знизити викиди парникових газів в атмосферу.

Суть пропонованого способу пояснюється креслениками, на яких зображено:

- на фіг. 1 - схему установки утилізації біогазу полігону ТПВ відповідно до найближчого аналогу;

- на фіг. 2 - схему установки утилізації біогазу полігону ТПВ у режимі когенерації відповідно до пропонованого винаходу;

- на фіг. 3 - принципову схему блоку вилучення діоксиду вуглецю (CO_2) з біогазу, що входить до складу установки для реалізації пропонованого винаходу.

Спосіб утилізації звалищного газу відповідно до найближчого аналогу та пропонований спосіб реалізують у такій послідовності.

Приклад 1 (найближчий аналог).

У товщі твердих побутових відходів 1 полігону або сміттєзвалища утворюють мережу свердловин 2, з яких за допомогою вакуум-нагнітача 3, наприклад, газодувки, відкачують звалищний газ, який піддають очищенню від дисперсних частинок у фільтрі 4, після чого очищений звалищний газ транспортують до оснащеного системою охолодження й системою відведення вихлопних газів 5 теплового двигуна 6, наприклад, газопоршневого двигуна внутрішнього згорання, механічно з'єднаного з генератором 7, а вироблену генератором електричну енергію спрямовують в електромережу 8.

Цей спосіб за умови використання $250 \text{ Нм}^3/\text{год.}$ біогазу полігону ТПВ забезпечує генерування близько 300 кВт електроенергії та приблизно таку саму кількість теплової енергії. Склад біогазу з урахуванням підсмоктування навколишнього повітря в товщу твердих побутових відходів полігону, а отже й потрапляння його у звалищний газ, що може суттєво знижувати в ньому концентрацію біометану, складає, % (об.): CH_4 - 31, CO_2 - 26, N_2 - 40, H_2O - 3. Отже, об'ємна витрата CH_4 у біогазі за даних умов становить $77,5 \text{ Нм}^3/\text{год.}$

Продукти згорання біометану в тепловому двигуні визначаються за формулою $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 891 \text{ кДж}$, тому в результаті проходження реакції окиснення CH_4 в атмосферу виділиться $77,5 \text{ Нм}^3/\text{год.}$ CO_2 . З урахуванням кількості CO_2 у складі біогазу - $65 \text{ Нм}^3/\text{год.}$, загальні викиди CO_2 у довкілля складають $142,5 \text{ Нм}^3/\text{год.}$ (280 кг/год.).

Слід зазначити, що зниження вмісту CH_4 у біогазі негативно впливає на ефективність і стабільність роботи теплового двигуна (зокрема газопоршневого двигуна внутрішнього згорання) теплоелектростанції, на якій реалізується зазначений спосіб.

Приклад 2 (пропонований спосіб).

Спосіб реалізують відповідно до прикладу 1, проте після очищення звалищного газу у фільтрі 4 від дисперсних частинок з нього в блоці вилучення діоксиду вуглецю (CO_2) 9 методом

абсорбції водним розчином амінів вилучають діоксид вуглецю, після чого абсорбент піддають теплової десорбції (також у блоці 9) й видаляють з нього діоксид вуглецю CO_2 , при цьому теплоту для проведення теплової десорбції одержують в утилізаторі тепла 10, сполученому з системою охолодження та системою відведення вихлопних газів 5 теплового двигуна 6.

5 Абсорбцію діоксиду вуглецю проводять водним розчином метилдіетаноламіну й моноетаноламіну за такого співвідношення, мас. %: метилдіетаноламін - 40; моноетаноламін - 10; вода - 50.

Десорбований діоксид вуглецю піддають зрідженню для подальшого зберігання його в газових балонах і постачання споживачу.

10 Отже, порівняно зі схемою відповідно до найближчого аналогу (див. фіг. 1) у схему установки утилізації біогазу полігону ТПВ у режимі когенерації відповідно до пропонованого способу (фіг. 2) включено блок вилучення діоксиду вуглецю (CO_2) (фіг. 3), принцип роботи якою полягає в такому. Звалищний газ I надходить в абсорбер 11, який зрошується водним розчином амінів II при $t = 45^\circ\text{C}$. В абсорбері 11 концентрація діоксиду вуглецю в біогазі знижується, а збагачений біогаз III направляється в тепловий двигун 6 (фіг. 2). Насичений розчин амінів IV надходить у рекуперативний теплообмінник 12, в якому нагрівається до температури $90-100^\circ\text{C}$ гарячим зворотним потоком V регенованого розчину абсорбенту, який виходить з десорбера 13. Нагрітий насичений розчин абсорбенту VI надходить у верхню частину десорбера 13, де здійснюється відпарювання увібраного водним розчином амінів діоксиду вуглецю до необхідної концентрації. Процес регенерації здійснюється за температури кипіння водних розчинів амінів $105-118^\circ\text{C}$ за рахунок теплової енергії когенерації. Парогазова суміш, яка виходить з верхньої частини десорбера 13, охолоджується в конденсаторі до 25°C , при цьому водяна пара конденсується і надходить у десорбер 13 як зрошення (флегма) у верхню його частину, а газ (потік VII) виходить з конденсатора і містить діоксид вуглецю (приблизно 98 %). Регенований водний розчин амінів VIII насосом 14 (як гарячий зворотний потік регенованого розчину абсорбенту потік - V) подається у рекуперативний теплообмінник 12, після чого потік IX (тобто попередньо охолоджений потік V) надходить в охолоджувач 15. Після охолоджувача 15 остаточно охолоджений зворотний потік регенованого розчину абсорбенту (потік II) надходить у верхню частину абсорбера 11, і процес вилучення діоксиду вуглецю (CO_2) у блоці 9 продовжується.

Зазначений блок вилучення діоксиду вуглецю (CO_2) з біогазу 9 може задіяти як весь потік біогазу, що надходить зі свердловин 2 (див. фіг. 2), так і його частину.

Таким чином, крім генерації електроенергії пропонований спосіб забезпечує енергоефективне вилучення діоксиду вуглецю зі звалищного газу та одночасне підвищення в ньому концентрації біометану, що сприяє збільшенню обсягів генерування електрики в результаті енергетичної утилізації звалищного газу, що продукується на полігонах і звалищах твердих побутових відходів, при цьому виділений зі звалищного газу CO_2 надалі зріджують і постачають споживачу.

40 Результати розрахунків абсорбційного амінового процесу збагачення біогазу в блоці 9 за рахунок вилучення діоксиду вуглецю з біогазу наведено в табл. 1. Концентрація CH_4 у біогазі підвищилась з 31 до 41 %, а концентрація CO_2 знизилась до 1,6 %, що дало змогу вилучити зі звалищного газу 122 кг/год. газоподібного CO_2 .

45 Розрахункова кількість теплоти, яку можна отримати в утилізаторі тепла 10, сполученому з системою охолодження та системою відведення вихлопних газів 5 теплового двигуна 6, складає 150 кВт і може повністю компенсувати теплове навантаження ребойлера десорбера (тобто нагрівника нижньої частини десорбера), яке становить 130 кВт.

Таблиця 1

Результати розрахунків показників процесу збагачення біогазу

Показники процесу збагачення 250 Нм ³ /год. біогазу складу, % (об.): 31CH ₄ /26 CO ₂ /40 N ₂	
Витрата, біогазу, Нм ³ /год.	250
Витрата абсорбенту, кг/год.	2450
Концентрація в збагаченому біогазі, % (об.)	
CH ₄	41
CO ₂	1,6
Вихід CO ₂ з десорбера на зрідження, кг/год.	122
Теплове навантаження ребойлера десорбера, кВт	130
Теплова енергія вихлопних газів двигуна, електростанції, кВт	150

У табл. 2 наведено порівняльні розрахунки викидів діоксиду вуглецю CO₂ (парникового газу) під час роботи електростанції за обома наведеними прикладами. Як бачимо, впровадження пропонованого способу знижує загальні викиди CO₂ у навколишнє середовище на 44 %, що складає 1040 т/рік.

Таблиця 2

Результати розрахунків викидів діоксиду вуглецю CO₂ (парникового газу) електростанції

Показники викидів CO ₂	Склад біогазу на вході в тепловий двигун електростанції, % (об.)	
	відповідно до найближчого аналогу (без збагачення)	відповідно до пропонованого винаходу (зі збагаченням)
	250 Нм ³ /год. 31 CH ₄ /26 CO ₂ /40 N ₂	189 Нм ³ /год. 41 CH ₄ /1.6 CO ₂ /52 N ₂
CO ₂ у складі біогазу, кг/год.	128	6
CO ₂ у реакції окиснення CH ₄ біогазу, кг/год.	152	152
Загальні викиди газоподібного CO ₂ в атмосферу, кг/год.	280	158
Зниження загальних викидів CO ₂ в атмосферу, %	-	44 %
кг/год.		-122
т/рік		1040

Пропонований спосіб забезпечує енергоефективне вилучення діоксиду вуглецю зі звалищного газу та одночасно підвищує в ньому концентрацію біометану, що сприяє збільшенню обсягів генерування електрики в результаті енергетичної утилізації звалищного газу та знижує техногенне навантаження на довкілля.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб утилізації звалищного газу, за яким у товщі твердих побутових відходів полігону або сміттєзвалища утворюють мережу свердловин, з яких за допомогою вакуум-нагнітача відкачують звалищний газ, який попередньо піддають очищенню від дисперсних частинок, після чого очищений звалищний газ транспортують до оснащеного системою охолодження й системою відведення вихлопних газів теплового двигуна, механічно з'єданого з генератором, а вироблену генератором електричну енергію спрямовують в електромережу, який **відрізняється** тим, що після очищення звалищного газу від дисперсних частинок з нього методом абсорбції водним розчином амінів вилучають діоксид вуглецю, після чого абсорбент піддають тепловій десорбції й видаляють з нього діоксид вуглецю, при цьому теплоту для її проведення одержують в утилізаторі тепла, сполученому з системою охолодження та системою відведення вихлопних газів теплового двигуна.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що абсорбцію діоксиду вуглецю проводять водним розчином метилдіетаноламіну й моноетаноламіну за такого співвідношення, мас. %:
метилдіетаноламін 35-45
моноетаноламін 5-15
вода решта.
3. Спосіб п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що десорбований діоксид вуглецю піддають зрідженню для подальшого зберігання й постачання споживачу.

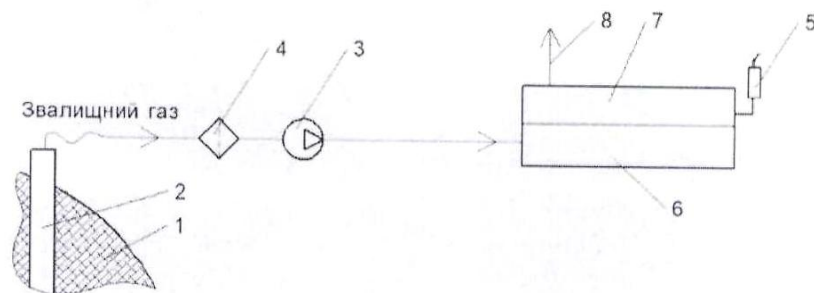


Fig. 1

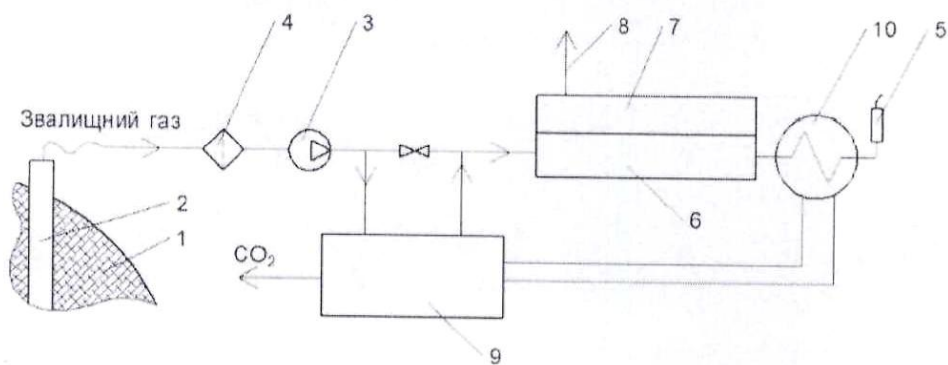


Fig. 2

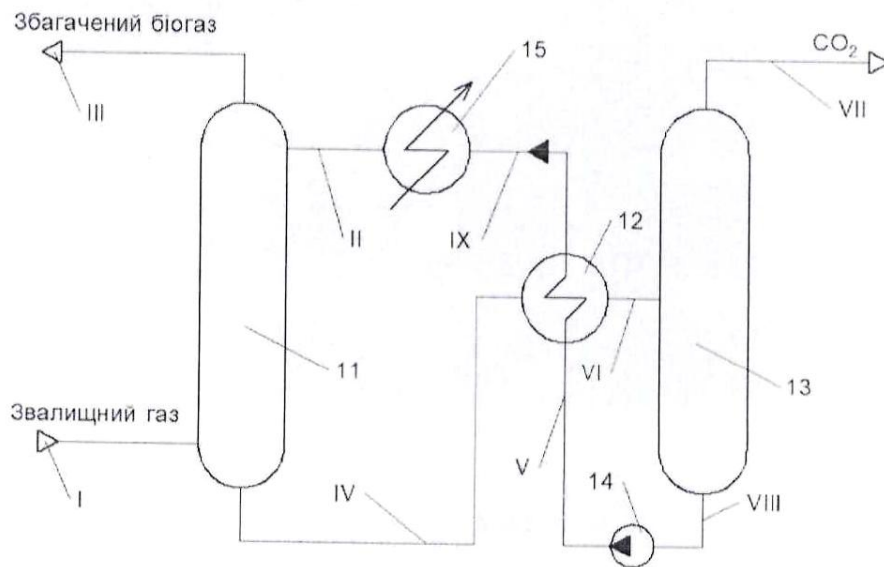


Fig. 3