

УДК

Соловей О.І., Харитоненкова Ю.М.

Інститут Енергозбереження та Енергоменеджменту НТУУ 'КПІ'

Україна, м.Київ, вул.Борщагівська,115, 03056

Моб. телефон: 0999559337 , E-mail: julia290189@gmail.com

Біогазові установки

Анотація — розглянуто складання цільової функції, розрахунок мінімальних витрат біогазової установки на прикладі птахофабрики, принцип роботи біогазової установки. *Ключові слова* — екологія довкілля, біопаливо, біогаз, біомаса, енергетичні ресурси.

Аннотация — рассмотрено составление целевой функции, расчет минимальных расходов биогазовой установки, на примере птицефабрики, принцип работы биогазовой установки. *Ключевые слова* — экология окружающей среды, биотопливо, биогаз, биомасса, энергетические ресурсы.

Abstract - The preparation of the target function, the calculation of minimum cost biogas plant on the example of poultry, the principle of the biogas plant. *Key words* - ecology, biofuels, biogas, biomass energy resources.

Такі потрясіння, як енергетична криза 1973 року і Чорнобильська катастрофа 1986 року, змусили більшість країн переглянути свою енергетичну політику відносно темпів і перспектив використання поновлюваних джерел енергії.

Стало ясно, що недостатньо розвинути екологічно чисту енергетику тільки у своїй країні, коли сусідні країни продовжують будівництво й експлуатацію атомних об'єктів, подібних по надійності четвертому блоку Чорнобильської АЕС. Необхідно об'єднання зусиль вчених різних країн в галузі розвитку нетрадиційної енергетики.

Негативні тенденції розвитку традиційної енергетики обумовлені в основному наявністю двох факторів - швидким виснаженням природних ресурсів і забрудненням навколишнього середовища. За даними ООН, виснаження покладів вугілля передбачається в 2082-2500 роках [6].

Перспективні технології традиційної енергетики підвищують ефективність використання енергоносіїв, але не поліпшують екологічну ситуацію: теплове, хімічне й радіоактивне забруднення навколишнього середовища може привести до катастрофічних наслідків.

У зв'язку із цим виникає необхідність виявлення можливостей раціонального використання ресурсів традиційної енергетики з однієї сторони й розвиток науково-технічних робіт з використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії - з іншої [2].

Всі енергетичні ресурси на Землі є в остаточному підсумку продуктами діяльності Сонця. Практично вся нетрадиційна енергетика - це перетворення й використання енергії Сонця прямими й непрямими методами.

Ефективним поновлюваним джерелом енергії є біомаса.

Встановлено, що ресурси біомаси в різних видах є майже у всіх регіонах, і майже в кожному з них може бути налагоджена їх переробка в енергію й паливо.

На сучасному рівні за рахунок біомаси можна перекрити 6-10% від загальної кількості енергетичних потреб промислово розвинених країн [2,6].

Щорічно на Землі за допомогою фотосинтезу утворюється близько 120 млрд. т сухої органічної речовини, що енергетично еквівалентно більш 400 млрд. т нафти [5].

У цілому біомаса дає сьому частину світового об'єму палива, а по кількості отриманої енергії займає поряд із природним газом третє місце. З біомаси одержують в 4 рази більше

енергії, ніж дає ядерна енергетика [1].

Виробництво біогазу дозволяє запобігти викидам метану в атмосферу. Метан впливає на парниковий ефект в 21 раз більш сильно, ніж CO_2 , і перебуває в атмосфері 12 років. Уловлювання метану - кращий короткостроковий спосіб запобігання глобального потепління [6].

Встановлено, що: теплотворна здатність біогазу 5,0-5,5 тис.ккал/ м^3 або 22 МДж/ м^3 ; при розкладанні 1 м^3 твердих побутових відходів виділяється до 1,5 м^3 /рік біогазу в перші 15-20 років. Потім інтенсивність його виділення різко скорочується; кількість електроенергії, яку можна одержати з 1 м^3 біогазу дорівнює 1,8 кВт·год [7].

У дійсний час існує багато проектів наукових і виробничих установ, що впроваджені у експлуатацію: проект інституту "Укркомундипрогрес" м. Харків (збору і утилізації біогазу з полігонів ТПВ) [8]; разом з московсько-голландською фірмою «Геополіс» підприємство «Еко-Самара» розробило оригінальний проект зі збору та утилізації біогазу на міському полігоні твердих побутових відходів «Преображенка». Робота була вкрай актуальна через вибухонебезпечність на полігоні [8]; ТОВ "Зорг Україна" (Київ) будує на м'ясокомбінаті ТОВ "Векка" (Одеська область) першу в країні установку з виробництва газу з відходів забійного цеху [8].

У зв'язку з різким загостренням енергетичної кризи в Україні, а також погіршенням економічної обстановки, все більш актуальним стає вирішення питань залучення в народне господарство нетрадиційних джерел енергії, одним із яких є біогаз, що утворюється на смітниках і полігонах твердих побутових відходів (ТПВ) в результаті анаеробного розкладання органічних складових похованих побутових відходів.

Основними джерелами біогазу є такі фракції сміття як харчові відходи, папір, деревина, текстиль.

Відходи сільського господарства й харчової промисловості також дозволяють одержувати енергію.

Основна частина. Біогаз - це газ, що утворюється метановим зброджуванням біомаси. Розкладання біомаси на компоненти відбувається під впливом 3-х видів бактерій. У ланцюжку харчування наступні бактерії харчуються продуктами життєдіяльності попередніх. Перший вид - бактерії гідролізи, другий кислотоутворюючі, третій - метаноутворюючі. У виробництві біогазу беруть участь не тільки бактерії класу метаногенів, а всі три види.

Склад біогазу: 55-75% метану, 25-45% CO_2 , незначні домішки H_2 і H_2S [3]. Після очищення біогазу від CO_2 виходить біометан. Біометан є повним аналогом природного газу. Відмінність тільки в походженні.

Сировиною для одержання є органічні відходи (гній, зернова й мелясна післяспиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, фекальні осади, відходи рибних і забійних цехів (кров, жир, кишки, канига), трава, побутові відходи, відходи молокозаводу - лактоза, молочна сироватка, відходи виробництва біодизеля - технічний гліцерин від виробництва біодизеля з рапсу, відходи від виробництва соків - жом фруктовий, ягідний, виноградна вижимка, водорості, відходи виробництва крохмалю й патоки - мезга й сироп, відходи переробки картоплі, виробництва чіпсів - очистки, шкурки, гнилі бульби.

Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини й виду використовуваної сировини. біогазу [5].

У нетрадиційній енергетиці особливе місце займає переробка біомаси (органічних сільськогосподарських і побутових відходів) метановим зброджуванням з одержанням, біогазу, що містить близько 70% метану, і незаражених органічних добрив. Надзвичайно важлива утилізація біомаси в сільському господарстві, де на різні технологічні потреби витрачається велика кількість палива й безупинно зростає потреба у високоякісних

добривах. Усього у світі в дійсний час використовується або розробляється біля 60 різновидів біогазових технологій [7].

Дуже важливим достоїнством процесу переробки біомаси є те, що в його відходах утримується значно менше хвороботвірних мікроорганізмів, ніж у вихідному матеріалі.

Одержання біогазу економічно виправдано і є кращим при переробці постійного потоку відходів (стоки тваринницьких ферм, боєнь, рослинних відходів і т.д.). Економічність полягає в тому, що відсутня потреба в попередньому зборі відходів, в організації й управлінні їхньою подачею; при цьому відомо, скільки й коли буде отримано відходів.

Переробка відходів на біогазових установках дозволяє одержати: біогаз, електроенергію, тепло, біодобрива, утилізацію або очищення, паливо для автомобілів.

Біогаз, що утворюється у процесі зброджування з біовідходів, може використовуватися як і звичайний природний газ для обігріву, виробітку електроенергії. Його можна стискати, використовувати для заправлення автомобіля, накопичувати, перекачувати.

Із 1 м³ біогазу можна виробити 2 кВт·год електроенергії. Електрика утворюється без перепадів, як у суспільній мережі. Для роботи когенераційної установки біогаз очищається від сірки й вологи. В установці від охолодження електрогенератора виробляється тепло без додаткового спалювання газу.

Тепло можна одержувати при охолодженні двигуна в когенераційній установці (обладнання для комбінованого виробництва електроенергії й тепла). Так само біогаз можна просто спалювати. Як варіант, тепло може використовуватися для приведення в дію випарників рефрижераторів, для обігріву приміщень, технологічних цілей, одержання пари.

Переброжена маса - це екологічно чисті рідкі й тверді добрива (біогумус).

Біогазова технологія дозволяє прискорено одержати за допомогою анаеробного зброджування натуральне біодобриво, що містить біологічно активні речовини й мікроелементи. Основною перевагою біодобрив у порівнянні із традиційними добривами, є форма, доступність і збалансованість всіх елементів живлення, високий рівень гуміфікації органічної речовини.

Органічна речовина служить потужним енергетичним матеріалом для ґрунтових мікроорганізмів, тому після внесення в ґрунті відбувається активізація азотофіксуючих і інших мікробіологічних процесів.

Фактори, перераховані вище, позитивно впливають на ґрунт, поліпшують його фізико-механічні властивості, і як наслідок при використанні збалансованих біодобрив після біогазової установки, урожайність підвищується на 30-50% [4].

Біогаз після очищення від CO₂ - це метан, яким заправляють автомобілі. Для заправлення автомобілів встановлюється додаткова система очищення біогазу до біометану. Після такого очищення, отриманий газ - це аналог природного газу (90-95% метану СН₄ тільки різниця в його походженні. Таким метаном можна й варто заправляти техніку.

Сьогодні вже існує величезна мережа метанових заправних станцій. В умовах подорожчання дизельного палива використання метану стає більш вигідним. За своїми характеристиками 1 м³ метану - еквівалент 1 л солярки [1].

При очищенні біогазу на тому ж обладнанні, крім метану, виходить CO₂, який залежно від потреб можна одержати в газоподібному або зрідженому стані. Цей газ є товаром і теж іде в прибуток.

Біогазова установка - це сама активна система очищення.

Будь-які інші системи очищення споживають енергію, а не виробляють. Продукти будь-якої системи очищення потрібно ще продавати, а продукт біогазової установки потрібний підприємству самому.

Оскільки процес відбувається без доступу повітря (ферментатори повністю

герметичні), то запахи при переробці не поширюються.

Біогазова установка дозволяє усунути основну масу забруднюючих органічних речовин, тому після установки відходи не мають огідного специфічного запаху.

Після звичайних систем очищення відходи так і залишаються відходами. Після біогазової установки - це високоякісні добрива.

Одержання біогазу, можливе в установках самих різних масштабів, особливо ефективно на агропромислових комплексах, де існує можливість повного екологічного циклу.

Принцип роботи біогазової установки розглянемо на прикладі установки ZORG™.

Рідкі біовідходи перекачуються в біогазову установку фекальними насосами по бардопроводу або трубопроводу гноєвидалення. Рідкі відходи попадають не прямо в реактор, а в попередню ємність. У цій ємності відбувається гомогенізація маси й підігрів (іноді охолодження) до необхідної температури. Звичайний об'єм такої ємності на 2-3 дня. Тверді відходи (наприклад, гній) доставляються по транспортерній стрічці, а із сховища гною - трактором. Тверді відходи можуть завантажуватися в ємність із рідкими відходами й перемішуватися з ними. Або тверді відходи завантажуються в спеціальний шнековий завантажник.

З ємності гомогенізації й завантажника твердих відходів біомаса (гній або барда) надходить у реактор (інша назва біореактор, метантенк, ферментатор). Реактор є газонепроникним, повністю герметичним резервуаром з кислотостійкого залізобетону. Всередині реактора (метантенка, ферментатора) підтримується фіксована для мікроорганізмів температура. Температура в реакторі мезофільна (30-41°C). В окремих випадках застосовуються реактори з термофільним режимом (близько 55°C).

Перемішування біомаси усередині реактора провадиться декількома способами. Спосіб перемішування вибирається залежно від типу сировини, вологості й інших параметрів. Термін служби реактора більш 25-30 років. Підігрів реактора ведеться теплою водою.

Якщо біогазова установка комплектується когенераційною установкою (теплоелектрогенератором), то вода від охолодження генератора використовується для підігріву реактора. Вода спеціально підготовлена й рециркуляційна.

У зимовий період для роботи біогазової установки потрібно до 70% вторинного тепла, відведеного від теплоелектрогенератора. У літній період - близько 10%.

Якщо біогазова установка працює тільки на виробництво газу, тоді тепла вода береться від спеціально встановленого водогрійного казана. Витрати теплової й електричної енергії на потреби самої установки становлять від 5 до 15% всієї енергії, що дає біогазова установка.

Середній час гідравлічного відстоювання усередині реактора (залежно від субстратів) - 20-40 днів. Протягом цього часу органічні речовини усередині біомаси метаболізуються (перетворюються) мікроорганізмами (для кукурудзяного силосу період шумування складає 70-160 днів). Період шумування визначає об'єм реактора.

Всю роботу із шумування відходів проробляють анаеробні мікроорганізми. У біореактор мікроорганізми вводяться один раз при першому запуску. Далі ніяких добавок мікроорганізмів і додаткових витрат не потрібно.

У гної мікроби присутні й потрапляють у нього ще з кишечника тварин. Ці мікроорганізми корисні й не приносять шкоди людині або тваринам. До того ж реактор - це герметична система. Тому реактори, а точніше їх назвати ферментерами, розташовуються в безпосередній близькості від ферми або виробництва.

На виході маємо два продукти: біогаз й біодобрива (компостируваний і рідкий субстрат).[4]

Біогаз зберігається в ємності для зберігання газу - газгольдері. Тут у газгольдері вирівнюються тиск і склад газу. Термін служби газгольдера 15 років. Газгольдер герметично накриває реактор зверху. Над газгольдером накривається додатково тентове накриття. У простір між газгольдером і тентом накачується повітря для створення тиску й теплоізоляції. Запас об'єму газгольдерів звичайно на 0,5-1 день.

З газгольдера йде безперервна подача біогазу в газовий або дизель-газовий теплоелектрогенератор. Тут уже виробляється тепло й електрика. Великі біогазові установки мають аварійні смолоскипові установки на той випадок, якщо двигун/двигуни не працюють і біогаз треба спалити. Газова система може містити в собі вентилятор, конденсаторвідводчик, десульфурізатор і т.п.

Всією системою управляє система автоматики. Система контролює роботу насосної станції, мішалок, системи підігріву, газової автоматики, генератора. Для управління досить усього 2 чол.-год на день. Ця людина веде контроль за допомогою звичайного комп'ютера. Після двотижневого навчання на установці може працювати людина без особливих навичок, тобто після училища.

Маса, що перебродила, - це біодобрива, готові до використання. Рідкі біодобрива відділяються від твердих за допомогою сепаратора й зберігаються в ємності для зберігання біодобрив. З ємності зберігання рідких добрив насосами маса перекачується в бочки-причепи й вивозиться на поля або на продаж. Як варіант можлива комплектація біогазової установки лінією фасування й упакування біодобрив у склянки по 0,3; 0,5, 1,0 л.

Тверді добрива зберігаються на спеціальній ділянці. Якщо біодобрива не представляють ніякого інтересу для власника й потрібно позбутися від рідкого субстрату, тоді біогазова установка комплектується пристроями з додатковими ступенями очищення.

Висновки. Ефективне управління переробкою відходів дозволяє не тільки запобігти деградації й знищення природних комплексів, але й оздоровити соціально-економічну ситуацію в регіоні. Грамотне управління відходами спричиняє: поліпшення екологічної обстановки й здоров'я населення; створення нових підприємств і додаткових робочих місць; скорочення відчуження земель під смітники.

Біогазову установку доцільно будувати:

- Сільськогосподарським підприємствам: свинофермам; фермам КРХ; птахофабрикам; рослинницьким підприємствам; підприємствам змішаного типу.
- Переробним підприємствам: спиртовим і біоетанольним заводам; пивоварним заводам; цукровим заводам; м'ясокомбінатам; ветеринарно-санітарним заводам; крохмальнопаточним заводам; заводам з виробництва дріжджів; молокозаводам; хлібобулочним комбінатам; заводам з виробництва чіпсів і переробці картоплі; виробникам соків і консервів; виноробам; рибним цехам.
- Тепличним господарствам.
- Виробникам біодизеля.
- Сміттєпереробним підприємствам.
- Комунальним підприємствам, міським очисним спорудженням.

Приведемо приклад складання цільової функції та розрахунок мінімальних витрат біогазової установки на прикладі птахофабрики.

Складемо цільову функцію для річного споживання енергоресурсів підприємства:

$$B = \sum Q_{\text{ел}} \cdot c_1 + \sum Q_{\text{тепл}} \cdot c_2 \rightarrow \min ,$$

де $\sum Q_{\text{ел}}$ - це сума спожитої електроенергії за рік на птахофабриці;

$\sum Q_{\text{тепл}}$ - сума спожитої теплової енергії за рік;

c_1, c_2 - тарифи на електричну та теплову енергії.

$$F_{\text{ресурс}} = \sum Q_{\text{ел}} + \sum Q_{\text{тепл}} = \text{const} ,$$

де $F_{\text{ресурс}}$ – це постійна величина спожитої активної електроенергії та газу.

Запишем формулу:

$$\sum Q_{\text{ел}} = Q_{\text{ел1}} + Q_{\text{ел2}} + Q_{\text{ел3}} + Q_{\text{ел4}} + Q_{\text{ел5}},$$

де $Q_{\text{ел1}}$ - річне споживання активної електроенергії на забійному цеху;

$Q_{\text{ел2}}$ - річне споживання активної електроенергії на інкубаторному цеху;

$Q_{\text{ел3}}$ - річне споживання активної електроенергії на бригаді вирощування птиці;

$Q_{\text{ел4}}$ - річне споживання активної електроенергії на очисних спорудах;

$Q_{\text{ел5}}$ - річне споживання активної електроенергії на адміністративних та побутових приміщеннях.

$$\sum Q_{\text{ел}} = 29541885,89 + 4152036,24 + 28574999,04 + 2793602,852 + 789697,98 = 65852222 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік}$$

$$\sum Q_{\text{тепл}} = Q_{\text{тепл1}} + Q_{\text{тепл2}} + Q_{\text{тепл3}} + Q_{\text{тепл4}},$$

де $Q_{\text{тепл1}}$ - обсяг виробленої теплової енергії котельнею комплексу забою птиці;

$Q_{\text{тепл2}}$ - обсяг виробленої теплової енергії котельнею інкубаційно-птахівничої станції ;

$Q_{\text{тепл3}}$ - обсяг виробленої теплової енергії модульними котельнями;

$Q_{\text{тепл4}}$ - обсяг виробленої теплової енергії теплогенераторами;

$$\sum Q_{\text{ел}} = 10\,002\,928,67 + 1\,127\,887,2 + 260\,284,86 + 28\,264\,906,25 = 39\,656\,006,98$$

кг у.п./рік

Після того, як складена цільова функція, розрахуємо витрати на птахофабриці.

Вихід біогазу складає $1\,803\,100 \text{ м}^3/\text{рік}$, або $2163,72 \text{ т у.п.}$

$$B = \sum Q_{\text{ел}} \cdot c_1 + \sum Q_{\text{тепл}} \cdot c_2 + \sum Q_{\text{біогаз}} \cdot c_3$$

Всі одиниці вимірювання приводимо до однієї, тобто т у.п., $1 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 398 \text{ г у.п.}$, а для отримання 1000 м^3 газу треба $1,2 \text{ т у.п.}$

За рахунок використання біогазової установки можемо мінімізувати затрати, розглянемо декілька варіантів, наприклад 25% скомпенсуємо електричної енергії, а 75% газу, тоді отримаємо:

$$Q'_{\text{ел}} = Q_{\text{ел}} - 0,25Q_{\text{біогаз}},$$

$$Q'_{\text{газ}} = Q_{\text{газ}} - 0,75Q_{\text{біогаз}},$$

$$Q_{\text{біогаз}} = Q'_{\text{ел}} + Q'_{\text{газ}}.$$

Підставляємо данні в формулу:

$$Q'_{\text{ел}} = 26235,53 - 0,25 \cdot 2163,72 = 25694,6 \text{ т у.п.},$$

$$Q'_{\text{газ}} = 39656 - 0,75 \cdot 2163,72 = 38033,21 \text{ т у.п.}$$

Всі подальші розрахунки зведемо до таблиці 1 та таблиці 2.

Таблиця 1 – Розрахунок електричної енергії

%	25	75	50	30	70	100	0
$Q'_{\text{ел}}$, т у.п.	25 694,60	24 612,74	25 153,67	25 586,41	24 720,93	24 071,81	26235,53

Таблиця 2 – Розрахунок споживання газу

%	25	75	50	30	70	100	0
$Q'_{\text{газ}}$, т у.п.	38 033,21	39 115,07	38 574,14	38 141,40	39 006,88	39656	37492,28

Зробимо перерахунок в $\text{кВт}\cdot\text{год}$ та м^3 , та занесем їх до таблиці 3

Таблиця 3 – Перерахунок т у.п. в кВт·год та м³

№ п.п.	Q _{ел} , кВт·год	Q _{газ} , м ³
1	64 494 477,91	31 694 341,67
2	61 778 965,86	32 595 891,67
3	63 136 721,89	32 145 116,67
4	64 222 926,71	31 784 496,67
5	62 050 517,07	32 505 736,67
6	60 421 209,84	33 046 666,67
7	65 852 233,94	31 243 566,67

Тепер зробимо розрахунок витрат за формулою:

$$B = \sum Q_{ел} \cdot c_1 + \sum Q_{тепл} \cdot c_2 + B_{експ},$$

де B_{експ} – це щорічні витрати на експлуатацію біогазової установки;

c₁ = 1,117 грн/кВт·год;

c₂ = 5,289 грн за 1 м³ за прогнозом на 2015 рік.

$$B_1 = 64\,494\,477,91 \cdot 1,117 + 31\,694\,341,67 \cdot 5,289 + 18\,757\,648,25 = 258\,430\,477,17 \text{ грн}$$

Всі подальші розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4 – Розрахунок мінімальних витрат

Витрати	грн
B ₁	258 430 477,17
B ₂	260 166 171,65
B ₃	259 298 324,41
B ₄	258 604 046,62
B ₅	259 992 602,20
B ₆	261 034 018,88
B ₇	257 562 629,94

З таблиці 4 видно, що B₇ є мінімальними витратами, тобто коли ми 100% Q_{біогаз} використовуємо на тепло.

Термін окупності:

$$T = \Delta K / \Delta B = 18\,757\,648,25 / 11\,826\,454,1 = 1,58 \text{ роки } 11 \text{ місяців}$$

де ΔK – це вартість біогазової усановки, ΔB – річна економія.

Література

1. Перегудов С. Банк отходов / С. Перегудов // Агротехника и технологии. - 2009. - №10. - С.56-60.
2. Отчет по проекту «Оценка потребностей местных сообществ» в Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды / Р. Сабитов.- Август, 2001. - С. 3.
3. Тодорова Н. Энергия... из мусорной кучи? / Н. Тодорова // Казахстанская правда.- 2001.-

№ 192.

4. Управление сельскохозяйственными отходами в Украине (Украина) / Национальный отчет (2000-2008).

5. Экологические системы // Электронный журнал энергосервисной компании. - 2008.- №2.
Интернет-ресурси:

6. <http://www.ecologylife.ru> .

7. www.ecologylife.ru/utilizatsiya-2003 .

8. www.rav.com.ua/ru/news/company/archive/2008-/22 .