

**Список літератури:** 1. *Аппен А.А.* Температуроустойчивые неорганические покрытия.-Л.: Химия.-1976.-295 с. 2. *Свидерский В.А., Ткач Н.А.* Высокотемпературные кремнийорганические полифункциональные покрытия // Температуроустойчивые функциональные покрытия.- Тула, 2001.-С. 60-64. 3. *Гивлюд М.М., Свідерський В.А., Федунь Б.В.* Жаростійкі антикорозійні захисні покриття для конструкційних матеріалів // Фізико-хімічна механіка матеріалів.-Львів, 1996.- С. 182-184 4. *Ємченко І.В.* Підвищення високотемпературної довговічності конструкційних матеріалів із захисними покриттями на основі наповнених силіційелементоорганічних лаків / І. В. Ємченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2007. – № 6 (56). – С. 71-74 5. *Гивлюд М. М.* Захисні високотемпературні покриття на основі наповнених поліалюмосилоксанів / М. М. Гивлюд, І. В. Ємченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія».- Харків : НТУ «ХПІ», 2007. – № 32. – С. 138-148. 6. *Ємченко І. В.* Вплив каоліну на технологічні властивості та структуру наповнених силіційорганічних покриттів / І. В. Ємченко, М. М. Гивлюд // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск : УГХТУ, 2008. – № 3. – С. 97-98.

*Поступила до редколегії 29.10.2009*

**УДК 622.691**

*А.П. МЕЛЬНИК*, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»  
*С.Г. МАЛІК*, інженер, НТУ «ХПІ»

### **ПАЛИВО З ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ СИРОВИНИ**

Розглянуто перспективи використання і запропоновано технологічну схему одержання біогазу з використанням відходів.

Perspective usage and technological scheme of biogas production with use of waste products have been observed.

Раніше [1] розглянуто перспективи одержання паливного газу з вітчизняної сировини за хімічними технологіями. Разом з тим відомо [2], що крім природного газу, нафти та вугілля паливо можна одержувати з різних органічних продуктів у вигляді біогазу, який утворюється при анаеробному бродінні органічних речовин у присутності бактерій класу метаногенів. Хіміком Х. Деві вперше в біомасі, яка розкладається, знайдено метан. Крім метану до складу біогазу можуть входити двоокис вуглецю, сірководень, аміак, що залежить від вихідного компонентного складу сировини. При відсутності в сировині сірко-азотовмісних компонентів, до складу біогазу входить 55-75 % об. метану, 25-45 % об. двоокису вуглецю з домішками сірководню та водню. Теплотвірна здатність 1 м<sup>3</sup> такого газу досягає 20-75 МДж/м<sup>3</sup> [3], що еквівалентно 1,4 кВт електроенергії, 0,6 л бензину, 0,85 л етанолу чи 1,7 кг деревини. В оптимальних умовах з 1 м<sup>3</sup> реакційного об'єму одержують 1-2 м<sup>3</sup> газу, а з 1 т різних видів рослин (листя, солома, трава, хвоя, відходи життєдіяльності тварин, людей і т.п.) можна одержувати 300-630 м<sup>3</sup> біогазу з концентрацією метану  $\approx 70\%$ , в тому числі з 1 т відходів рогатих тварин - 200-350 м<sup>3</sup> з концентрацією метану  $\approx 60\%$  [4].

Сьогодні найбільше біогазу  $\approx 18\%$  від власних потреб виробляється в Данії, хоча перша біогазова установка була побудована в позаминулому столітті в Індії, а в минулому столітті такий газ використовувався у Лондоні. В Китаї та Індії розповсюджені приватні біогазові установки, кількість яких досягає  $\approx 18$  млн. і  $\approx 4$  млн., відповідно. Якщо у Європі  $\approx 50\%$  фабрик птиці використовують біогаз як пальне, то у Китаї  $\approx 50\%$  населення забезпечується біогазом. Відомо також, що біогазом замінюють природний газ в автотранспорті, зокрема в Китаї  $\approx 60\%$  автобусів працюють на біогазі, в Європі відмічається тенденція до зростання використання біогазу в цій сфері. В Україні відомі поодинокі приватні біогазові установки і не відомі технології, які могли б знайти широке застосування. Тому метою цієї роботи є створення технології і технологічної схеми одержання біогазу, яка могла б використовуватись як промисловими, так і приватними підприємствами.

При перетворенні органічних речовин в середньому з 1 кг можна одержувати  $0,25\text{ м}^3$  метану,  $0,16\text{ м}^3\text{ CO}_2$ , 0,2 л води та 0,3 кг твердих залишків. При цьому відходи 1 корови забезпечують до  $2\text{ м}^3$  газу/добу, свині -  $0,2\text{ м}^3$ /добу, птиці -  $0,015\text{ м}^3$ /добу. За передовими технологіями з  $1\text{ м}^3$  реакційного простору одержують до  $2\text{ м}^3$  газу, а з використанням відходів птиці - у 2 рази більше.

Одна з простих технологій одержання біогазу (див. рис.1), яка може використовуватись в індивідуальному господарстві чи промислового виробництва, полягає в тому, що зважену на вагах вихідну тверду сировину транспортером 1 чи ручним способом, а рідку сировину наливом подають в бункер 2, з якого вона поступає на дробарку (січкарню) і далі гвинтовим насосом (шнеком) вивантажується в метанатор 3. Рідку сировину можна зразу заливати в метанатор. При використанні, крім відходів тваринництва, інших органічних відходів, сировину в метанаторі прогривають гострою парою при температурі  $70\text{ }^\circ\text{C}$  впродовж години. Ступінь заповнення метанатору  $\approx 50\%$ . В метанаторі 3 відбувається бродіння при температурі  $30\text{-}38\text{ }^\circ\text{C}$ , в результаті чого через  $\approx 7$  діб утворюється така кількість газу, яка забезпечує потреби споживача. Якщо використовується підігріта сировина, то газ утворюється значно швидше. Процес бродіння завершується через  $\approx 25$  діб. Під час метанізації контролюють температуру, тиск, об'єм одержаного газу. Газ після метанатора спочатку поступає в абсорбційну колонку 7, де очищається від сірководню, потім - на вхід компресора 10. Для більш стабільної роботи компресора газ після колонки 7 доцільно збирати в проміжному газгольдері 4. У випадку вологого газу після колонки встановлюють осушувачі, до складу яких входять сепаратор 8 та абсорбер. Сепаратор також бажано встановити після компресора для додаткового видалення води. Компресором 10 газ нагнітається в газові балони, з яких подається в котел спалювання 13, в якому підігрівається вода для нагрівання приміщення або у газові плити. Частина газу після компресора К подають в метанатор для перемішування реакційної маси. Для підтримання необхідної температури в теплообмінник метанатору при необхідності передбачено подачу гарячої води з котла 13 насосом 16. Цим же насосом стимулюють циркуляцію води в системі підігрівання приміщення та в регенераторі 19 абсорбенту. Окремим насосом 17 чи вручну періодично абсорбент з колонки 7 подають в регенератор 19, в якому з абсорбенту за рахунок нагрівання водою з котла видаляють абсорбований газ. Абсорбент після регенератора подають в колонку абсорбції. Після того, як

процес утворення газу закінчився, твердий осад вивантажують і завантажують нову порцію сировини в таку кількість, щоб вологість була не менше 90 %. Процес протікає ефективніше тоді, коли сировину завантажують щодобово. Твердий осад використовують як органічне добриво. В найбільш простому варіанті (1-3 приватних господарства) біогаз зразу збирають в газгольдері, з якого по трубі його подають в сепаратор, де відділяється сконденсована вода, а потім - в горілки плити, духовки, котла.

Більш ефективна технологія полягає в тому, що частину одержаного біогазу подають не в котел 13, а в газотурбінний двигун (автомобільний, тракторний двигун і т. п.) з генератором струму 15. Воду, яка охолоджує двигун, використовують для підтримання температури в приміщенні, а електроенергію використовують за призначенням. Коефіцієнт корисної дії такої технології може перевищувати 85 %. При використанні не досить якісного біогазу його якість можна збільшувати змішуванням з природним газом, виходячи з того, що 1 м<sup>3</sup> біогазу рівноцінний 0,7 м<sup>3</sup> природного газу.

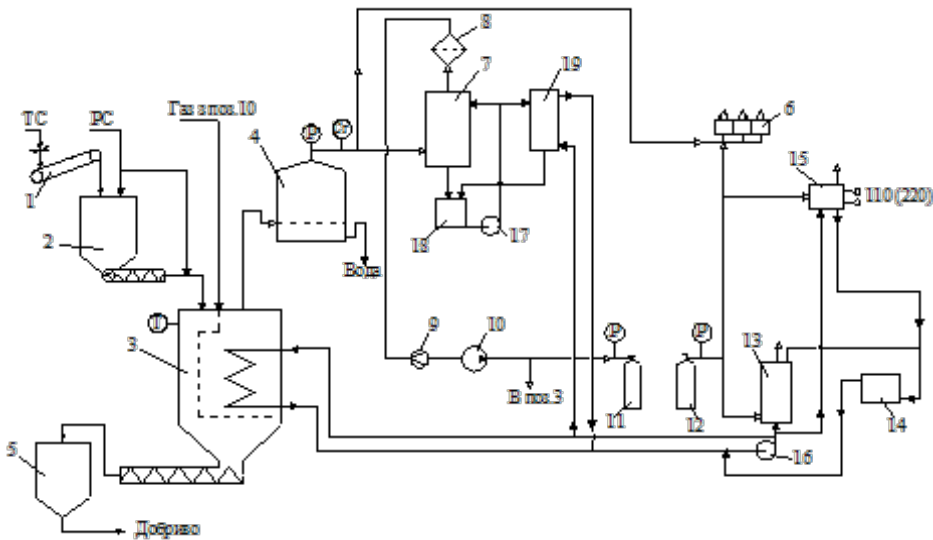


Рис. 1 – Технологічна схема одержання і споживання біогазу:

1 – транспортер; 2 – бункер сировини; 3 – метанатор; 4 – газгольдер; 5 – бункер відходів осаду; 6 – газові горілки; 7 – адсорбційна колонка; 8 – фільтр-сепаратор; 9 – лічильник газу; 10 – компресор; 11, 12 – система балонів; 13 – котел спалювання; 14 – система теплоспоживання; 15 – двигун-генератор; 16, 17 – насоси; 18 – бак абсорбенту; 19 – регенератор; TC – тверда сировина; PC – рідка сировина, Сг – вимірювач концентрації CH<sub>4</sub> та H<sub>2</sub>S.

Для оцінки кількості утворюваного газу використовують такі співвідношення: 1 корова  $\approx$  5 телят  $\approx$  6 свиней  $\approx$  250 курок можуть забезпечувати  $\approx$  1,5 м<sup>3</sup> газу/добу.

Основним апаратом для здійснення технології є метанатор. Об'єм метанатора залежить від кількості утворюваного біогазу і може змінюватись від 10 м<sup>3</sup>- 25 м<sup>3</sup> для індивідуальних господарств до 500 м<sup>3</sup> і більше для тваринницьких ферм, птахофабрик, вівчарень, заводів по переробці міських відходів. У першому випадку розміри метанатора вибирають 2×2×2-3 м або діаметром  $\approx$  4 м та глибиною 2 м, зовнішні стінки яких повинні бути ізольовані, наприклад землею для підтримання необхідної температури, особливо взимку. Внутрішні стінки повинні бути

виготовлені з корозійно стійкого матеріалу чи покриті корозійно стійким матеріалом тому, що в процесі бродіння утворюються паралельно з метаном корозійно агресивні двоокис вуглецю та сірководень. Барботажна труба для перемішування і змішувик для підтримання температури можуть бути опущені через верхню горловину, якщо не має можливості забезпечити метанатор оболонкою. Такі метанатори можуть забезпечити потреби 1- 3 типових сільських садиб.

Промислові метанатори об'ємом 200 м<sup>3</sup> виробляють 150-240 м<sup>3</sup> біогазу в добу. Для забезпечення безперервності потрібно встановлювати 2 таких реактори, що крім того дозволяє одержувати подвійний об'єм біогазу. Для цього потрібно щоб на фермі було  $\approx$  35000 курей,  $\approx$  1500 свиней чи  $\approx$  200 корів. Необхідно підкреслити те, що з 1 м<sup>3</sup> робочого об'єму метанатора можна одержувати 5 м<sup>3</sup> (відходи корів) -10 м<sup>3</sup> (відходи курей) біогазу з питомою теплотою згоряння 22900 – 27170 кДж/м<sup>3</sup>[5]. Використання суміші органічних речовин дозволяє одержувати більше біогазу, ніж з одного виду сировини. Тому як сировину також вигідно використовувати відходи цукрових заводів, до складу яких зокрема входять сірковмісні речовини.

З викладеного витікає те, що для того щоб створити виробництво біогазу потрібно: ємності сировини, транспортер, метанатор, насоси для завантаження сировини, газгольдер, теплообмінник для підігрівання, сепаратор для відділення води, компресор, балони для газу чи водогрійний котел чи двигун-генератор, абсорбер сірководню (для сірковмісної сировини), бак для осаду, труби металеві чи з пластику або резини, теплоізоляція, прилади для контролю тиску, температури, об'єму газу та концентрації метану, сірководню, вологи. Приміщення каркасного типу для розміщення обладнання. Залежно від продуктивності і призначення біогазу комплектність установки може бути відкорегована.

**Висновки:** 1. Розглянута технологія одержання біогазу з відходів тваринництва та органічної сировини і показано, що в залежності від сировини, крім метану, в ньому присутні діоксид вуглецю, волога, а в деяких випадках і сірководень. 2. Запропонована технологічна схема одержання біогазу, яка може бути використана як промисловими потужними, так і мілкими приватними підприємствами. 3. Приведено характеристику основного обладнання - метанатору та умови, при яких в ньому утворюється біогаз з концентрацією метану 55-75 % об. та 25-45 % об. діоксиду вуглецю.

4. Показано, що біогаз може бути використаний не тільки для одержання тепла, але й електричної енергії, що значно підвищує коефіцієнт корисної дії.

5. Надано перелік засобів контролю, які необхідні для здійснення технологічного процесу в оптимальному режимі.

**Список літератури:** 1. А. П. Мельник, Я. И. Сенишин. Перспективи одержання похідних вуглеводнів і паливного газу з вітчизняної сировини// Питання розвитку газової промисловості України.- Х.:УкрНДІгаз, 2007.- В 35.-С. 81-86. 2. Р. С. Gilcrease, G. W. Shur. Биогенный метан – энергоресурс будущего// Нефтегазовые технологии. -2008. -№3.-С.16-19. 2. Експлуатаційникові газонафтового комплексу. Довідник//В.В.Розгонюк, Л.А.Хачикян, М.А.Григіль. – Київ: Росток, 1998.-408 с. 3. А. Кулик. Биогаз: топливо будущего// Нефть и газ.- 2008.- №1.-С. 62-76. 4. А. К. Карапетьянц. Термодинамические величины неорганических и органических соединений. Справочник. М.: Химия, 1981.- 580 с.

*Поступила до редколегії 29.10.2009*