

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 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.

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 компенсоване 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 пропонуванний 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 пропонуваного 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 пропонуваного винаходу;
- на фіг. 3 - принципову схему блоку вилучення діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) з біогазу, що входить до складу установки для реалізації пропонуваного винаходу.

Спосіб утилізації звалищного газу відповідно до найближчого аналогу та пропонуванний 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.):  $\text{CH}_4$  - 31,  $\text{CO}_2$  - 26,  $\text{N}_2$  - 40,  $\text{H}_2\text{O}$  - 3. Отже, об'ємна витрата  $\text{CH}_4$  у біогазі за даних умов становить  $77,5 \text{ Нм}^3/\text{год.}$

Продукти згорання біометану в теплому 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  $\text{CH}_4$  в атмосферу виділиться  $77,5 \text{ Нм}^3/\text{год.}$   $\text{CO}_2$ . З урахуванням кількості  $\text{CO}_2$  у складі біогазу -  $65 \text{ Нм}^3/\text{год.}$ , загальні викиди  $\text{CO}_2$  у довкілля складають  $142,5 \text{ Нм}^3/\text{год.}$  ( $280 \text{ кг/год.}$ ).

Слід зазначити, що зниження вмісту  $\text{CH}_4$  у біогазі негативно впливає на ефективність і стабільність роботи теплового двигуна (зокрема газопоршневого двигуна внутрішнього згорання) теплоелектростанції, на якій реалізується зазначений спосіб.

Приклад 2 (пропонуванний 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 ( $\text{CO}_2$ ) 9 методом абсорбції водним розчином амінів вилучають діоксид вуглецю, після чого абсорбент піддають тепловій десорбції (також у блоці 9) й видаляють з нього діоксид вуглецю  $\text{CO}_2$ , 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.

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.

Отже, порівняно зі схемою відповідно до найближчого аналогу (див. фіг. 1) у схему установки утилізації біогазу полігону ТПВ у режимі когенерації відповідно до пропонуваного способу (фіг. 2) включено блок вилучення діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) (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 °С 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 °С за рахунок теплової енергії когенерації. Парогазова суміш, яка виходить з верхньої частини десорбера 13, охолоджується в конденсаторі до 25 °С, 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<sub>2</sub>) у блоці 9 продовжується.

Зазначений блок вилучення діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) 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<sub>2</sub> надалі зріджують і постачають споживачу.

Результати розрахунків абсорбційного амінового процесу збагачення біогазу в блоці 9 за рахунок вилучення діоксиду вуглецю з біогазу наведено в табл. 1. Концентрація CH<sub>4</sub> у біогазі підвищилась з 31 до 41 %, а концентрація CO<sub>2</sub> знизилась до 1,6 %, що дало змогу вилучити зі звалищного газу 122 кг/год. газоподібного CO<sub>2</sub>.

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 <sup>3</sup> /год. біогазу складу, % (об.): 31CH <sub>4</sub> /26 CO <sub>2</sub> /40 N <sub>2</sub> |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Витрата, біогазу, Нм <sup>3</sup> /год.                                                                                                  | 250  |
| Витрата абсорбенту, кг/год.                                                                                                              | 2450 |
| Концентрація в збагаченому біогазі, % (об.)                                                                                              |      |
| CH <sub>4</sub>                                                                                                                          | 41   |
| CO <sub>2</sub>                                                                                                                          | 1,6  |
| Вихід CO <sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> (парникового газу) під час роботи електростанції за обома наведеними прикладами. Як бачимо, впровадження пропонованого способу знижує загальні викиди CO<sub>2</sub> у навколишнє середовище на 44 %, що складає 1040 т/рік.

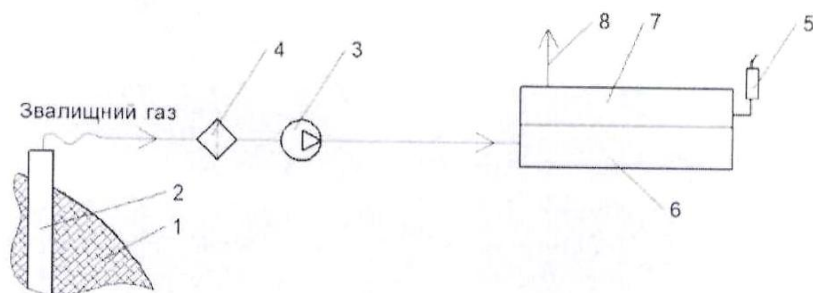
Таблиця 2

Результати розрахунків викидів діоксиду вуглецю CO<sub>2</sub> (парникового газу) електростанції

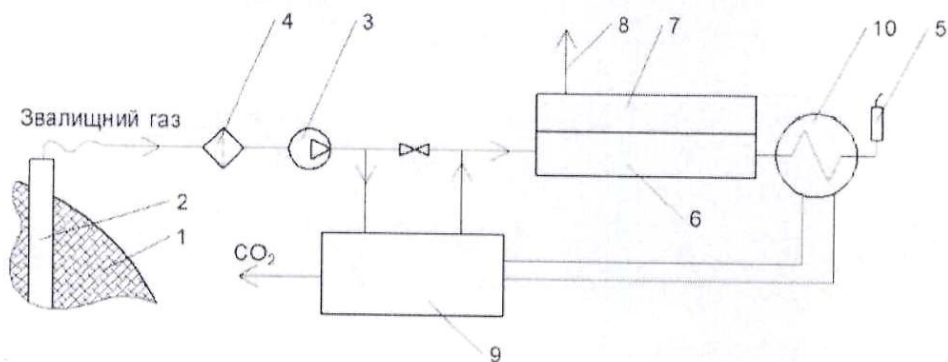
| Показники викидів CO <sub>2</sub> | Склад біогазу на вході в тепловий двигун електростанції, % (об.) |                                                       |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                   | відповідно до найближчого аналогу (без збагачення)               | відповідно до пропонованого винаходу (зі збагаченням) |

|                                                                      |                                                                                           |                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                      | 250 Нм <sup>3</sup> /год.<br>31 CH <sub>4</sub> /26 CO <sub>2</sub> /40<br>N <sub>2</sub> | 189 Нм <sup>3</sup> /год.<br>41 CH <sub>4</sub> /1.6 CO <sub>2</sub> /52<br>N <sub>2</sub> |
| CO <sub>2</sub> у складі біогазу, кг/год.                            | 128                                                                                       | 6                                                                                          |
| CO <sub>2</sub> у реакції окиснення CH <sub>4</sub> біогазу, кг/год. | 152                                                                                       | 152                                                                                        |
| Загальні викиди газоподібного CO <sub>2</sub> в атмосферу, кг/год.   | 280                                                                                       | 158                                                                                        |
| Зниження загальних викидів CO <sub>2</sub> 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.



Фіг. 1



Фіг. 2

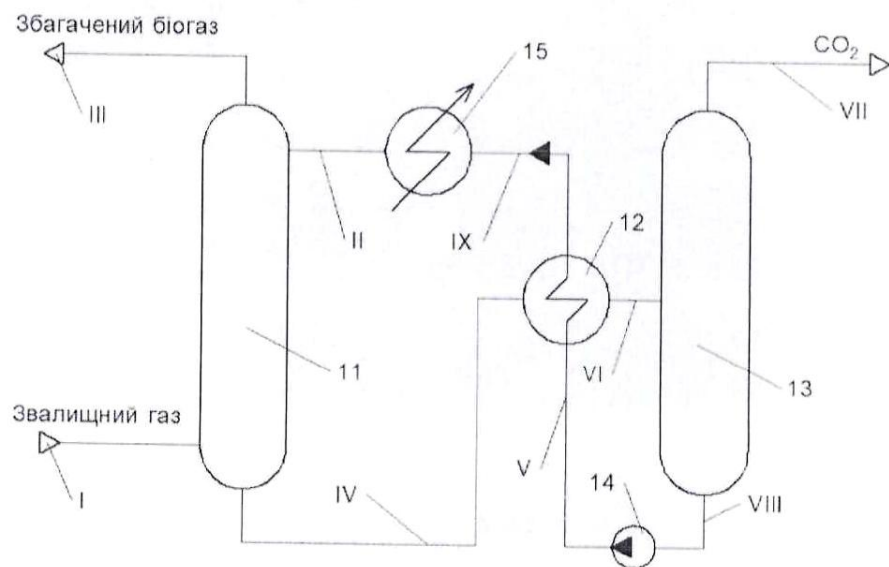


Fig. 3