

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Тимошик А.М., Ціж Б. Р.,
Варивода Ю.Ю., Чохань М.І.

Виробництво біогазу

Навчальний посібник для студентів вищих
навчальних закладів очної та заочної форм
навчання спеціальності 181 «Харчові технології»

Львів – 2019

УДК 620.95:631.17 (075.8)
ББК з361я73–1
Т414

Рецензенти:

Праховник А.В., доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, директор Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

Желих В.М., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплогазопостачання і вентиляції Національного університету «Львівська політехніка»

Тимошик А.М., Ціж Б.Р., Варивода Ю.Ю., Чохань М.І. Виробництво біогазу. Навчальний посібник. – Львів: В-во ЛНУВМ та БТ ім. С.З. Гжицького, 2019. – 52 с., 13 іл.

В даному навчальному посібнику розглядаються конструкційні схеми та принципи роботи побутових та промислових біогазових установок, які використовуються для виробництва біогазу та утилізації органічних відходів, а також висвітлено деякі можливості підвищення ефективності їх роботи.

Посібник розрахований на студентів вищих закладів освіти технічних і технологічних спеціальностей.

Лл. 13. Бібліогр: 22 назв.

Рекомендовано методичною комісією факультету харчових технологій та біотехнології ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького для студентів всіх форм навчання спеціальності 181 «Харчові технології».

© Тимошик А.М., Ціж Б.Р., Варивода Ю.Ю., Чохань М.І., 2019

ВСТУП

Розділ «Виробництво біогазу» є складовою частиною навчальної дисципліни «Сучасні методи енергозабезпечення підприємств галузі» яка викладається для студентів напрямку «Харчова інженерія» – майбутніх інженерів-технологів харчових галузей.

Метою технічного прогресу завжди було покращення середовища існування і створення комфортних умов для людини. Однак, коли розвиток технології починає негативно впливати на стан довкілля, виникає сумнів щодо його доцільності і постає потреба використання екологобезпечних та енергоощадних способів і в першу чергу відновлювальних, альтернативних джерел енергії. Одним із таких перспективних напрямів, який швидко розвивається є виробництво біогазу.

Останнім часом в Україні спостерігається створення фермерських господарств та невеликих переробних підприємств. Актуальною задачею є забезпечення таких господарств енергетичними ресурсами. Особливо гостро така проблема стоїть в районах не оснащених підведенням газу. В Україні 2 мільйони сіл не газифіковані. Ще одна сторона проблеми – екологічна. Відбувається забруднення навколишнього середовища відходами тваринництва, птахівництва, переробних підприємств тощо. Це пов'язане з утилізацією і переробкою великих об'ємів природних продуктів тваринного і рослинного походження, насамперед гною, а також інших органічних речовин. Накопичення стоків забруднює атмосферу, ґрунт та воду і в даний час кількість таких відходів настільки велика, що виникає небезпека екологічної катастрофи.

На даний час в тваринництві застосовуються різні технологічні схеми видалення і обробки відходів, але всі вони пов'язані з їх тривалим зберіганням або вивозом на поля без належної обробки. Поблизу тваринницьких ком-

плексів утворюються зони підвищеного забруднення. При цьому рідка частина стоків безконтрольно проникає в ґрунтові води, розповсюджується по водоносних горизонтах і забруднює їх, а вивіз відходів на поля без попередньої обробки призводить до засмічення і закислення ґрунтів, порушує їх структуру і змушує масово використовувати гербіциди. Крім того, гній містить токсичні сполуки і хвороботворні бактерії, включаючи патогенну мікрофлору. У результаті використання продуктів, вирощених на забруднених ґрунтах, і води з колодязів та водоймищ стає причиною зростання захворюваності людей і тварин. Такий стан стимулює застосування екологічнобезпечних технологій, в т.ч. використання установок для виробництва біогазу.

В даному навчальному посібнику розглядаються конструкційні схеми та принципи роботи побутових та промислових біогазових установок, які використовуються для виробництва біогазу та утилізації органічних відходів, а також висвітлюються деякі можливості підвищення ефективності їх роботи. У зв'язку з цим даний розділ є обов'язковим для вивчення і включений в питання поточного, модульного і підсумкового контролю.

Даний навчальний посібник складається із вступу, теоретичної змістової частини, завдань та запитань для самостійного контролю і списку використаної літератури.

1. Загальні відомості

Біогазова технологія є одним із шляхів утилізації сільськогосподарських відходів і дає змогу разом із розв'язанням екологічної проблеми отримувати високоефективні органічні добрива та енергію у вигляді біогазу. Останнім часом цей напрям дістав широкого розвитку, особливо в країнах Західної Європи. Значний інтерес до розробки та реалізації біогазових установок у західних країнах зумовлений, насамперед, дієвим екологічним законодавством і державним дотуванням впровадження нетрадиційних відновлювальних джерел енергії, а також введенням світових квот на забруднення навколишнього середовища метаном.

Даний напрям забезпечується створенням сучасних високопродуктивних повнокомплектних біогазових установок на основі новітніх удосконалених конструкцій біореакторів, сучасних автоматизованих систем керування технологічним процесом, високоефективного теплотехнічного, електротехнічного і технологічного обладнання.

Біогаз – це суміш метану і вуглекислого газу, що утворюється під час анаеробного бродіння органічних речовин під дією мікроорганізмів (метаногенів). Це було встановлено в 1906 р. на основі досліджень голандського вченого Н. М. Зьонгена, хоча ще в 1776 р. А. Вольтою повідомлялось про наявність метану в біологічному газі і про метанове бродіння (біометаногенез). Вивчення основ перебігу спонтанного анаеробного процесу в природі привело з часом до створення керованих людиною технологій перероблення різних органічних відходів.

Біогазова установка виробляє паливо (біогаз) та біодобрива з будь-яких органічних відходів шляхом безкисневого бродіння. У сучасних біогазових установках усі процеси автоматизовані. Для роботи установки великої по-

тужності вистачить одного робітника, який працюватиме дві години в день.

Така установка виконує також роль очисних споруд, знижуючи хімічне та бактеріологічне забруднення ґрунту, води, повітря та переробляючи органічні відходи на високоякісні органічні добрива. В біогазовій установці процес перетворення гною на органічне добриво триває рекордно короткий час – у середньому один місяць.

Сировиною для виробництва біогазу можуть бути різні відходи сільгоспвиробництва: гній великої рогатої худоби (ВРХ) та свиней, курячий послід, інші види гною, силос, відходи боєнь (кров, жир, кістки, канига, рештки м'яса та шкіри), відходи харчової промисловості, відходи садівництва, солодовий осад, вижимка, жом після виробництва цукру, барда зернова після виробництва спирту тощо.

Використання біогазових установок позитивно впливає на здоров'я людей та тварин, зокрема зменшується захворюваність, оскільки навколишнє середовище не забруднюється відходами сільськогосподарського та переробного виробництва.

В процесі бродіння гною та органічних відходів утворюється паливо (біогаз), яке може використовуватися безпосередньо для внутрішніх потреб господарства: для обігріву приміщень, виробництва електроенергії та ін. Крім цього, якщо його очистити, отримують біометан, яким можна безпечно заправляти автомобілі.

Замість того, щоби вкладати великі кошти у будівництво мережі газопроводів, можна встановити біогазову установку, яка обійдеться набагато дешевше. Окрім цього, газ із біогазової установки завжди безкоштовний, у той час як за використаний природний газ із газопроводу потрібно постійно платити.

Тепло від охолодження генератора або від згоряння біогазу можна використовувати для обігріву житлових бу-

динків, адміністративних приміщень, ферм тощо. Воно може використовуватись також для сушіння насіння, кип'ятіння води для утримання худоби та інших потреб.

У результаті бродіння отримуються екологічно чисті рідкі або тверді біодобрива, позбавлені специфічних запахів, в яких не міститься нітратів, насіння бур'янів, патогенної мікрофлори, яєць гельмінтів. У разі використання таких збалансованих біодобрив урожайність сільгоспкультур підвищується на 30...50 %. Разом з цим поліпшується структура та родючість ґрунту, оскільки у ньому збільшується вміст гумусу.

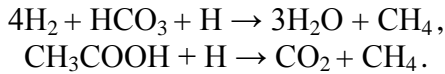
У звичайному гної мінералізація складає приблизно 40 %, причому мінерали тут зв'язані з органікою і тому засвоюються рослинами гірше. Натомість у перебродженій масі мінералізація складає 60 %, і мінерали переходять у форму, доступну рослинам. Слід ще зазначити, що під час традиційного зберігання гною, яке триває дуже довго, значна кількість азоту втрачається внаслідок вивітрювання.

2. Процес утворення біогазу

Енергія, що міститься в рослинних кормах використовується тваринами з низьким коефіцієнтом засвоєння. Так, в організмі корови внаслідок складних біохімічних процесів рослинні корми трансформуються в органічні речовини тіла, молоко, м'ясо, шкіру тощо. При цьому в продукти тваринництва переходить тільки 16,4 % всієї енергії рослинних кормів, 25,6 % цієї енергії витрачається на перетравлення кормів і їх засвоєння, отже 58 % енергії кормів переходить у гній. При споживанні кормів вони потрапляють у шлунок тварини і ацидогенні бактерії, що містяться в шлунку, розщеплюють полімерні жири, протеїни і вуглеводи у молочну та пропіонову кислоту, які ацетогенними бактеріями розкладаються до оцтової кислоти:



Метанотворні бактерії використовують вугільну кислоту й розщеплюють оцтову кислоту з утворенням метану:



Подібні процеси відбуваються в анаеробних **біогазових генераторах (біореакторах)**. В таких біогенераторах **анаеробне бродіння** субстрату розділяють на дві основні фази – **розрідження** і **газифікацію**, які необхідно розглядати як єдиний процес, що проходить одночасно та взаємообумовлено. Більшість метанотворних бактерій досягає максимальної швидкості росту і розмноження при температурі 30...42 °С (**мезофільний режим**), або 50...85 °С (**термофільний режим**).

Такий біохімічний процес відбувається за одним і тим самим принципом для всіх видів органічної сировини і всіх типів конструктивних розробок.

Принцип роботи біогазової установки наступний. Гній із ферм та інші органічні відходи подаються в реактор біогазової установки. Реактор безперервно наповнюється сировиною за допомогою помпи або шнекової подачі, залежно від вологості субстрату. Реактор є газонепроникним, повністю герметичним резервуаром. Ця конструкція теплоізолюється, тому що всередині резервуару повинна бути фіксована для мікроорганізмів температура (мезофільна або термофільна). Всередині реактора знаходиться міксер, який використовується для повного перемішування вмісту реактора.

Мікроорганізми повинні бути забезпечені всіма необхідними поживними речовинами. Свіжий гній має подаватись до реактора невеликими порціями декілька разів на день. Середня тривалість гідравлічного відстоювання всередині реактора (залежно від субстратів) становить 20...40 днів. Протягом цього часу органічні речовини всередині

маси гною метаболізуються (перетворюються) мікроорганізмами.

На виході отримують два продукти: біогаз та біодобрива (компостовані та рідкі). Отриманий біогаз зберігається в спеціальній ємкості, з якої подається споживачу.

Великі біогазові установки обладнуються аварійно-факельними пристроями, на той випадок, якщо надлишок біогазу необхідно спалити. Крім того газова система може включати в себе вентилятор, конденсатовідвідник, десульфалізатор тощо.

3. Склад і властивості біогазу

Виділення біогазу відбувається в перегнивачах (біореакторах). Субстрат на шляху від вхідного отвору до вихідного проходить повний цикл бродіння і розділяється на фракції. Перший шар утворюють неорганічні речовини, які випадають в осад на дно біореактора. Далі осідають органічні відходи, які зменшилися в об'ємі на 40 %. Над ними знаходиться рідка фракція, виділена із субстрату. Піна спливає на поверхню в невеликих кількостях і виконує роль ізоляції, що може повністю зупинити процес у біореакторі. Тому її необхідно своєчасно усувати.

Процеси, що відбуваються в обох фракціях, залежать від умов навколишнього середовища і складу речовин, що розкладаються. Однак всі складні біохімічні перетворення в анаеробному процесі, рівно як і в діяльності бактерій, що здійснюють цей процес, необхідно розглядати як єдине ціле, що відбувається одночасно (а не послідовно) та взаємно обумовлено (симбіотично) за рахунок використання продуктів обміну.

Метанотворні бактерії є строгими анаеробами, тому наявність в біореакторах кисню та значної кількості іонів нітратів може припинити виділення метану. Анаеробні умови в біореакторі, в який завантажується органічна маса,

збагачена розчиненим киснем, створюються, окрім герметизації, ще й за рахунок споживання кисню анаеробними бактеріям. Хоча існують окремі види метаногенів, які здатні зберігати життєдіяльність при короткочасній наявності кисню. Метанотворні бактерії розвиваються в складі популяції, в яку входять різні види анаеробних бактерій. Завдяки цьому вони можуть використовувати для утворення метану практично всі органічні сполуки.

Останнім часом набуває застосування проміжний температурний режим – **термотолерантний** (+40 °C). Швидкість розкладання та активність мікроорганізмів – метаногенів підвищується зі збільшенням температури.

Рекомендації з вибору температурного режиму мають загальний характер і, як правило, залежать не тільки від швидкості біохімічної активності процесу, але і від вимог до якості остаточного продукту, наприклад, вмісту метану в біогазі, ступеня обеззараження тощо. Крім того, вагомий вплив на вибір температурного режиму мають кліматичні та економічні фактори. Так, якщо за мету брати зниження концентрації органічних речовин, знезараження осаду та активного мулу, то переважно потрібно застосовувати термофільний режим. В інших випадках, на виконання процесу потрібно буде менше енергетичних затрат, зате група анаеробів є біохімічно менш активна.

Отже, анаеробна ферментація є ефективним заходом не тільки реалізації відходів органічної маси, але і запобігання забруднення довкілля. У результаті такого перетворення тверді органічні речовини втрачають запах і стають менш придатними для споживання гризунами і комахами. Крім того, під час перегнивання гинуть хвороботворні мікроорганізми, а також, в результаті конверсії вуглецю в біогаз, в твердих речовинах зменшеться його вміст і збільшується концентрація азоту.

Необхідно також відзначити, що під час анаеробної ферментації отримують речовину, яку можна використову-

вати як додатковий корм для тварин у вигляді одноклітинного протеїну.

4. Характеристика сировини для анаеробного бродіння

Сировиною для анаеробної переробки можуть бути різноманітні відходи, що містять органічні речовини. Для промислового виробництва біогазу сировиною є органічні відходи тваринництва, рослинництва та деяких переробних підприємств, в першу чергу харчового профілю. **Енергетичний потенціал** біомаси визначається енергетичним потенціалом тваринної і рослинної біомаси та інших органічних відходів.

У тваринництві найпридатнішим і таким, що потребує переробки, є гній різних тварин. Його вихід, склад і властивості залежать від виду тварин, типу годівлі, утримання, а також прибирання.

Дані про добове виділення і вологість екскрементів від однієї тварини на підприємствах з вирощування великої рогатої худоби і свиней наведені в таблицях 1 та 2. Зокрема, середня вологість екскрементів корів молочних порід складає 88 %, а биків, молодняку, м'ясної худоби і телят – 86 %. Зольність сухої речовини складає 16 %, тобто середній вміст органічних речовин рівний приблизно 84 %.

Від кормового раціону, якості кормів і типу тварин залежить і хімічний склад екскрементів, що зумовлено виділенням з екскрементами основної частини поживних речовин, які споживаються тваринами з кормами. При зміні раціону годівлі тварин змінюється і хімічний склад гною. Наприклад, у разі зменшення в раціонах кількості концентратів вміст азоту і фосфору в екскрементах зменшується, а калію збільшується. З тони гною ВРХ виходить 50 – 65 м³ біогазу (60 %). Одна корова виробляє до 30 кг відходів за добу, що еквівалентно утворенню приблизно 2 м³ біогазу. З 1 м³ гною

Таблиця 1
Добове виділення і вологість екскрементів великої рогатої худоби (ОНТН 17-86)

Склад екскрементів	Показники	Бики	Корови	Телята					
				До 3 місяців	До 6 міс. на відкорм. до 4 міс.	6-12 міс. на відкорм. 4-6 міс.	На відкорм. 6-12 міс.	12-18 міс.	Старші 12 міс.
Екскременти	Маса, кг	40	55	4,5	7,5	14	26	26	35
	Вологість, %	86,0	88,4	91,8	87,4	87,2	86,2	86,7	84,9
В тому числі:									
Кал	Маса, кг	30	35	1	5	10	14	20	23
	Вологість, %	83,0	85,2	80,0	83,0	83,5	79,5	83,5	80,1
Сеча	Маса, кг	10	20	3,5	2,5	4	12	7	12
	Вологість, %	95,0	94,1	95,1	96,5	96,5	94,1	96,0	94,2

Таблиця 2

Добове виділення і вологість екскрементів свиней (ОНП 17-86)

Склад екскрементів	Показники	Хряки	Свиноматки			Поросля віком, дн.			Свині на відгодівлі	
			Холості	Супоросні	Підкисні	26 – 42	43 – 60	61 – 106	До 70 кг	Більше 70 кг
Екскременти	Маса, кг	11,1	8,8	10,0	15,3	0,4	0,7	1,8	5,0	6,5
	Вологість, %	89,4	90,0	91,0	90,1	90,0	86,0	86,1	87,0	87,5
В тому числі:										
Кал	Маса, кг	3,86	2,46	2,6	4,3	0,1	0,3	0,7	2,05	2,7
	Вологість, %	75,0	73,8	73,1	70,0	70,0	71,0	71,4	73,0	74,7
Сеча	Маса, кг	7,24	6,34	7,4	11,0	0,3	0,4	1,1	2,95	3,8
	Вологість, %	97,0	97,5	98,3	96,8	96,7	96,0	96,3	96,7	96,9

можна одержати 23 м³ біогазу (65 %). Таким чином, якщо ферма викидає одну тону гною за день, то за рік втрачає приблизно 100 тис. грн.

Примітки до табл. 1.

1. Густина сухої речовини в розрахунках приймають 1250 кг/м³, зольність сухої речовини – 16 %.

2. Кількість і вологість підстилкового гною ВРХ визначають за допомогою розрахунків із умов утримування тварин, а також виду, вологості та кількості підстилки, що додається в добу на одну голову.

Примітки до табл. 2.

1. Під час використання багатокомпонентних кормів кількість екскрементів потрібно приймати на 30 % більшою від наведених у цій таблиці.

2. Загальну зольність в розрахунках приймати 15 %, густина сухої речовини екскрементів – 1400 кг/м³.

3. Вміст сечі, що отримується на підприємствах з проектним поголів'ям в розрахунках приймати 65 % від загальної маси екскрементів, вміст сухої речовини в сечовині – 17 % від загальної маси сухої речовини в екскрементах.

4. Масу екскрементів на підприємствах із закінченим циклом виробництва в середньому на одну голову (винятково порослят-смоктунів) допускається приймати 4,5 кг, вологість – 88 %.

Вид тварин і тип їх годування (склад кормів) визначають наявність в екскрементах частинок різної величини, а також співвідношення твердих та рідких виділень (табл. 3). Як бачимо в екскрементах свиней менше великих частинок і більше води, ніж в екскрементах великої рогатої худоби.

Дані про вміст основних поживних елементів, що виділяються з екскрементами, наведені в табл. 4, а хімічний склад твердих та рідких виділень тварин – в табл. 5.

Таблиця 3

**Кількість та співвідношення твердих і рідких виділень,
що утворюються від однієї тварини за добу**

Вид тварин	Виділення		Співвідношення між твердими і рідкими виділеннями
	Тверді, кг	Рідкі, л	
Велика рогата худоба, в т.ч.			
Доросла	20...30	10...15	2 : 1
Молодняк до 1,5 р.	10...12	5...6	
Телята до 6 міс.	3...5	1,5...2	
Свині	1,2...2,2	2,5...4,5	1 : 2

Таблиця 4

**Маса основних поживних елементів,
що виділяються з екскрементами за добу, %**

Вид тварин	Азот	Фосфор	Калій	Кальцій
Корови	0,80	0,80	0,95	0,95
Свині, що споживають корм концентрованого типу	0,72	0,82	0,90	0,71

Гній відгодованих бичків містить більше азоту, фосфору та калію, ніж гній корів та молодняка ВРХ (табл. 6), що зумовлено високим вмістом концентрованих кормів у раціоні бичків.

Свіжий гній тварин містить значну кількість насіння бур'янів, гельмінти, хвороботворні бактерії. Тому обов'язковою умовою під час утилізації гною є його знезараження. За традиційними методами знезараження зі зберіганням в буртах або гноєсховищах цей процес триває від півроку (гній ВРХ) до року (гній свиней). У зв'язку з цим найперспективнішим способом утилізації гною є його ана-

еробне зброджування, що дає змогу значно скоротити тривалість процесу знезараження.

Таблиця 5

Хімічний склад твердих та рідких виділень тварин

Складові частини	Свіжий кал		Свіжа сеча	
	Великої рога-тої худоби	Свиней	Великої рога-тої худоби	Свиней
Вода	83,6	82,0	93,8	96,7
Суша речовина	16,2	18,0	6,2	3,3
Азот (N ₂)	0,29	0,6	0,58	0,43
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,17	0,41	0,01	0,07
Калій (K ₂ O)	0,10	0,26	0,49	0,83
Вапно (CaO)	0,35	0,09	0,01	0,0
Магній (MgO)	0,13	0,10	0,04	0,08
Сірка (SO ₃)	0,04	0,04	0,13	0,08

Таблиця 6

Середній вміст поживних елементів в гною різних видів ВРХ (%) (в перерахунку на 10 %-й вміст сухої речовини)

Види тварин ВРХ	N	P	K	Ca	Mg	Na
Молодняк	0,35	0,12	0,28	0,19	0,06	0,06
Бички на відгодівлі	0,70	0,18	0,56	0,20	0,08	0,05
Корови	0,40	0,06	0,46	0,21	0,05	0,05

В залежності від кількості тварин планується відповідний об'єм реактора для виробництва біогазу (табл. 7).

Можливості анаеробного (метанового) бродиння гною (посліду) та виходу метану із різних сільськогосподарських відходів характеризують дані, приведені в табл. 8.

Таблиця 7

**Орієнтовний об'єм реактора в залежності
від кількості голів тварин**

Об'єм реактора, м ³	Кількість тварин	
	ВРХ, голів	Свині, голів
3	10	10
10	40	150
25	100	400
50	200	800
100	400	1600
150	600	2300
200	800	3000

Таблиця 8

**Вихід метану під час анаеробного бродіння
сільськогосподарських відходів**

Органічні відходи	Вихід CH ₄ , м ³ /кг сухої органічної речовини	Вміст CH ₄ в біогазі, %
Гній свиней	0,20...0,58	55...81
Гній ВРХ	0,20...0,41	52...80
Пташиний послід	0,37...0,64	54...62
Овечий гній	0,63	70
Силосні відходи	0,25...0,30	51...88
Молочні відходи	0,625	82
Трава	0,36...0,63	52...84
Каналізаційні стоки	0,60	70

Слід відзначити, що крім тваринницьких відходів, перспективною сировиною для метанового бродіння є різноманітні відходи рослинництва (стебла, листя, коріння тощо), які часто не використовуються в господарстві і заорюються у верхні шари ґрунту. Це порушує біологічну рі-

вновагу ґрунту, оскільки у відходах наявний високий вміст вуглецю. Спільне перероблення відходів рослинництва і тваринництва в біоенергетичних установках на добриво зі збалансованим співвідношенням С : N (пониження вуглецю під час утворення метану) сприяє покращанню агрохімічних властивостей ґрунту.

Якщо вихідний субстрат, який повинен підлягати бродінню містить крім гною рослинні рештки, потрібно особливу увагу звертати на їх склад. Для цього необхідно враховувати характерний для певних умов високий вміст лігніну, який практично не розкладається мікробами та, відповідно, не бере участі в газоутворенні. Тому вихід біогазу із екскрементів жуйних тварин, що споживають корми з високим вмістом сирової клітковини, значно менший, ніж з екскрементів птахів та свиней.

Під час метанового бродіння одним із найважливіших факторів є співвідношення С : N в частині субстрату, що асимілюється. Якщо співвідношення С : N в органічній масі високе, то брак азоту слугує фактором, що обмежує метанове бродіння. Якщо співвідношення надто мале, то утворюється велика кількість аміаку, токсичного для бактерій. Робоче співвідношення С : N становить від 10 до 30 і навіть до 45.

5. Класифікація біогазових установок

Біогазові установки класифікують за призначенням, за температурним режимом, за технологічним процесом та за схемою бродіння.

1. За призначенням

Біогазові установки, залежно від свого призначення, з урахуванням даних табл. 7, поділяють на побутові та промислові.

Побутовими називаються біогазові установки, які використовуються для забезпечення господарства енерго-

носіями (тепло, електроенергія) і утилізації побутових органічних відходів (рис. 2). Вони використовуються найчастіше на невеликих фермерських господарствах з метою отримання альтернативного виду палива – біогазу та утилізації органічних відходів.

Промисловими називаються біогазові установки, які використовуються з метою виробництва біогазу, утилізації органічних відходів та охорони довкілля, а також отримання високоякісного екологічно-чистого органічного добрива (рис. 10, 11). Вони встановлюються на великих тваринницьких комплексах, а біогаз, як правило, застосовують на технологічні потреби.

2. За температурним режимом

За температурним режимом біогазові установки поділяються на **мезофільні** (діапазон температур 33...37 °С) і **термофільні** (діапазон температур 50...55 °С).

3. За технологічним процесом

За технологічним процесом біогазові установки поділяють на установки безперервної та дискретної дії.

Біогазові установки **безперервної дії** характеризуються постійним процесом метаноутворення. Робота системи припиняється у разі профілактики та ремонту обладнання.

Особливість біогазових установок **дискретної дії** полягає у періодичності їх експлуатації, а саме від часу завантаження біореактора органічною масою до часу повного її розкладу.

4. За схемою бродіння

За схемою бродіння біогазові установки поділяють на одноступеневі (рис. 1а) та двоступеневі (рис. 1б, рис. 2).

Одноступеневі біогазові установки характеризуються тим, що процес гідролізу та метаноутворення відбу-

вається в одній ємкості. Це переважно біогазові установки з біореактором повного перемішування.

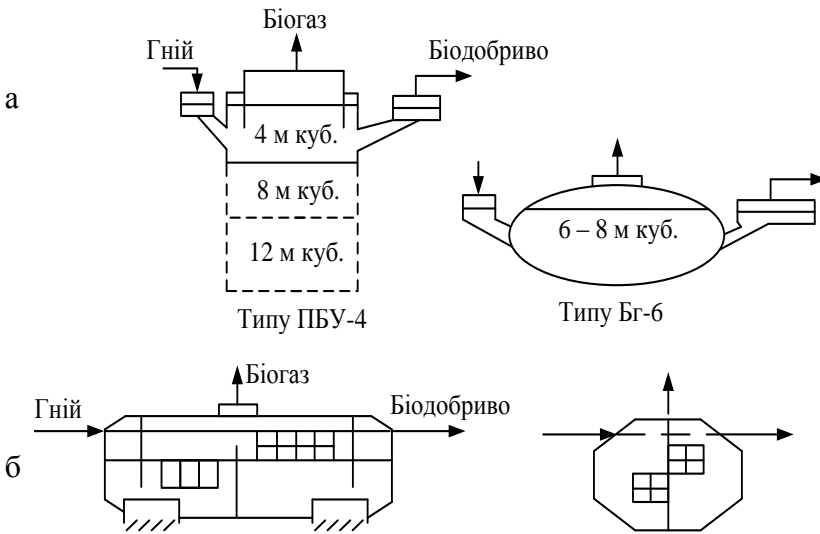


Рис. 1. Схеми бродіння біореакторів: а – одноступенева, б – двоступенева

Двоступеневі біогазові установки характеризуються двостадійністю бродіння. Перша стадія – гідроліз та утворення кислот; друга стадія – метаноутворення. Обидві стадії виробництва біогазу відбуваються в абсолютно роздільних резервуарах. Подібна технологія створює найкращі умови для життєдіяльності мікробів, важливих для утворення біогазу. Крім того, двоступенева схема забезпечує стабільний термофільний процес другої стадії.

6. Конструкція і принцип роботи побутових біогазових установок

Побутові біогазові установки (рис. 2) складаються з таких основних елементів: системи завантаження і розвантаження, біореактора, системи перемішування, газгольдера, системи підігрівання, а також наступних допоміжних елементів: гноезбірника, пристрою для розчинення, відстійника збродженої маси, пристрою для термосанітарної обробки відходів, манометра, десульфуризатора для очищення газу.

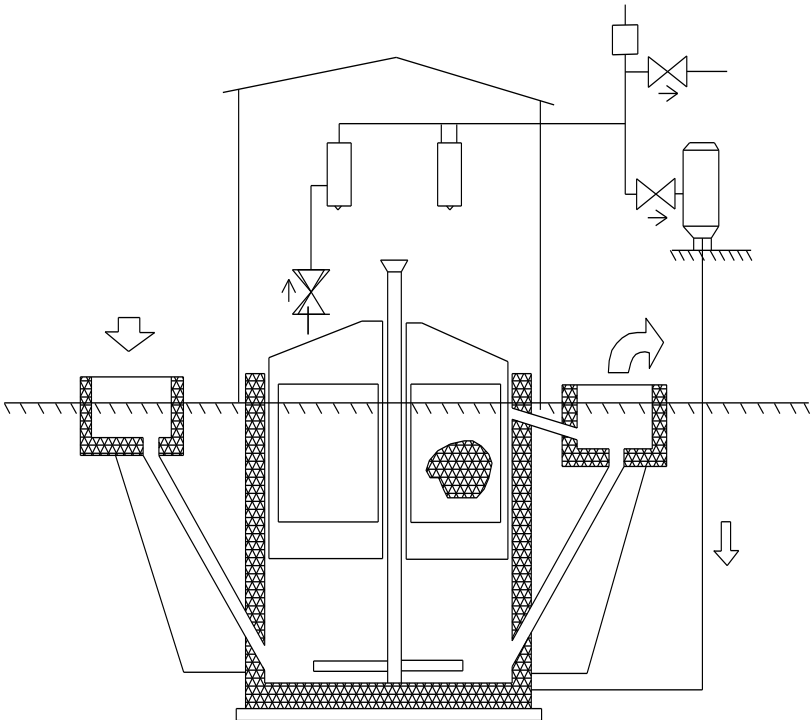


Рис.2. Схема побутової біогазової установки

6.1 Система завантаження

Система завантаження забезпечує подачу органічної маси в ємкості для її утилізації. Залежно від способу подачі органічної маси розрізняють гравітаційну, насосну та механічну системи завантаження (рис. 3).

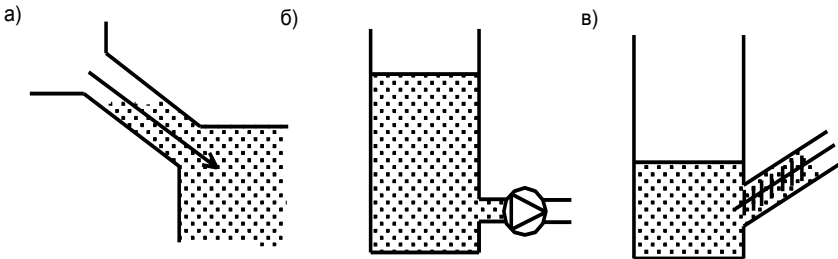


Рис.3. Типи систем завантаження біореактора:
а) гравітаційна, б) насосна, в) механічна

Гравітаційні системи завантаження (рис. 3а) переважно застосовують у біогазових установках, які розташовані на горбистій чи похилій місцевості. Біореактор розташовують нижче від рівня ємкості для збирання (підготовки) органічної маси, отже, субстрат самопливом надходить до біореактора (метантенка).

Насосні системи завантаження (рис. 3б) широко застосовують у біогазових установках, де органічна маса попередньо підготовлена до транспортування, тобто має відповідну гомогенність та густину і придатна для подавання насосами. У цьому разі особливого значення рельєф місцевості не має, оскільки завантаження здійснюється за допомогою фекального насоса.

Механічні системи (рис. 3в) використовуються для завантаження твердого субстрату. Як правило, це шнекові або скребкові транспортери. Гомогенізація органічної маси

в таких випадках відбувається в гомогенізаторах або безпосередньо в біореакторах.

6.2. Біореактор (метантенк)

Біореактор (метантенк) – це ємкість, в якій відбувається процес утилізації органічної маси та метаноутворення. Залежно від конструкції біореактори поділяються на вертикальні, горизонтальні та суміщені (рис. 4).

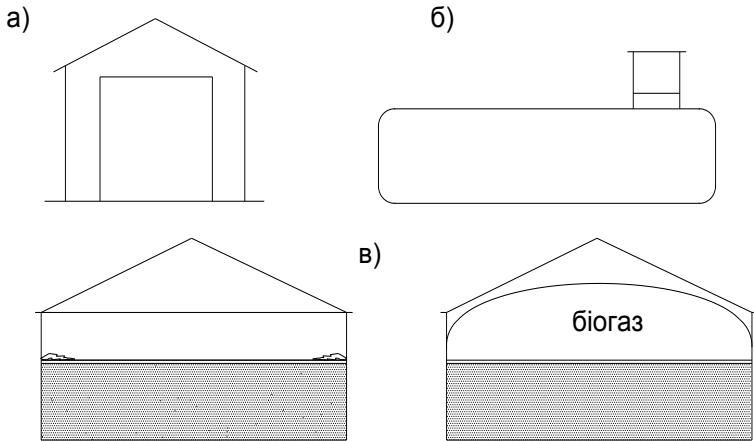


Рис. 4. Типи біореакторів: а) вертикальний, б) горизонтальний, в) суміщений

У **вертикальних** біореакторах переважаним геометричним розміром є висота (рис. 4а). У таких біореакторах наявні дві вертикальні камери. В одну камеру надходить сировина, а з другої відводиться відпрацьована органічна маса. Наявність другої камери дає змогу досягнути ефективного процесу метаноутворення, збільшення виходу біогазу.

У **горизонтальних** біореакторах переважаним розміром є довжина (рис. 4б). Принцип роботи полягає у витісненні переробленої органічної маси свіжим субстратом. Тому робота таких біореакторів нагадує дію кишківника

живого організму. Перевагою метантенків такого типу є те, що у разі незадовільних результатів бродіння матеріал може бути скерований на рециркуляцію.

Особливістю **суміщених** біореакторів (рис. 4в) є наявність в їхній конструкції ємкості для зберігання біогазу – газгольдера. Перевагою метантенків такого типу є можливість зменшення будівельних площ за рахунок суміщення агрегатів.

Вибір типу біореактора, його розміри визначаються залежно від кількості і характеристик органічної маси (субстрату), тривалості бродіння, яка в свою чергу залежить від бажаного виходу біогазу, кількості органічних відходів і наявного простору для будівництва споруд (табл. 8, рис. 1, 2, 4).

6.3. Система перемішування

Система перемішування призначена для інтенсифікації процесу метаноутворення шляхом збурення і усунення плівки на поверхні органічної маси в метантенках.

Існують механічні, гідравлічні та барботувальні системи перемішування (рис. 5).

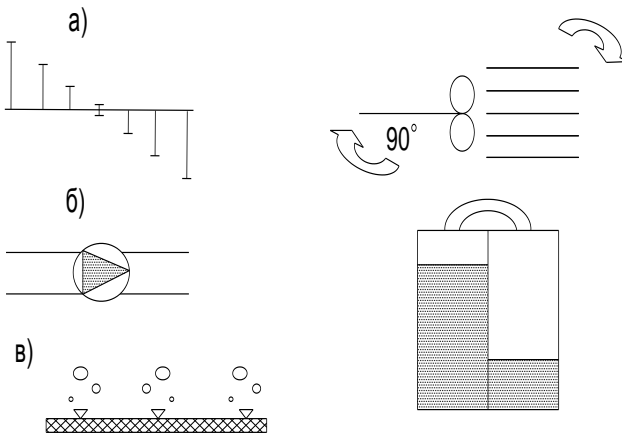


Рис. 5. Типи систем перемішування: а) механічна, б) гідравлічна, в) барботувальна

Механічні системи перемішування (рис. 5а) характеризуються наявністю механічного пристрою для збурення шарів органічної маси в метантенку. Залежно від типу біореактора перемішувальний пристрій може бути виконаний у формі лопаток на горизонтальному валу для горизонтальних біореакторів, або у формі крильчатки для вертикальних біореакторів. Такі системи перемішування використовуються для біогазових установок невеликої потужності з біореакторами малих об'ємів.

Гідравлічні системи перемішування (рис. 5б) містять в собі насоси, які здійснюють переміщення органічної маси з однієї частини біореактора в іншу, і при цьому відбувається перемішування шарів субстрату. Такі системи використовують у біореакторах великих розмірів.

Особливістю **барботувальних** систем (рис. 5в) є використання біогазу для перемішування органічної маси. Такі системи дають змогу досягати оптимального перемішування. Однак при цьому до субстрату висуваються підвищені вимоги, особливо до його в'язкості, інакше є небезпека утворення плаваючої плівки.

6.4. Газгольдери

Ємкостями для зберігання біогазу слугують **газгольдери** (збірники біогазу).

Залежно від використання біогазу споживачами застосовуються збірники низького (< 2 ат.), середнього (2...20 ат.) і високого (> 20 ат.) тиску. Конструкції найпоширеніших газгольдерів показані на рисунках 6 і 7.

Мокрі газгольдери – це такі газгольдери, в яких біогаз має безпосередній контакт з рідиною (вода, органічна маса).

Найпоширенішими є мокрі газгольдери, виготовлені у формі металевого або пластикового ковпака 1, зануреного відкритим кінцем у басейн з водою 2 (рис. 7а,б). Під

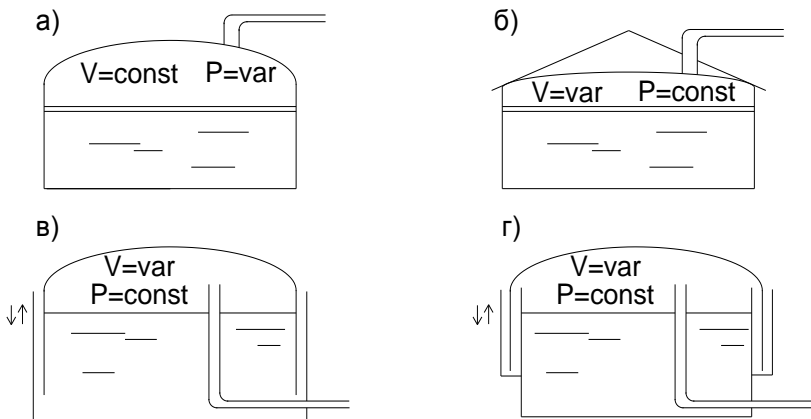


Рис. 6. Газгольдери мокрі низького тиску: *a* – постійного об’єму і змінного тиску, суміщений з мантенком ($P = 100 \dots 300$ мм вод.ст.); змінного об’єму і постійного тиску, суміщений з мантенком: *б* – $P = 100$ мм вод.ст., *в* – $P < 500$ мм вод.ст., *г* – $P < 100$ мм вод.ст.

ковпак підводяться газопроводи для приймання біогазу під тиском, що створює вага ковпака, а сам біогаз транспортується споживачу. Висота ковпака визначає висоту резервуара.

Для того, щоб не збільшувати висоту резервуара, ковпак виготовляють із декількох ланок – телескопічних кілець (рис. 7в). Кільця з’єднані у верхній частині герметично за допомогою гідрозатвору. Висота стовпа рідини в затворах повинна бути вищою від висоти, яка відповідає внутрішньому надлишковому тиску в газгольдері. Верхній край кожної ланки ввігнутий жолобоподібно всередину, а нижній – назовні. Коли ковпак під тиском газу підіймається догори, жолоби рухомих ланок входять один в другий і вода, що є в кожному нижньому жолобі, створює гідравлічний затвор. Для незмінного положення рухомих ланок щодо осі резервуара, ковпак і ланки обладнані роликами,

що ковзають по напрямних. Кількість рухомих ланок, як правило приймається не більше п'яти.

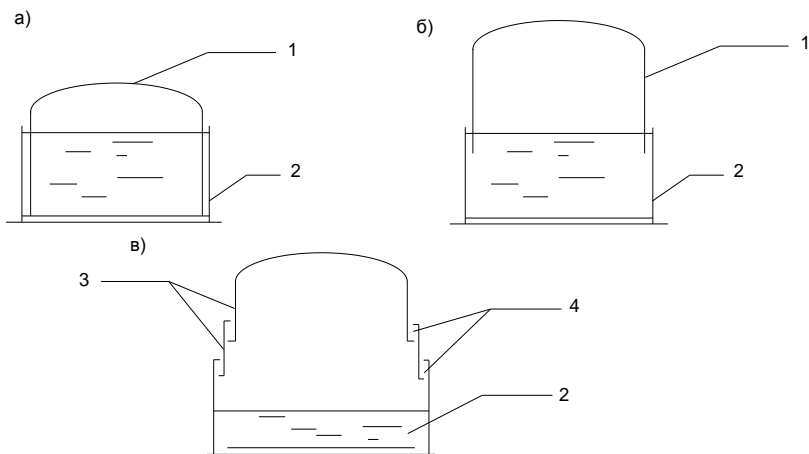


Рис.7. Конструкція мокрого газгольдера з металевим ковпаком: а) після спорожнення; б) наповнений біогазом; в) з телескопічними кільцями: 1 – ковпак, 2 – ємкість з водою, 3 – телескопічні ланки ковпака, 4 – гідравлічні затвори

Газгольдери мокрого типу встановлюються в спеціальних будівлях або на відкритому повітрі.

Основним недоліком мокрих газгольдерів є небезпека замерзання таких конструкцій, особливо це стосується регіонів з помірними та холодними зимами. У таких випадках необхідно передбачати заходи, які запобігають обмерзанню. Це можуть бути пристрої додаткового нагрівання, теплової ізоляції, використання соляних розчинів для гідравлічних затворів, антифризів та ін.

У разі невеликих тисків біогаз можна збирати і зберігати в газгольдерах змінного об'єму та постійного тиску. Об'єм таких газгольдерів під тиском збільшується, а тиск залишається постійним.

Під час застосування компресорів для заповнення ємкостей для зберігання біогазу використовують газголь-дери змінного тиску і постійного об'єму.

6.5. Система підігрівання біореакторів

Для отримання необхідної для бродіння температури і вологості, а також підтримання її на постійному рівні, здійснюється попереднє або безпосереднє підігрівання субстрату, який подається в біореактор, до необхідної температури. Додаткове підведення тепла необхідне для компенсації тепловтрат. Для підігріву субстрату в біореакторі достатньо $0,5 \text{ м}^3$ біогазу за добу.

Враховуючи негативний вплив температурного градієнту на перебіг анаеробного процесу, підведення тепла необхідно поєднувати з перемішуванням біомаси.

Існують різноманітні конструкції **систем підігрівання** (рис. 8). Найчастіше їх поділяють в залежності від місця розташування теплообмінного апарату, а саме на:

- системи, що розташовані в середині біореактора;
- системи, що розташовані у зовнішніх стінках біореактора;
- окремо влаштовані системи.

Теплообмінні пристрої вмонтовані всередину біореактора (рис. 8б) мають деякі переваги, оскільки нагріта поверхня безпосередньо контактує з органічною масою, тому і процес теплообміну є достатньо інтенсивним. Але недоліком таких апаратів є те, що вони займають корисний об'єм біореактора, а також існує загроза постійного налипання органічної маси на поверхню теплообмінника, що утруднює теплообмін.

Системи підігрівання влаштовані біля стінок біореактора (рис. 8а), дозволяють ефективно використовувати весь об'єм біореактора на відміну від теплообмінників інших конструкцій.

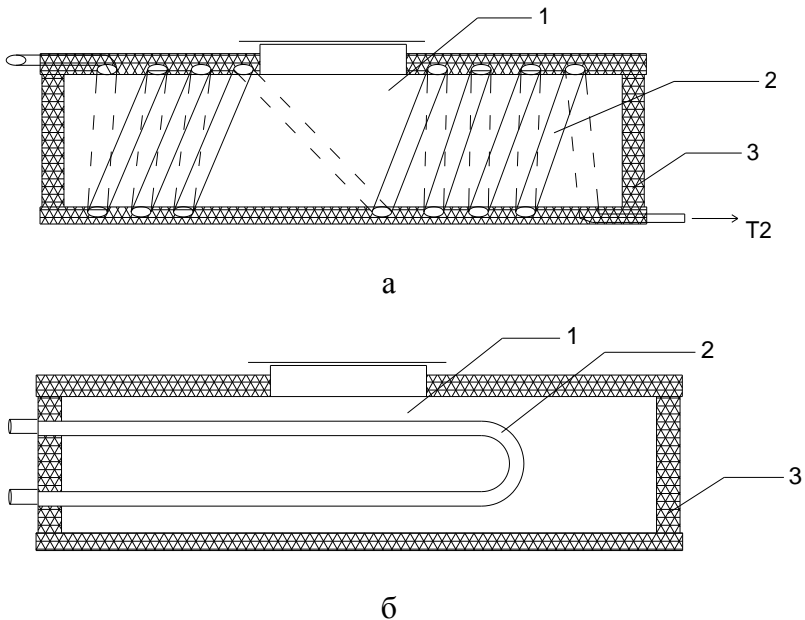


Рис. 8. Схеми підігрівання метантенка: а – теплообмінний апарат ззовні метантенка, б – теплообмінний апарат в середині метантенка: 1 – метантенк, 2 – теплообмінний апарат, 3 – теплова ізоляція, 4 – фекальний насос, Т1 – нагрітий теплоносіє, Т2 – охолоджений теплоносіє

Необхідно звертати увагу на забезпечення оптимальної товщини теплової ізоляції, для того щоб вартість конструкції зовнішніх стінок біореактора не була істотно завищена за рахунок надлишкової товщини ізоляції.

Рівномірну передачу тепла субстрату можна також забезпечити за допомогою теплообмінників, що розташовані окремо від біореактора (рис. 9). Використання такого типу теплообмінних апаратів можливе у поєднанні з системою примусової циркуляції субстрату. Це звичайно збільшує експлуатаційні затрати, зате дозволяє надійно регулювати температуру бродіння в біореакторі. Перевага цієї системи підігрівання полягає в тому, що під час одночас-

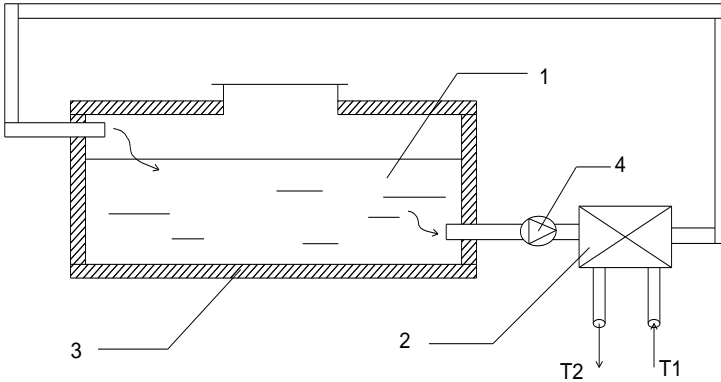


Рис.9. Схема окремо влаштованого теплообмінного апарату: 1 – метантенк, 2 – теплообмінний апарат, 3 – теплоізоляція, 4 – насос (фекальний), T1 – нагрітий тент, T2 – охолоджений тент

ного підігрівання і перемішування субстрату, різниця між температурами органічної маси, що надходить у біореактор, і наявної в ньому органічної маси буде незначною. Крім того, надійно підтримується швидкість перемішування субстрату, необхідна для запобігання утворенню твердої плівки на поверхні органічної маси в біореакторі.

7. Конструктивно-технологічні схеми промислових біогазових систем

Біогазова система – це комплекс елементів та їх комбінацій, які перебувають у функціональній залежності від процесу метаноутворення.

Біогазові установки промислового типу влаштовані доволі складно і розраховані на роботу з певним видом екскрементів та інших відходів (рисунок 2, 10 – 12). Як правило, вони обладнані мікропроцесорними засобами контролю і управління практично всіма елементами біогазової системи.

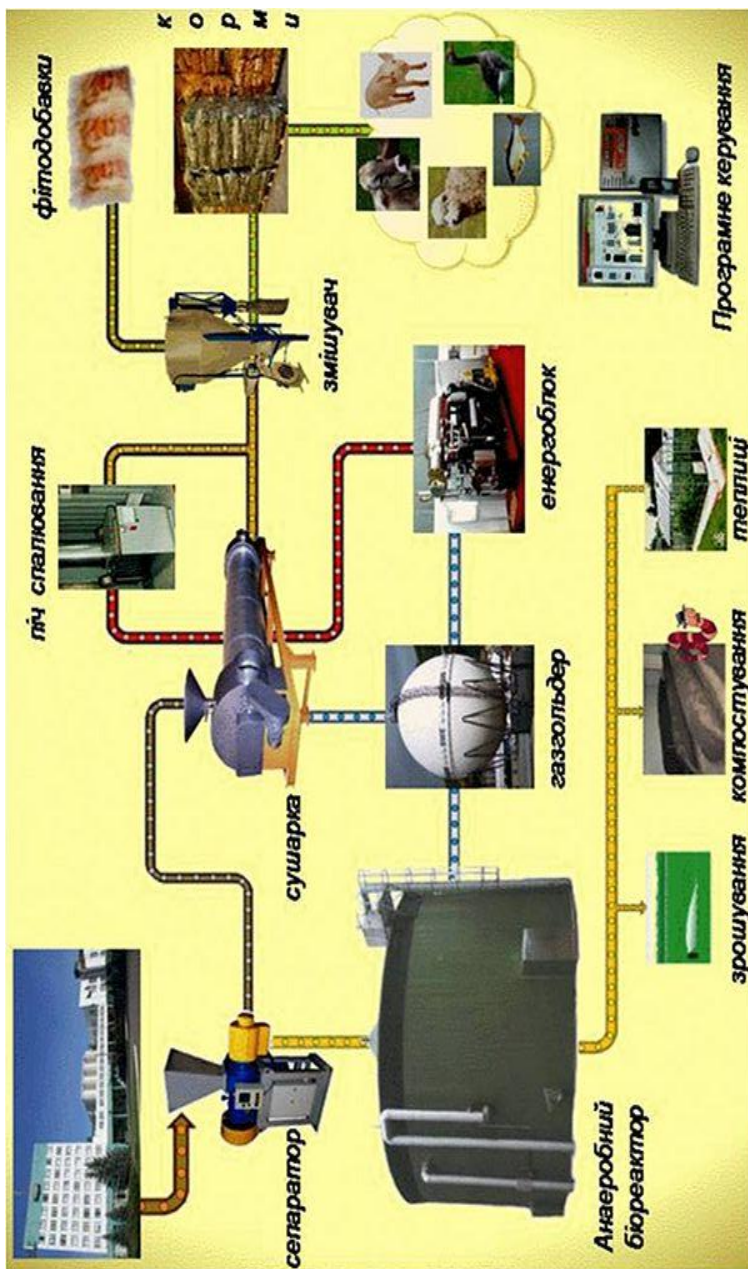


Рис.10. Промислове виробництво біогазу і електроенергії

У 1983 р. в експлуатацію було здано біогазову установку для переробки органічних відходів великої рогатої худоби в дослідному господарстві «Рассвет» Запорізької області (рис. 11). Вона складається з таких елементів: 1 – збірник гною; 2 – насос НЦИ-Ф-100; 3 – колектор; 4 – подрібнювач ИН-Ф-50; 5 – підігрівач-витримувач біогазу; 6 – насос СД 50/10; 7 – біореактор; 8 – компресори ВК-1,5М; 9 – газгольдер; 10 – котел КОАВ 200-1; 11 – електропідігрівач ЄПЗ-100; 12 – колектор водяний; 13 – насос К 8/18. Її основним елементом був метантенк ємкістю 10 м^3 з вакуумним перемішуванням органічної сировини. Перед бродінням субстрат подрібнювали і підігрівали в подрібнювачі-нагрівачі. Після чого протягом 21 год він перебував у витримувачі. Вихід біогазу за добу становив близько 2 м^3 на кожний кубічний метр ємкості метантенка.

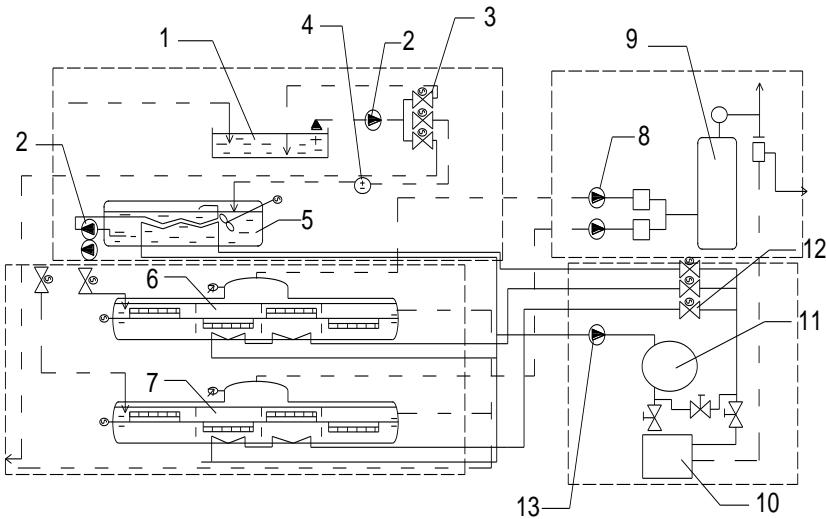


Рис. 11. Схема промислової біогазової установки для перероблення органічних відходів великої рогатої худоби

В Київській області був впроваджений комплекс обладнання для анаеробного бродіння органічних відходів

типу К-Р-9-1 (з двома реакторами по 125 м³), розрахований для застосування на тваринницьких фермах з поголів'ям 400 корів (або 400 свиней), з механічним і гідравлічним видаленням гною в складі технологічних ліній переробки гною. Для комплексів на 600 і 800 голів кількість реакторів відповідно збільшується.

Використання комплексу К-Р-9-1 передбачалось на існуючих фермах і комплексах без істотних змін технологічних ліній видалення гною з незначним об'ємом будівельно-монтажних робіт у місці встановлення: влаштування фундаментів, монтаж технологічних комунікацій і обладнання та їхня термоізоляція. Комплекс К-Р-9-1 виготовляли транспортбельним, блоково-модульним, із високою заводською готовністю. Передбачалося експлуатувати протягом круглого року цілодобово.

Основні технічні дані комплексу К-Р-9-1:

Пропускна здатність субстрату з вологістю 89...96 %, т/добу – 30...50.

Вихід біогазу, м³/добу (не менше) – 500.

Об'єм мікробіологічного реактора, м³ – 125.

Кількість реакторів, шт. – 2.

Потужність (без електронагрівачів), кВт – 50,6.

Маса комплексу (не більше), т – 90,5.

Кількість обслуговуючого персоналу – 1 особа в зміну.

Режим роботи – безперервний.

Комплекс складається із таких основних конструктивно-технологічних систем (рис. 11):

- нагромадження, попередньої обробки і подання органічної маси;
- відбору, нагромадження і використання біогазу;
- нагрівання, термоустаткування, гарячого водопостачання;
- мікробіологічного бродіння;
- технологічного контролю і управління.

Мікробіологічний реактор (рис. 12) є головним елементом всього комплексу біоенергетичної установки і виконаний у вигляді горизонтального сталевого термоізолюваного секційного циліндра з трьома перегородками, мішалкою, теплообмінником, пристроєм для зливання з гідрозатвором і газовим клапаном. Підготовлену масу періодично до 24 разів за добу по напірному трубопроводу певними порціями подають на початок реактора під рівень рідини, причому з протилежного боку через зливну горловину, трубопровід і гідрозатвор зливається рівний об'єм збродженої маси.

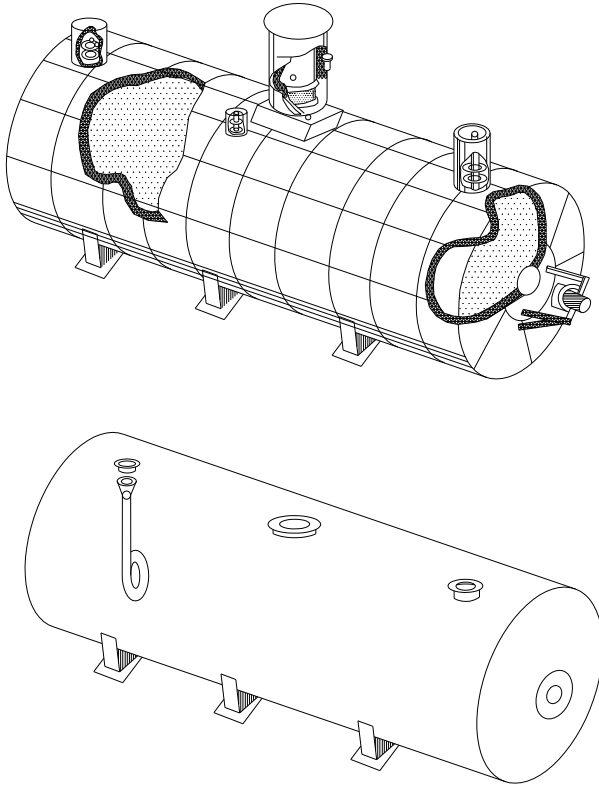


Рис.12. Мікробіологічний реактор: а – натуральний вигляд, б – схематичний вигляд

У Львові на базі Українського державного лісотехнічного університету працюють дві біогазові установки різного типу, які дають можливість відпрацьовувати режими роботи з перероблення органічних відходів, з метою видачі рекомендацій для впровадження в експлуатацію на приватних фермерських господарствах України. На їх основі проведено випробування генерації біогазу з відходів ВРХ, свиней, свійської птиці, а також проведено аналіз складу біогазу (табл. 1 – 6). Проаналізовано перспективи різних методів очищення біогазу від баластових газів, що входять до його складу. Здійснено порівняльний аналіз методів очистки з урахуванням досвіду провідних країн світу в цьому напрямі. Показано, що для практичної реалізації вигідним є **метод водяної абсорбції** (вимивання водою), який використовується для очищення біогазу від CO_2 і H_2S . Для очищення біогазу від баластових газів застосовується **метод селективної кріоадсорбції** вуглекислого газу на молекулярних ситах – пористому алюмінієвому силікаті (цеоліті) з правильною структурою. Завдяки наявності порожнин в кристалі створюється ефект сита, який полягає в тому, що різні гази внаслідок різних молекулярних перерізів, а також різної полярності розділяються. Тому використання методу кріоадсорбції дає змогу здійснювати одночасне очищення біогазу від сірководню, вуглекислого газу і водяної пари.

Не відкидаючи значення великогабаритних біогазових установок, хочемо привернути увагу до роботи малих побутових установок сімейного типу, які можна встановити в окремих господарствах в сільській місцевості і в містах де є можливість накопичення органічних відходів. Такі установки можуть працювати автономно і комбіновано з іншими джерелами енергії. Експлуатація таких установок має як переваги так і недоліки у порівнянні з іншими.

Перевагами малих біогазових установок слід вважати їх малу собівартість, доступність для будівництва в

будь-якому господарстві, де є органічні відходи, обслуговування роботи установки власними силами, відсутність потреби в обліку й транспортуванні біогазу, використання місцевих матеріалів для спорудження установки та ін.

Разом із тим експлуатація малих біогазових установок має свої недоліки в порівнянні з великими – в них важче автоматизувати і механізувати процеси підготовки субстрату й роботи самої установки, проблематичним є подрібнення субстрату, його підігрів, механізація завантаження і розвантаження, зберігання субстрату до і після оброблення. У зв'язку з тим, що такі установки обслуговують окремі малі приватні або фермерські господарства в яких, як правило, на відміну від великих колективних господарств у літній період протягом певного періоду немає площ вільних від посадок сільськогосподарських угідь, на яких можна зберігати відходи, то для зберігання відферментованих відходів, необхідно мати спеціальні ємкості. Для розведення сировини до концентрації 92...94 % також необхідно мати відповідну ємкість і певну кількість води.

8. Енергозберігаючі заходи в процесі виробництва біогазу

8.1. Варіанти реалізації енергозберігаючих заходів

Виробництво біогазу потребує значної кількості енергії на нагрівання субстрату до необхідної температури та компенсацію теплових втрат біореактора. Для зменшення енерговитрат рекомендується:

- підвищити температуру зовнішнього середовища за рахунок повного або часткового закопування реактора у землю;
- збільшити термічний опір стінок реактора шляхом використання теплоізоляції;
- зменшити площу контакту реактора і навколишнього повітря за рахунок особливої форми реактора.

За розрахунками, основні втрати тепла для реакторів циліндричної форми з бетону і утеплювачем складають від 10 до 20% від тепла, що витрачається на нагрівання суміші.

Відпрацьований **шлам** має високий запас теплової енергії, яка зазвичай розсіюється в атмосфері. В літній період різниця температур між органічною масою, що поступає в реактор, і тією, що покидає його, сягає 20 °С, у зимовий період ця різниця досить значна і може становити 40 – 50 °С. Для максимального використання тепла рекомендуємо застосовувати тепловий насос, який дозволить знизити витрати тепла на нагрівання вхідної сировини у декілька разів.

Сучасна біогазова установка – це комплекс пристроїв, пов'язаних між собою гідравлічними, механічними, електричними, інформаційними зв'язками. В часи високих технологій виробництво біогазу повинно бути максимально комп'ютеризованим та автоматизованим, не відбирати у оператора багато часу та зусиль, мати максимальний коефіцієнт корисної дії. Досягти високої продуктивності біогазових установок можна при комплексному поєднанні всіх інноваційних рішень. Розглянемо принципову технологічну схему виробництва біогазу в енергоощадному режимі (рис. 13).

Така установка складається з наступних елементів: 1 – реактор установки з конусами на верх і на низ, 2 – верхній конус установки для збирання біогазу, 3 – нагрівальний елемент трубчастого типу, 4 – нижній конус для збирання шламу, 5 – пристрій для видалення сірководню, 6 – пристрій для видалення вуглекислого газу, 7 – газгольдер; 8 – трубопровід, що транспортує газ на потреби господарства, 9 – трубопровід, що транспортує газ на потреби біогазової установки, 10 – сервопривід з триходовим клапаном, 11 – трубопровід, що транспортує рідку фазу шламу на полив,

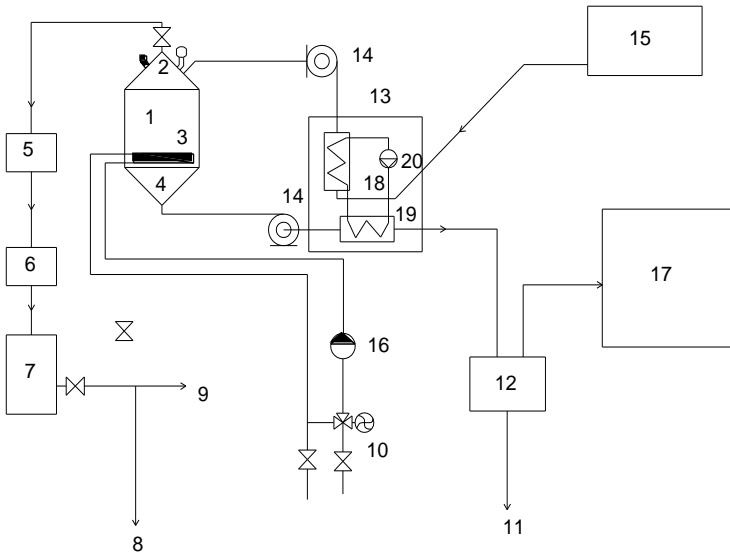


Рис. 13. Технологічна схема виробництва біогазу з енергозбереженням

12 – розділювач фаз відпрацьованого субстрату, 13 – тепловий насос для рекуперації тепла відпрацьованого шламу, 14 – фекальний насос для подачі і видалення субстрату, 15 – резервуар-накопичувач органічних відходів, 16 – циркуляційний насос системи тепlopостачання біогазової установки, 17 – поле висушування густої частини шламу, 18 – конденсатор теплового насосу, 19 – випарник теплового насосу, 20 – компресор з терморегуляційним вентилям теплового насосу.

Енергоощадна біогазова установка працює наступним чином. У міру накопичення (в резервуарі 15) органічних відходів вони відкачуються фекальним насосом 14 в трубопровід і подаються у верхню частину реактора 1. У реакторі суміш перемішується і зволожується до необхідної концентрації сухої речовини. В процесі транспорту-

вання відпрацьований субстрат і свіжа органічна маса обмінюються теплом за допомогою теплового насоса 13; таким чином відпрацьований шлам втрачає тепло, а свіжа маса нагрівається. Підігрівання субстрату здійснює теплообмінник 3, що знаходиться в реакторі 1, а регулювання потужності теплообмінника виконується за допомогою змішувальної установки, в яку входить триходовий клапан із сервоприводом 10 та циркуляційний насос 16. Температура газу та його тиск контролюються термометром і манометром, що розміщені в покрівлі реактора. У міру накопичення газ випускають у пристрої 5 і 6 для видалення відповідно сірководню і вуглекислого газу та збирають у газгольдері 7. З газгольдера газ направляють трубопроводом 9 на потреби самої установки, а трубопроводом 8 – на потреби господарства.

Рекомендований температурний режим системи тепlopостачання – 60 °C / 40 °C, тобто температура води для нагрівання – 60 °C, а зворотної – 40 °C. Тепlopостачання може бути здійснено від газового котла, що працює на природному газі чи виробленому біогазі, який пройшов попереднє очищення від шкідливих домішок. Рекомендована схема обв'язки показана на рис. 13. Ця схема виконана двокільцевою: котел – теплообмінник (велике кільце); триходовий клапан – насос – теплообмінник (мале кільце). Схема обв'язки виконана з байпасною лінією і двома контурами циркуляції – малим і великим. У разі, коли температура нагрівника і середовища стає більшою за необхідну, триходовий клапан дозволяє підмішувати зворотну воду у подачу. Коли температура поверхні нагрівника і субстрату починає падати – клапан працює на прямоток. Для спуску води за потреби відключення системи послугують спусковики. Для запобігання утворенню повітряних пробок встановлено автоматичний повітроспусковик. У разі поломки котла для запобігання замерзанню теплоносія у контурі циркуляції і зупинці реактора триходовий клапан пра-

цює у режимі малого контуру циркуляції теплоносія, підтримуючи температуру вище замерзання. Відстеження аварійних ситуацій з котлом відбувається за допомогою датчика, що встановлено на поверхні теплообмінника 3 в біореакторі. Коли температура на ньому знижується до 10 – 15 °С, подається сигнал на закривання сервоприводом 10 клапана. Для циркуляції теплоносія та субстрату рекомендуються сучасні насоси, енергоспоживання яких мінімальне і не перевищує сотень ват.

Таким чином, комплексне поєднання ефективної ізоляції та оптимальної форми реактора, теплового насоса і якісного регулювання теплопостачання на базі енергоощадних насосів дозволить підвищити коефіцієнт корисної дії установки з виробництва біогазу.

8.2. Комплексні використання поновлюваних джерел енергії в умовах сільської садиби

В час переходу господарювання на нові економічні засади проблеми енергопостачання індивідуального споживача в сільській місцевості, в тому числі для сільськогосподарського виробництва, примножились. Вирішується ця проблема двома шляхами. По-перше застосуванням технологій, які дозволяють економніше споживати паливо, тобто задіюється напрямок енергоощадності. Другий напрямок – це використання енергії поновлювальних джерел: енергії сонця, вітру, теплоти ґрунту та води, геотермальної енергії, біогазу. Останій є важливим для Західного регіону України, де розвинуте тваринництво. На цій базі можливе отримання, крім газоподібного палива, ще й високоякісного органічного добрива. Саме біогазові технології є пріоритетними в регіоні з огляду забезпечення сільського подвір'я поновлювальним джерелом енергії.

Здійснимо аналіз **комбінованої схеми енергопостачання**, що складається з наступних пристроїв використання поновлювальних джерел енергії: **сонячного колек-**

тора площею 2 м², **сонячного параболоциліндричного концентратора** площею вхідної апертури 6 м², **сонячного ставка** площею 16 м² і **біогазогенератора (БГГ)** з об'ємом реактора 3...4 м³.

Аналіз свідчить, що при наявності земельного паю навіть 1,5 га типова сільська садиба може продукувати 2,5...3 т сухої органічної речовини (разом з соломою), що достатньо для отримання 1300 м³ біогазу. За допомогою дизельного генератора потужністю 2 кВт з такої кількості біогазу можна отримати біля 2000 кВт/год електроенергії та 190 ГДж теплової енергії.

Переробка соломи по схемі БГГ – біогазоелектроенергії вже в даний час може бути рентабельною з точки зору генерації електроенергії, оскільки її вартість становить приблизно 0,18...0,20 грн/кВт/год (при ціні соломи 120...150 грн/т) без врахування амортизаційних відрахувань. Останні частково покриваються за рахунок реалізації отриманого при роботі БГГ вискоефективного добрива.

Наявні значні площі угідь можуть бути використані для вирощування таких високопродуктивних по біомасі культур, як тапінамбур, судане трава (сорго) або звичайна верба. Враховуючи те, що в найближчому майбутньому очікується неминучий ріст цін на електроенергію, пов'язаний з необхідністю модернізації зношеного теплоенергетичного обладнання ТЕС, можна прогнозувати, що виробництво електроенергії з використанням біогазу стане привабливою прибутковою технологією. До цього слід додати агрохімічний та екологічний аспекти переробки органічних відходів при отриманні біогазу.

Застосування сонячних пристроїв (ставка, колектора, концентратора) дає можливість мінімізувати в зимово-осінній період витрати біогазу, як палива, на власні потреби БГГ. В літній період об'єми біогазу можуть бути зменшені і основний акцент повинен бути на застосуванні геліоенергетики.

Оскільки серцевиною вказаної системи виступає БГГ, оцінимо потенціал органічної сировини з сільськогосподарських земель, якими володіє сільська садиба. Розмір земельних паїв, які отримали селяни після розформування колгоспів складає на Львівщині приблизно 1,5 га, а на Тернопільщині і Волині він перевищує 2 га. Причому в багатьох селах цей пай формувався з придатної для вирощування сільськогосподарських культур землі, а оскільки ступінь розорюваності земель в Україні перевищував 80 %, то частка таких угідь є значною. На даний час ці угіддя (розпайовані), переважно не обробляються, заростають бур'яном і чагарниками. На цих площах можливе вирощування тапіамбуру, суданської трави (сорго) або звичайної верби, які дають великий приріст біомаси. Якщо ж посіяти на 0,5 га угідь зернових, можна отримати 1...1,5 т соломи, а з 1 т такої сухої маси можна отримати 450...600 м³ біогазу. Рештки інших рослин (стебла, листя, качани, коріння), які вирощувались на землях садиби, а також трава, листя дерев, домашні відходи протягом року дають ще 1...1,5 т органічних відходів. Тобто протягом року садиба продукує біля 2,5 т органічної сировини для БГГ, з якої можна отримати біля 1300 м³ біогазу. Оскільки питома витрата дизель-генератора складає приблизно 0,6 м³/кВт/год при вмісті метану в біогазі 62 %, то з вказаної кількості біогазу можна отримати 2000 кВт/год електроенергії, що цілком достатньо для покриття побутових потреб в електроенергії протягом року. При цьому ми виключили з балансу гній тварин, враховуючи, що останніх у садибі не завжди утримують. Крім біогазу БГГ виробляє високоефективне екологічно чисте органічне добриво, вартість якого може складати до 40 % вартості виробленої електроенергії. Додатково, за рахунок використання теплоносія системи охолодження і теплоти відхідних газів можна нагрівати воду з розрахунку 14 МДж на 1 м³ біогазу.

Восени 2003 р. на Львівщині ринкова вартість 1т соломи (без перевезення) дорівнювала 120...150 грн. Переробка соломи за приведеною вище схемою солома – біогаз – електроенергія дозволяє отримати електроенергію за ціною приблизно 0,18 – 0,2 грн/кВт/год, а при наявності «безкоштовних» побутових відходів ще менше. Це без амортизаційних відрахувань на обладнання. З другої сторони продаж якісного добрива, яке продукує БГГ, дозволяє покрити ці відрахування. Отже вартість такої електроенергії, яка не потребує ліній передачі, є співмірна з ціною електроенергії яка поступає з електромережі. Якщо ж взяти до уваги, що в найближчому часі нас чекає модернізація зношеного на 80 % і більше теплоенергетичного обладнання ТЕС, то ціна електроенергії зросте і може перевищити вартість продукованої з біогазу електроенергії.

Проте необхідно врахувати власні потреби БГГ в енергії для підтримання його температурного режиму, зокрема для підігріву субстрату та термостабільності, а також на нагнітання і перемішування субстрату. В умовах західного регіону України затрати біогазу на власні потреби БГГ в холодну пору року сягають 50 %. Частково ця проблема вирішується покращенням зовнішньої теплоізоляції, насамперед завдяки застосуванню мінеральної вати. При теплоізоляції з тепловим опором $K = 2,7 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ в зимовий період затрати на підігрів субстрату і термостабілізацію складають 220 Вт/м^3 реактора. При об'ємі реактора 4 м^3 витрати теплоти на власні потреби БГГ за три зимові місяці складуть 5100 МДж. Для попереднього підігріву субстрату та термостабілізації можна частково використовувати нагріту в дизель-генераторі теплу воду. Можна застосувати оригінальну систему «внутрішнього обігріву». Але останнє вимагає спалювання отриманого в БГГ біогазу, що є нераціонально, враховуючи його високу енергетичну цінність. Тому доцільніше використати інші джерела теплоти.

В умовах Львівщини на 1 м² горизонтальної поверхні за рік надходить приблизно 1100 кВт-год сонячної радіації, з них 75 кВт-год в зимові місяці. Використовуючи сонячний колектор площею 2 м², орієнтований на південь з кутом нахилу до горизонтальної поверхні рівним 50 град. (що відповідає в середньому географічній широті місцевості) можна отримати при коефіцієнті корисної дії 0,6 протягом року біля 1500 кВт/год або 5400 МДж теплової енергії, з них зимою не більше 15 %. Отже сонячний колектор даної площі взимку не в змозі покрити вагому частку потреб БГГ в теплі. Нарощування площі колектора не є доцільним з економічних міркувань. Тому для цих цілей варто задіяти ще один геліопристрій, а саме сонячний параболоциліндричний концентратор. Даний концентратор може продукувати, враховуючи наявність системи орієнтації на Сонце відповідно до географічної ширини місцевості, до 6000 МДж теплової енергії, з них в зимовий період – до 1200 МДж. Таким чином сумарно вказані колектор і концентратор взимку можуть виробити 2000 МДж теплової енергії шляхом нагрівання води до температури 45 – 50 °С, яка зможе покривати до третини власних енергетичних потреб БГГ.

Третім елементом сонячної енергетики, який доцільно використовувати з точки зору покриття власних потреб БГГ в теплі, є сонячний ставок (СС) як сезонний аккумулятор теплоти. При об'ємі води 16 м³ з середньою температурою 55 – 60 °С теоретичний запас теплової енергії СС (відносно температурного рівня 10 °С) становить біля 3300 МДж. Отже сонячні ставок, колектор і концентратор сукупно здатні покрити власні потреби БГГ в теплоті в зимовий період. Але при цьому для зменшення втрат теплоти СС доцільно використати протягом жовтня-грудня.

Такий вигляд має максимальне врахування передових екологічних та енергозберігаючих технологій і їх комбінацій при виконанні проекту впровадження біогазової

установки у сільськогосподарському подвір'ї. На практиці можливе використання проекту, як в повному обсязі, так і окремих його складових.

Контрольні запитання і завдання

1. В яких умовах доцільно встановлювати біогазові установки?
2. Які негативні явища усуваються при застосуванні біогазових установок?
3. В чому полягає суть процесу утворення біогазу?
4. Поясніть причину ізоляції процесів, що протікають в біореакторі від навколишнього повітря.
5. Що таке анаеробні процеси?
6. Звідки береться в реакторі газ метан?
7. Опишіть основні фази процесів бродіння в біогазових генераторах.
8. Що таке мезофільний і термофільний режими в біореакторі?
9. Які фракції субстрату виникають в процесі бродіння в біогазовому реакторі?
10. Що є сировиною для анаеробної переробки в біореакторах?
11. Представте класифікацію біогазових установок.
12. Чим відрізняються побутові біогазові установки від промислових?
13. Опишіть температурні режими роботи біогазових установок.
14. Приведіть поділ біогазових установок за технологічним процесом.
15. Охарактеризуйте особливість біогазових установок дискретної дії.
16. В чому полягає різниця між одноступеневими і двоступеневими біогазовими установками?
17. Охарактеризуйте суть двостадійного бродіння.
18. Опишіть основні елементи побутових газових установок.
19. Призначення і типи системи завантаження.
20. Приведіть схеми систем завантаження.
21. Представте класифікацію біореакторів.

22. Особливості вертикальних біореакторів.
23. Принцип роботи горизонтальних біореакторів.
24. Призначення газгольдерів.
25. Особливості суміщених біореакторів.
26. Призначення системи перемішування.
27. Типи систем перемішування
28. Принцип дії і відмінності систем перемішування.
29. Представте класифікацію мокрих газгольдерів.
30. Принцип дії і конструктивні особливості газгольдерів.
31. Охарактеризуйте газгольдери змінного тиску.
32. Опишіть системи підігрівання біореакторів.
33. Конструктивні особливості систем підігрівання. Позитивні і негативні сторони.
34. Зобразіть схеми систем підігрівання біореакторів.
35. Охарактеризуйте промислові біогазові системи.
36. Чим відрізняються промислові біогазові установки від побутових?
37. Як отримати електричний струм в промислових біосистемах?
38. Які енергозберігаючі заходи підвищують ефективність виробництва біогазу?
39. Представте схему використання поновлювальних джерел енергії в комбінації з побутовими біогазовими установками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Желих В.М., Возняк О.Т., Юркевич Ю.С. Нетрадиційні джерела енергії. – Львів: В-во НУ «Львівська політехніка», 2009. – 83 с.
2. Козирь В.С., Рубан С.Ю., Сокрут О.В. та ін. Біогаз – джерело альтернативної енергії. – Дніпропетровськ, 2009. – 136 с.
3. Баадер В, Доне Е., Бренндерфер М. Біогаз: теорія і практика – М.: Колос, 1982. – 148 с.
4. Некрасов В. Микробиологическая анаэробная консерсия биомассы. – М.: Колос, 2008. – 215 с.
5. Дубровський В.С., Виестур У.Е. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов. – Рига: Зинатне. – 1988. – 204 с.
6. Веденев А.Г., Веденев Т.А. Биогазовые технологии установки в Кыргызской Республике. – Бишкек: Евро, 2006. – 90 с.
7. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Основи біогазових технологій та параметри оптимізації процесу зброджування // Праці Таврійського держ. агротехнол. ун-ту. – Мелітополь: 2009. – Т 1, Вип. 9. – С. 20 – 30.
8. Дурдыбаев С.Д., Данилкин В.С., Рязанцев В.П. Утилизация отходов животноводчества и птицеводства.- М. : Агропромформ. – 1989. – 53 с.
9. Калетник Г.М. Біопаливна галузь і енергетична та продовольча безпека України // Вісник аграрної науки. – 2009. – № 8. – С. 62 – 64.
10. Комков В.А. Экологические и технические аспекты создания нетрадиционных источников энергии. – М., 1998. – 95 с.
11. Лозановская И.Н., Попов П.Д. Теория и практика использования органических удобрений. – М. : Агропромиздат, 1987. – 95 с.

12. Никитин Г.А. Метановое брожение в биотехнологии. Учебное пособие. – К.: Вища школа, 1990. – 207 с.
13. Панцхава Е.С., Кошкин Н.Л. Биоэнергетические установки по конверсии органических отходов в топливо и органические удобрения // Теплоэнергетика. – 1993. – № 4. – С. 20 – 23.
14. Ратушняк Г.С., Джеджула В.В. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2008. – 117 с.
15. Ратушняк Г.С., Джеджула В.В. Інтенсифікація теплообміну та термостабілізації біореакторів // Вісник ВПІ. – 2006. – № 2. – С. 26 – 31.
16. Рябов Г.А. Использование биомассы и отходов производства для решения проблем энергосбережения // Электрические станции. – 2005. – № 7. – С. 33 – 38.
17. Семененко И.В. Проектирование биогазовых установок. – К.: Техніка, 1992. – 346 с.
18. Сорокин О.А. Переработка отходов сельскохозяйственных производств биоконверсией // Промышленная энергетика. – 2005. – № 8. – С. 39 – 45.
19. Таргоня В.С., Ясинецкий В.А. Оборудование для получения биогаза из навоза // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. – № 44. – С. 23 – 24.
20. Якушко С.І., Яхненко С.М. Установка комплексної переробки органічних відходів за енергозберігаючою технологією // Вісник «СумДу». – 2006. – № 12(96) – С.81 – 84.
21. Біогазоенергетика на органічних відходах / Козирь В.С., Сокрут О.В., Філяк М.М. // Методичні рекомендації. – Дніпропетровськ: Деліта, 2008. – 24 с.
22. Дедух Д.Г. Достоинства и недостатки энергетики на нетрадиционном сырье // Актуальные проблемы современной науки. – 2004. – № 6. – С. 412 – 416.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Загальні відомості	5
2. Процес утворення біогазу	7
3. Склад і властивості біогазу	9
4. Характеристика сировини для анаеробного бро- діння	11
5. Класифікація біогазових установок	18
6. Конструкція і принцип роботи побутових біогазових установок	21
6.1 Система завантаження	22
6.2. Біореактор (метантенк).....	23
6.3. Система перемішування	24
6.4. Газгольдери.....	25
6.5. Система підігрівання біореакторів	28
7. Конструктивно-технологічні схеми промислових біо- газових систем	30
8. Енергозберігаючі заходи в процесі виробництва біо- газу	36
8.1. Варіанти реалізації енергозберігаючих захо- дів.....	36
8.2. Комплексні використання поновлюваних джерел енергії в умовах сільської садиби.....	40
Контрольні запитання і завдання.....	46
Список літератури	48
Зміст	50

Навчальне видання

**ТИМОШИК Андрій Михайлович,
ЦІЖ Богдан Романович,
ВАРИВОДА Юрій Юрійович,
ЧОХАНЬ Марія Іванівна**

Виробництво біогазу

Навчальний посібник

Комп'ютерна верстка:

І. Колич

Підписано до друку 23.02.2019 р. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Папір офсетний. Тираж 300 прим.
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького
м. Львів, вул. Пекарська, 50.