

**Методичні вказівки  
до виконання розрахункової роботи  
на тему "Обґрунтування технологічних параметрів  
біогазових установок" з дисципліни  
"Енергозбереження та експлуатація систем  
теплогазопостачання і вентиляції" для студентів  
напряму підготовки "Будівництво"**

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки**  
**до виконання розрахункової роботи**  
**на тему "Обґрунтування технологічних параметрів**  
**біогазових установок" з дисципліни**  
**"Енергозбереження та експлуатація систем**  
**теплогазопостачання і вентиляції" для студентів**  
**напряму підготовки "Будівництво"**

Вінниця  
ВНТУ  
2011

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 6 від 17.02.2011 р.)

Рецензенти:

**С. Й. Ткаченко**, д.т.н., професор

**І. В. Коц**, к.т.н., доцент

Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи на тему "Обґрунтування технологічних параметрів біогазових установок" з дисципліни "Енергозбереження та експлуатація систем теплогазо-постачання і вентиляції" для студентів напряму підготовки "Будівництво" / Уклад. Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 24 с.

У методичних вказівках наведено загальні відомості про виробництво біогазу, а також розрахунок основних технологічних параметрів біогазових установок, що містить теоретичні положення розрахунку та приклади розрахунку біогазових установок. Для полегшення самостійного виконання завдань наводиться список рекомендованої літератури.

Призначені для студентів будівельних спеціальностей денної і заочної форми навчання.

## Зміст

1	Загальні відомості про виробництво біогазу.....	4
1.1	Способи перероблення біологічної маси для отримання палива.....	4
1.2	Анаеробна ферментація для отримання біогазу.....	5
1.3	Характеристика біогазових реакторів.....	7
1.4	Шляхи інтенсифікації та термостабілізації процесу анаеробного бродіння.....	9
2	Розрахунок основних технологічних параметрів біогазових установок..	15
2.1	Теоретичні положення розрахунку біогазових установок.....	15
2.2	Приклади розрахунку біогазових установок.....	16
	Додатки.....	21
	Література.....	23

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБНИЦТВО БІОГАЗУ

## 1.1 Способи перероблення біологічної маси для отримання палива

Біологічну масу переробляють з метою отримання тепла або палива високої якості. Враховуючи вид виробленого кінцевого продукту (тверде, рідке або газоподібне паливо), існують різні способи перероблення біомаси: термічний, хімічний, термохімічний, біологічний, біохімічний.

Вибір способу перероблення залежить від виду біомаси, кінцевої мети (одержання твердого, рідкого або газоподібного палива), економічної та екологічної доцільності та ін.

Залежно від способів перероблення органічної маси на рис. 1 наведено класифікацію основних типів енергетичних процесів.

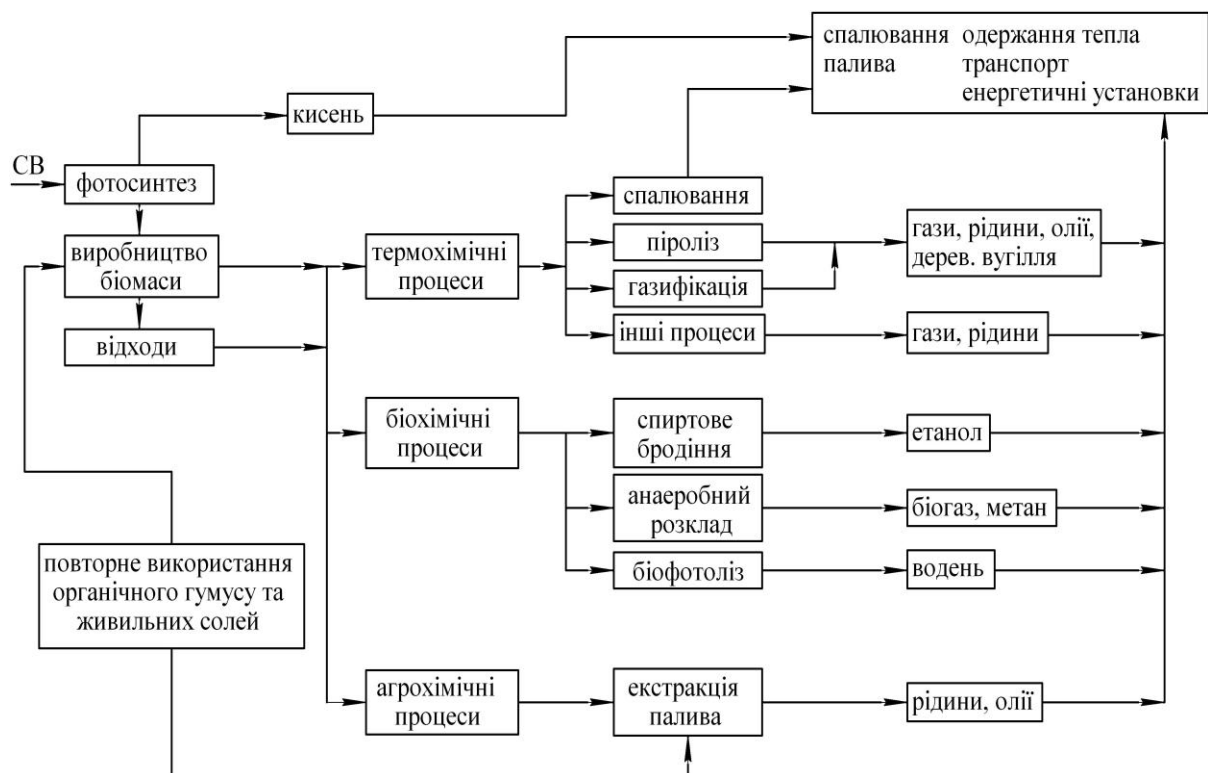


Рисунок 1 – Енергетичні процеси перероблення біомаси

Термохімічні процеси:

- спалювання: з метою отримання теплоти (сухе гомогенне паливо);
- піроліз. Біомасу нагрівають до температури 450...550 °С без доступу повітря. Отримують твердий залишок – кокс (деревне вугілля), гази (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O тощо) та рідинну масу (спирти, олії тощо);

- газифікація. Процес нагрівання (часткове спалювання) палива з обмеженою кількістю повітря (кисню) у діапазоні температур 800...1600 °C та тиску від 1,0 до 10,0 МПа. Під час газифікації утворюється синтез-газ (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> у відповідній пропорції);
- гідрогенізація: з різними варіантами попередньої підготовки сировини і проведення самого процесу.

Біохімічні процеси:

- спиртова ферментація. Етиловий спирт (альтернатива бензину), як правило, виробляється мікроорганізмами в процесі ферментації;
- анаеробна переробка. Без кисню мікроорганізми здатні поглинати енергію, безпосередньо переробляючи вуглецевмісні компоненти і виробляючи внаслідок цього CO<sub>2</sub> і CH<sub>4</sub>. Це також ферментація, але її називають бродіння за аналогією з процесами в тракті перетравлювання їжі в жуйних тварин. Отриману суміш CO<sub>2</sub> і CH<sub>4</sub>, а також супутніх газів, називають біогазом;
- біофотоліз. Біофотоліз – розклад води на водень та кисень під дією світла. Якщо водень згоряє або вибухає як паливо в суміші з повітрям, то проходить рекомбінація O<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>. Деякі мікроорганізми продукують або можуть продукувати водень таким біофотолізом.

Агрохімічні процеси:

- екстракція палива. Рідке або тверде паливо можна отримати прямо від живих або свіжозрізаних рослин, з яких збирають або витискають пресом сік (наприклад, виробництво каучуку).

## **1.2 Анаеробна ферментація для отримання біогазу**

Продуктом анаеробної ферментації органічних речовин є біогаз – суміш CO<sub>2</sub> і CH<sub>4</sub>. Органічні речовини розкладаються метановими бактеріями за таких основних сприятливих умов для їх життєздатності:

- 1) відсутність вільного кисню;
- 2) достатня кількість азоту;
- 3) наявність лужного середовища (pH = 6,6...7,2);
- 4) відсутність світла;
- 5) відповідне значення температури;
- 6) висока вологість (вище 50%).

Розкладання органічних речовин протікає в процесі життєдіяльності бактерій, котрий можна умовно розділити на два етапи. На першому кислотоутворювальному етапі бактерії перетворюють високомолекулярні органічні з'єднання в низькомолекулярні. Другий етап називається алкалічною газифікацією, в якому метанові бактерії синтезують необхідний для їх життєдіяльності кисень з молекул кислот, з виділенням  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  і  $\text{H}_2\text{O}$ .

Біогаз, що утворюється при метановому бродінні, являє собою суміш, що складається із 50...80% метану, 15...20% вуглекислого газу, біля 1% сірководню, а також незначної кількості деяких інших газів (азоту, кисню, водню, аміаку, окису вуглецю тощо).

Як вихідний матеріал для одержання біогазу можуть бути використані відходи тваринницьких ферм та різних рослин, побутові органічні відходи населених пунктів. Вихід і склад біогазу (вміст основного пального газу – метану) визначається значною кількістю чинників, але в основному залежить від складу вихідної сировини. Вихід біогазу з різних відходів сільськогосподарського виробництва та органічних побутових й промислових відходів подано у табл. 1.

### **1.3 Характеристика біогазових реакторів**

Біогазовий реактор – основа будь-якої біогазової установки, тому до його конструкції висуваються досить жорсткі вимоги. Корпус біогазового реактора повинен бути досить міцний при абсолютній герметичності його стінок. Обов'язковими є надійна теплоізоляція стінок та їх властивість протистояти корозії. При цьому необхідно передбачити можливість завантаження та вивантаження реактора. Принцип роботи всіх біогазових установок однаковий: після збору й підготовки сировини, що полягає в доведенні її до необхідної вологості в спеціальній ємності, вона подається в реактор, в якому створюються умови для оптимізації процесу анаеробного бродіння.

За конструктивними ознаками біогазові реактори бувають одно- та багатореакторні. Більшу продуктивність мають багатореакторні установки, в яких забезпечується безперервний цикл анаеробного бродіння.

В невеликих біогазових установках важливим є досягнення високого ступеня розкладення субстрату, оскільки в них необхідно забезпечити

рівномірне перемішування біомаси, управління завантаженням робочого об'єму камери та дотримання часу перебування маси в реакторі. Руйнування плаваючої кірки та осаду пов'язано зі значними витратами.

Таблиця 1 – Вихід біогазу і вміст у ньому метану при використанні різних видів відходів

Вихідна сировина	Вихід біогазу на 1 кг сухої речовини, л/кг	Вміст метану (CH <sub>4</sub> ), %
1	2	3
Гній великої рогатої худоби	200 – 300	50
Гній свинячий	340 – 480	60 – 75
Кінський гній із соломою	250	56 – 60
Бадилля картопляне	420	60
Стебла кукурудзи	420	53
Солома пшенична	342	58
Лузга соняшникова	300	60
Силос	250	84
Трава свіжа	360	52
Буряк	430	84
Тирса деревини	220	51
Твердий осад стічних вод	570	70
Фекальний осад	250 – 310	60
Домашні відходи і сміття	600	50

Принципову енергозберігаючу технологічну схему утилізації органіки в біогазовій установці наведено на рис. 2. Субстрат із накопичувального резервуару після подрібнення та стерилізації в блоці підготовки субстрату надходить до біогазової установки. Процес анаеробного бродіння відбувається ефективніше при його інтенсифікації та термостабілізації. Інтенсифікувати процес вивільнення біогазу можна за рахунок перемішування органічної маси віброактивацією, барботуванням чи механічним способом. Важливим аспектом стабільності теплового режиму в біогазовій установці є підігрівання субстрату та одночасна теплоізоляція стінок реактора від коливань температур навколишнього середовища.



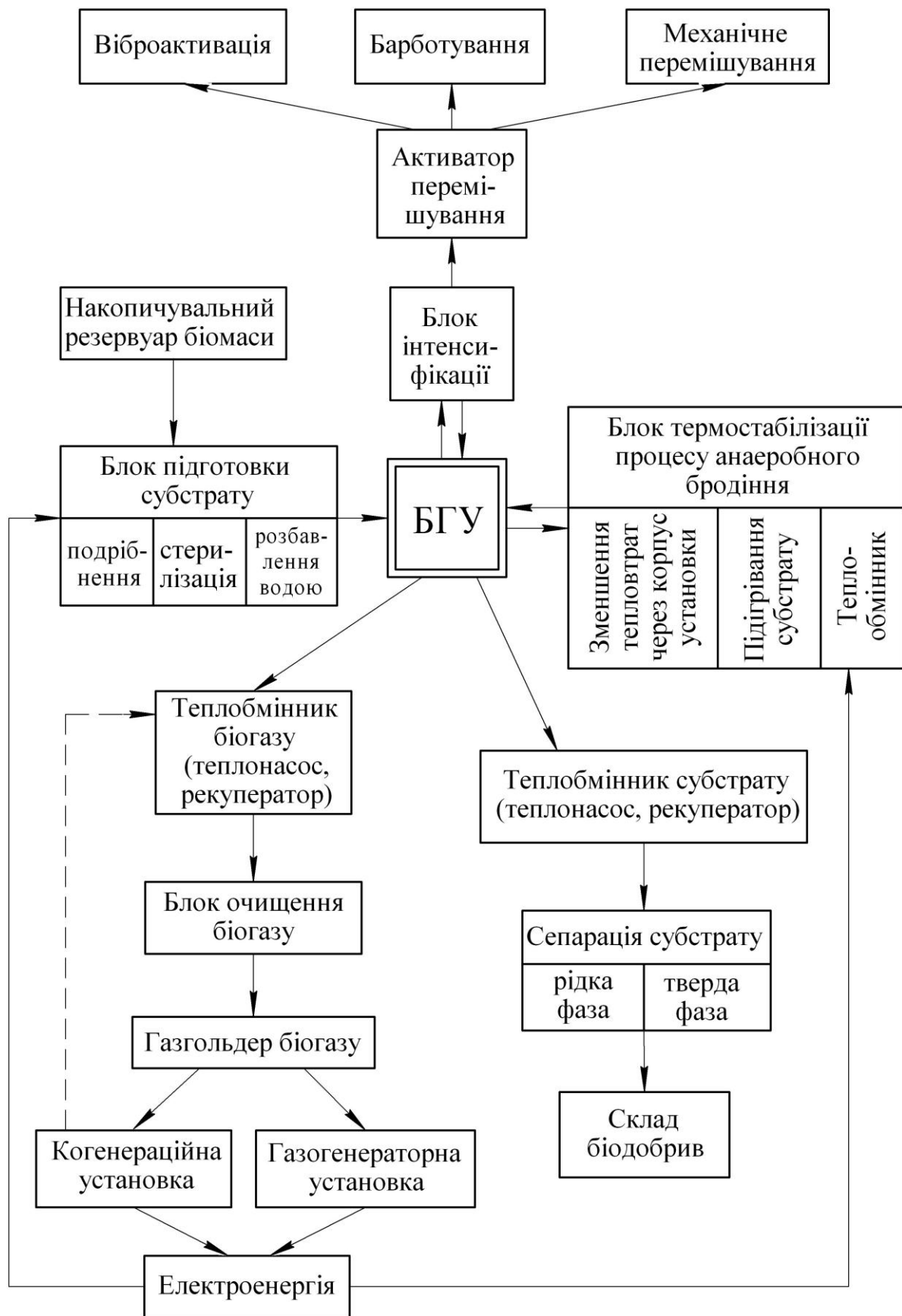


Рисунок 2 – Принципова енергозберігаюча технологічна схема утилізації органіки в біогазовій установці (БГУ)

Класифікацію біогазових реакторів за конструктивними ознаками наведено на рис. 3.



Рисунок 3 – Класифікація біогазових реакторів за конструктивними ознаками

З точки зору створення найбільш сприятливих умов для перемішування рідкого субстрату, накопичення газу, видалення відпрацьованих добрив та руйнування кірки, що утворюється на поверхні, доцільно використовувати резервуар, який за формою нагадує яйце (рис. 4). Великі реактори такої форми зазвичай споруджують із бетону, тому для них характерна висока вартість виготовлення, що суттєво обмежує їх застосування. Проте реактори менших об'ємів зовсім нескладно виконати із склопластика, тобто із армованої поліефірної смоли, до того ж вони мають меншу вартість.

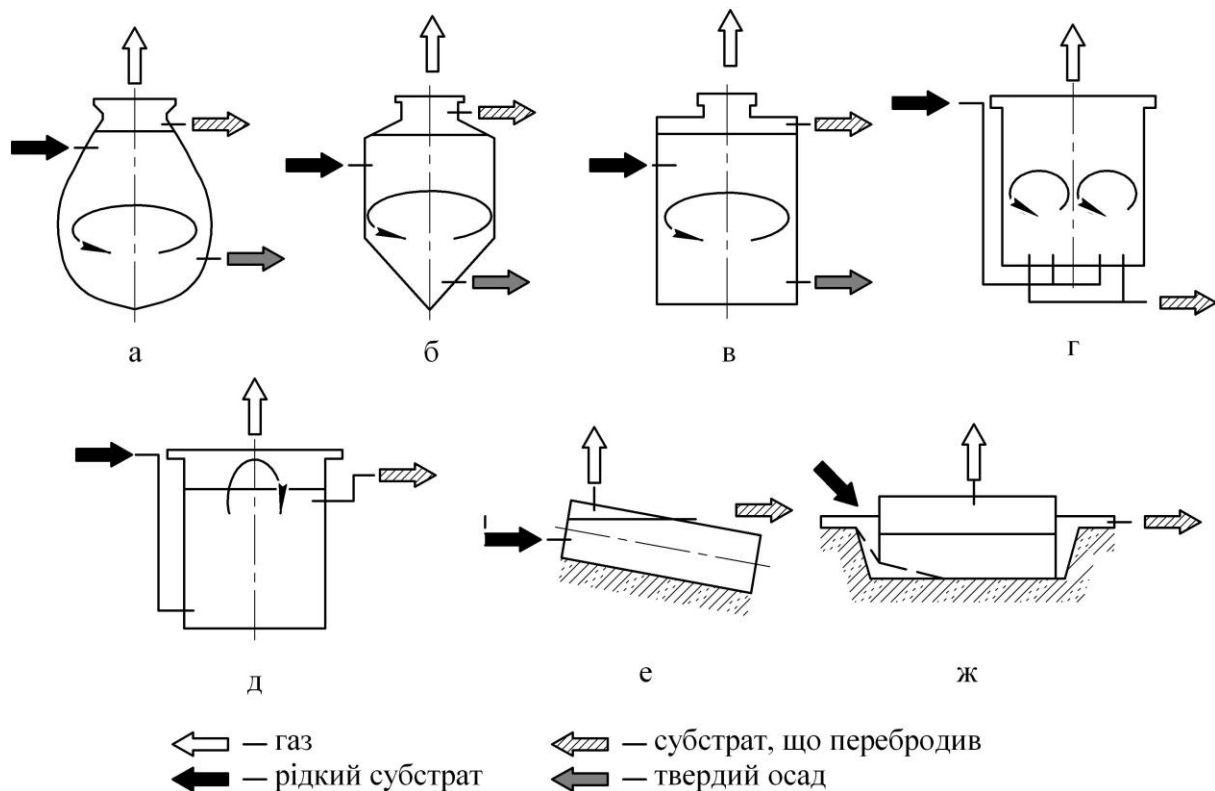


Рисунок 4 – Найбільш поширені типи резервуарів біогазових реакторів:

а – у вигляді яйця, б – циліндричний з конусними верхньою та нижньою частинами, в – циліндричний, г – циліндричний з перегородкою, д – у вигляді паралелепіпеда (з перегородкою), е – циліндричний (розміщений з нахилом), ж – траншея в ґрунті (із кришкою).

#### 1.4 Шляхи інтенсифікації та термостабілізації процесу анаеробного бродіння

Необхідними умовами для перероблення органічних відходів всередині реактора біогазової установки є:

- створення безкисневого режиму;
- дотримання температурного режиму;
- доступність поживних речовин для бактерій;
- вибір оптимального часу бродіння та своєчасне завантаження і вивантаження сировини;
- дотримання кислотно-лужного балансу;
- дотримання співвідношення вмісту вуглецю і азоту;
- правильна пропорція твердих частин в сировині та перемішування;
- відсутність інгібіторів процесу.

Класифікацію факторів оптимізації напрямків процесу анаеробного бродіння наведено на рис. 5.

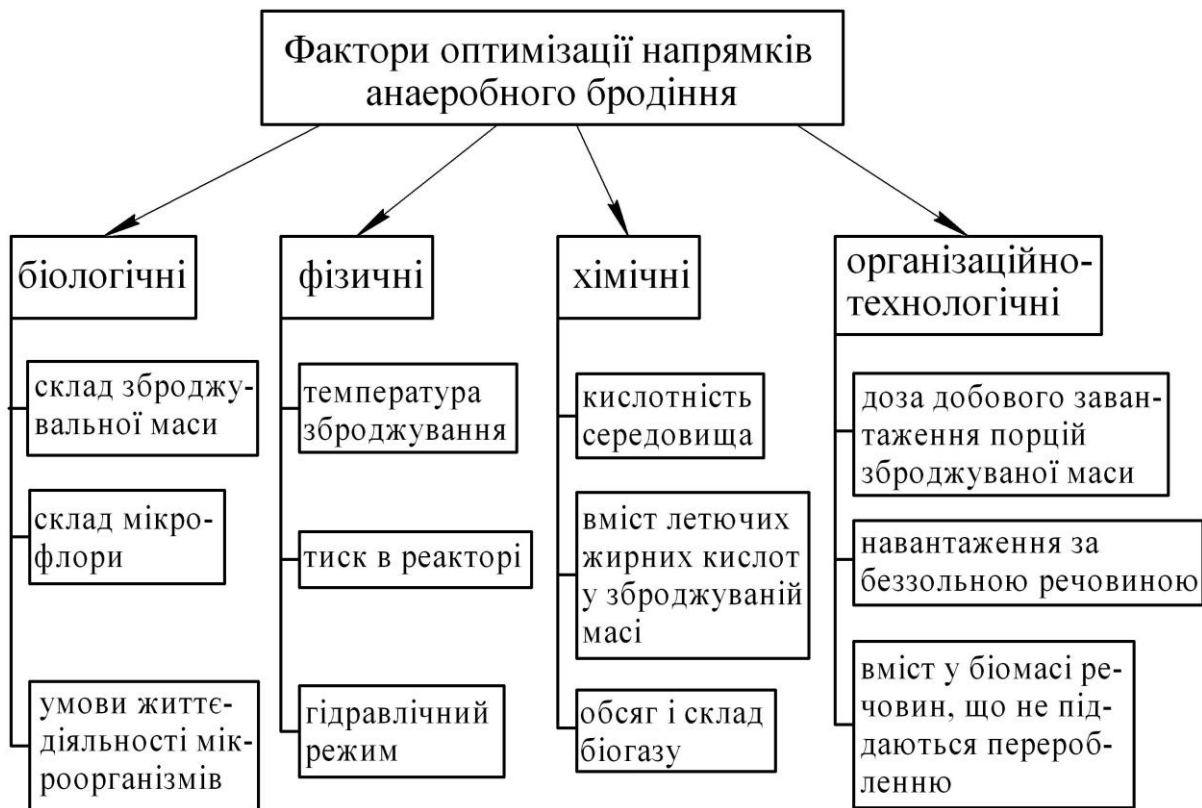


Рисунок 5 – Класифікація факторів оптимізації напрямків процесу анаеробного бродіння

Для збільшення виходу біогазу в результаті анаеробного бродіння субстрату в біогазовій установці широко застосовується процес перемішування суміші. Перемішування інтенсифікує процеси всередині біореактора та запобігає утворенню осаду і плаваючої кірки на поверхні біомаси, що призводить до збільшення утворення біогазу із органічних відходів, а отже до зростання ефективності біогазової установки. Відомо механічне, гідравлічне і аеродинамічне перемішування сумішей. Найбільш перспективним устаткуванням для інтенсифікації процесу анаеробного бродіння субстрату є біореактори із механічним перемішуванням.

Механічне перемішування сумішей здійснюється лопатевими, пропелерними, турбінними та спеціальними мішалками. Класифікацію перемішувальних пристроїв для біогазових реакторів наведено на рис. 6.

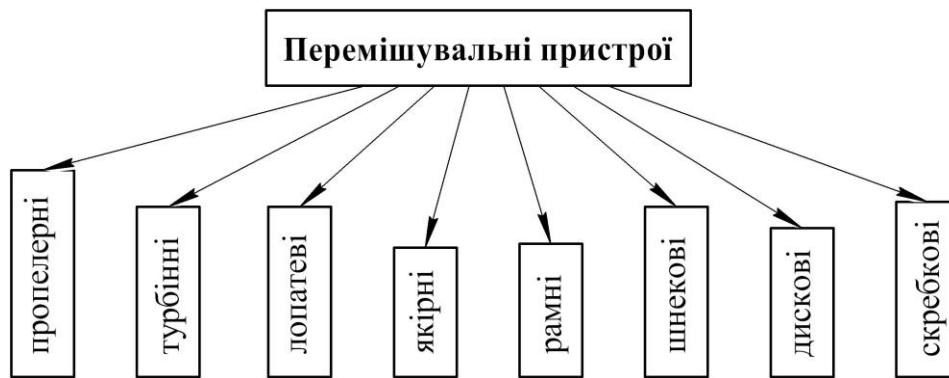


Рисунок 6 – Класифікація перемішувальних пристроїв для біогазових реакторів

Турбінні мішалки оснащено лопатями і вони мають чітко окреслений ротор. В залежності від способу кріплення лопатей і їх конфігурації в анаеробній біоконверсії зустрічаються різні типи турбінних мішалок. Найбільш простою та одночасно високоефективною є мішалка з прямими радіально розміщеними лопатями. Плоскі лопаті можуть бути нахилені під певним кутом відносно площини обертання мішалки для кращого перемішування субстрату.

Пропелерні мішалки вважаються найбільш ефективними в тих випадках, якщо необхідно створити значну циркуляцію субстрату в біогазовій установці при мінімальній витраті механічної енергії. Вони виконують цю задачу краще, ніж мішалки іншого типу, наприклад, турбінні. Пропелерні мішалки створюють осьову циркуляцію органічних відходів всередині реактора за рахунок насосного ефекту, тому вони легко піднімають тверді частинки з його дна.

Лопатеві мішалки почали першими використовуватись в системах біоконверсії та в хімічній промисловості взагалі. На сьогодні вони використовуються у тих випадках, якщо немає необхідності в інтенсивній радіально-осьовій циркуляції органічної суміші в біогазовій установці. Основною перевагою лопатевих мішалок є їх простота та низька вартість.

Якірні та рамні мішалки вирізняються виключно низьким числом обертів. Діаметр таких мішалок наближається до діаметра біогазового реактора, а зазор між лопаттю та стінкою реактора є незначним. Таким чином, у випадку застосування цих мішалок, можна уникнути місцевого перегріву субстрату чи виникнення осаду на дні реактора.

Шнекові мішалки працюють за тим принципом, що і пропелерні, але при менших числах обертів. Вони застосовуються для перемішування

сумішей значної в'язкості, зокрема для органічного субстрату всередині біогазової установки. В цьому випадку вони затрачають менше енергії, ніж пропелерні мішалки, для створення однакової циркуляції субстрату в біореакторі.

Використання дискових та скребкових мішалок в процесах біоконверсії є неефективним, тому майже не застосовується.

В залежності від температурного інтервалу, що підтримується в біогазовій установці в процесі роботи, розрізняють такі режими зброджування:

- кріофільний ( $t < 20^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{опт}} = 5 - 15^{\circ}\text{C}$ );
- мезофільний ( $t = 25 - 45^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{опт}} = 32 - 42^{\circ}\text{C}$ );
- термофільний ( $t = 45 - 55^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{опт}} = 48 - 51^{\circ}\text{C}$ ).

Кріофільний режим зброджування не потребує спеціального підігріву субстрату, протікає при температурі навколишнього середовища і використовується на невеликих індивідуальних установках у країнах з теплим кліматом. Як правило, такі установки мають дискретний характер завантаження і вивантаження. Перевагою кріофільного режиму є відсутність витрат теплової енергії на підтримку стабільної температури.

До недоліків слід віднести повільне протікання біологічних процесів і низький вихід біогазу.

Мезофільний режим зброджування, як це підтверджено численними дослідженнями і практикою експлуатації установок, протікає найбільш інтенсивно в температурному інтервалі  $32 - 42^{\circ}\text{C}$ . При цьому найбільш активно «працюють» метаногенні бактерії з максимальним утворенням біогазу. Однак відхилення від оптимального інтервалу температур на  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  приводить до зменшення виходу біогазу в 2 – 2,5 рази, що свідчить про чутливість бактерій до температури середовища і потребує виконання заходів щодо її підтримки.

Підігрівання і підтримання стабільної температури зброджування здійснюється, як правило, прокачуванням нагрітої води через спеціальні теплообмінники, змонтовані в біогазовій установці. Нагріту воду одержують у котельному агрегаті, використовуючи для його роботи частину одержуваного біогазу.

Термофільний режим дає можливість одержувати максимальну кількість біогазу за короткий термін зброджування. Інтенсивність зброджування в 2 рази вища, а час перебування в біогазовій

установці в 2 рази менший, ніж при мезофільному. Однак підтримання порівняно високої температури потребує значних витрат енергії.

Біогазова установка, що добре функціонує, приносить ряд переваг своєму власнику, суспільству та навколишньому середовищу в цілому.

Економія коштів:

- можливість економити кошти, що раніше витрачалися на паливо та електроенергію;
- економія коштів, які витрачаються на купівлю добрив та гербіцидів.

Можливість отримання додаткових коштів:

- продаж біогазу та біопалива;
- додаткові кошти при підвищенні врожайності сільськогосподарських культур за рахунок застосування біодобрив;
- додаткові кошти при розведенні худоби та птиці за рахунок кормових добавок із переробленої сировини.

Швидка окупність установок:

- біогазова установка з підігрівом сировини будь-якої потужності окупується приблизно за рік експлуатації;
- зменшується ризик респіраторних та очних захворювань за рахунок очищення повітря в результаті зменшення кількості органічних відходів в місцях їх складування;
- покращується стан здоров'я за рахунок отримання екологічно чистої сільськогосподарської продукції при використанні екологічно чистих добрив.

Екологічна вигідність:

- зменшення викидів метану в атмосферу (парниковий газ), який утворюється при зберіганні гною під відкритим небом;
- зменшення викидів вуглекислого газу та продуктів згоряння вугілля, дров та інших видів палива;
- зменшення забруднення повітря азотистими з'єднаннями, що мають неприємний запах;
- зменшення забруднення водних ресурсів гнійними стоками;
- збереження лісів від вирубування;
- зменшення використання хімічних добрив.

## 2 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

### 2.1 Теоретичні положення розрахунку біогазових установок

Продуктивність біогазової установки визначається за формулою

$$V_{\hat{a}} = \hat{A}_{\hat{a}\hat{e}} \cdot \hat{a} \cdot \mathcal{G} \cdot \hat{E}, \quad (2.1)$$

де  $\hat{a}$  – кількість органічних речовин, %;

$\mathcal{G}$  – вихід біогазу на 1 кг органічної речовини (ОР). Орієнтовні значення  $\mathcal{G}$  для великої рогатої худоби (ВРХ) – 0,24...0,3 м<sup>3</sup>/кг; для свиней 0,4...0,45 м<sup>3</sup>/кг; для птиці – 0,6 м<sup>3</sup>/кг;

$K$  – коефіцієнт бродіння (0,4 – 0,3);

$B_{\hat{a}\hat{e}}$  – кількість екскрементів за добу.

Кількість екскрементів за добу визначається за умови

$$\hat{A}_{\hat{a}\hat{e}} = n_1 b_1 + n_2 b_2, \quad (2.2)$$

де  $n_1, n_2$  – кількість тварин різного виду;

$b_1, b_2$  – питомий вихід екскрементів на одну тварину різного виду.

Для розрахунку добового виходу біогазу використовують універсальне співвідношення Чена та Хошіміто, котре враховує тип біомаси і операційні характеристики біогазового реактора:

$$V_{\hat{a}} = \frac{(\mathcal{G}_{\hat{a}\hat{\delta}} \cdot \hat{E}_{\hat{i}\hat{\delta}})}{\tau} \cdot \left( 1 - \frac{\hat{E}}{(\tau \cdot \omega_{\max} - 1 + K)} \right), \quad (2.3)$$

де  $V_{\hat{a}}$  – добовий вихід метану СН<sub>4</sub> (м<sup>3</sup> за добу з 1 м<sup>3</sup> реактора);

$\mathcal{G}_{\hat{a}\hat{\delta}}$  – граничний вихід метану за добу (м<sup>3</sup> за добу з 1 кг ОР), що становить для гною ВРХ  $0,2 \pm 0,05$ , а для свинячого гною  $0,5 \pm 0,05$ ;

$K_{\hat{i}\hat{\delta}}$  – концентрація ОР на виході, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – час повного обміну рідини в реакторі, діб;

$K$  – кінематичний коефіцієнт:

- для гною ВРХ  $K = 0,8 + 0,001e^{0,06S}$ ,

- для свинячого гною  $K = 0,5 + 0,0043e^{0,091S}$ ;

$\omega_{\max}$  – максимальна швидкість росту мікроорганізмів, доба<sup>-1</sup>, яка залежить від температури бродіння  $T_{\hat{\delta}}$ :  $\omega_{\max} = 0,013 \cdot T_{\hat{\delta}} - 0,129$ .

Об'єм біогазової установки:

$$V_i = \tau \cdot V_{\hat{\delta}} \cdot \hat{E}_{\hat{\delta}}, \quad (2.4)$$



де  $V_d$  – об'єм рідкої маси екскрементів, подають в установку за добу;

$\hat{E}_\xi$  – коефіцієнт, який враховує поправку на об'єм біогазу.

Рівняння теплового балансу біогазової установки:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (2.5)$$

де  $Q$  - кількість тепла з виробленого біогазу протягом доби:

$$Q = V_d \cdot Q_i^N, \quad (2.6)$$

де  $V_d$  – кількість біогазу, який утворюється протягом доби;  $Q_i^N$  – теплотворна здатність біогазу, кДж/ м<sup>3</sup>;

$Q_1$  - кількість теплоти, яка необхідна для підігрівання органічних речовин в об'ємі добової продуктивності установки:

$$Q_1 = B_{ek} \cdot C_p \cdot \Delta t(t_k - t_i), \text{ мДж/добу}, \quad (2.7)$$

де  $Q_2$  – втрати теплоти через поверхню реактора;

$Q_3$  – кількість теплоти, яка еквівалентна спожитій електричній енергії;

$Q_4$  – кількість теплоти, яка еквівалентна енергії, затраченій на перемішування органічних речовин в метантенку.

## 2.2 Приклади розрахунку біогазових установок

Задача 1. Розрахувати продуктивність біогазової установки  $V_d$ , якщо в господарстві є  $n_1$  тварин ВРХ і  $n_2$  свиней. Тривалість бродіння  $\tau$  діб, температура ферментації  $t$  °С.

Для варіантів значення вихідних величин наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані для розв'язання задачі 1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_1$	3	4	6	8	10	12	14	16	18
$\tau$ , діб	20	10	20	10	5	10	5	10	10
$t$ °С	34	32	36	40	50	36	40	44	48
$n_2$	10	20	30	10	20	15	25	30	20

### Розв'язання

Приймаємо  $n_1=3$  (ВРХ);  $n_2=20$  свиней;  $\tau=10$  діб;  $t=40$  °С.

Кількість екскрементів за добу:

$$\hat{A}_{ae} = n_1 b_1 + n_2 b_2 = 3 \cdot 55 + 20 \cdot 15 = 465 \text{ кг/добу}, \quad (2.8)$$

де  $b_1, b_2$  – вихід екскрементів за добу (додатки А, Б).

Можлива кількість біогазу:

$$V_a = \hat{A}_{ae} \cdot \dot{a} \cdot \vartheta \cdot \hat{E}, \quad (2.9)$$

де  $\dot{a}$  – кількість органічної маси з 1 кг екскрементів (0,0363...0,04кг);

$\vartheta$  – питома величина виходу біогазу з органічної маси, залежить від температури ферментації і тривалості процесу (додаток В):

$$V_a = 465 \cdot 0,0363 \cdot 0,265 \cdot 0,4 = 1,8. \quad (2.10)$$

Задача 2. Визначити об'єм газу з біогазогенератора внаслідок утилізації гною з  $n$  корів. Тривалість циклу бродіння  $\tau_a$ , температура  $t_\phi$ . Надходження сухого бродильного матеріалу від однієї корови складає  $m_0 = 2$  кг/добу. Вихід біогазу  $\vartheta = 0,24$  м<sup>3</sup>/кг, вміст СН<sub>4</sub> в біогазі 0,78. Розрахувати потужність біогазогенератора.

Для варіантів значення вихідних даних наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Вихідні дані для розв'язання задачі 2

Варіант	1	2	3	4	5	6	7
$n$	4	6	8	10	12	14	16
$t_\phi, ^\circ\text{C}$	40	42	44	38	39	45	37
$\tau_a, \text{діб}$	8	7	7	9	9	6	10

#### Розв'язання

Приймаємо:  $n=4$  (корів);  $\tau_a=10$  діб;  $t_\phi=40^\circ\text{C}$ .

Загальна маса сухого матеріалу:

$$m_c = n \cdot m_0 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кг/добу}, \quad (2.11)$$

Кількість газу, яка утворюється за добу:

$$V_6 = \vartheta \cdot m_c = 0,24 \cdot 8 = 1,92 \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (2.12)$$

Теплова потужність біогазогенераторної установки:

$$N = \eta \cdot Q_i^p \cdot V_a \cdot \hat{E}, \quad (2.13)$$

де  $\eta$  – ККД пальника;

$Q_n^p$  – калорійність біогазу (метан за нормальних умов має близько 28 МДж/м<sup>3</sup> = 56 кДж/кг);

$K = 0,78$  – частка метану в біогазі.

$$N = 0,92 \cdot 28 \cdot 10^6 \cdot 1,92 \cdot 0,78 / 24 \cdot 3600 = 446,5 \text{ Вт.} \quad (2.14)$$

Задача 3. Визначити розмір біогазової установки (об'єм, діаметр і висоту) для анаеробного процесу перероблення екскрементів  $V_{ек}$  (кг/добу). Тривалість ферментації  $\tau_{бр}$  (діб).

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 5.

Таблиця 5 – Вихідні дані для розв'язання задачі 3

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V_{ек}$ , кг/добу	280	220	340	250	150	300	200	260	180
$\tau_{бр}$ , діб	20	10	20	10	5	10	5	10	10

#### Розв'язання

Приймаємо:  $V_{ек} = 200$  кг/добу;  $\tau_{бр} = 10$  діб.

Кількість сухого матеріалу (органічних речовин):

$$m_0 = 200 \cdot 0,04 = 8 \text{ кг/добу.}$$

В біогазову установку подається рідка маса екскрементів, її визначають так:

$$V_p = m_0 / \rho_{ек}, \quad (2.15)$$

де  $\rho_{ек}$  – густина рідкої маси екскрементів, які подають в установку (1024 кг/м<sup>3</sup>).

$$V_p = 8 / 1024 = 0,008 \text{ м}^3/\text{добу.} \quad (2.16)$$

Об'єм генератора:

$$V_m = 10 \cdot 0,008 \cdot 1 = 0,08 \text{ м}^3. \quad (2.17)$$

На основі правила золотого перерізу площа біогазової установки:

$$F = 0,454 \cdot 0,08 = 0,04 \text{ м}^2. \quad (2.18)$$

Приймаючи конструкцію біогазової установки циліндричною, визначимо діаметр:

$$D = \sqrt{\frac{4}{3}F} = \sqrt{\frac{4}{3}0,04} = 0,23 \text{ м.} \quad (2.19)$$

Висота біогазової установки

$$h = \frac{V_1}{F} = \frac{0,08}{0,04} = 2 \text{ м.} \quad (2.20)$$

Задача 4. Біогазова установка об'ємом  $V$  переробляє сільськогосподарські відходи (гній ВРХ). Технологічні параметри анаеробного процесу: температура ферментації  $t_{\phi}$ , тривалість повного обміну біомаси  $\tau_{\text{бр}}$ . Визначити продуктивність установи з біогазу за добу.

Для варіантів значення вихідних даних наведено в табл. 6.

Таблиця 6 – Вихідні дані для розв'язання задачі 4

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8
$V_{\text{м}}, \text{ м}^3$	8	10	12	14	16	18	20	22
$t_{\phi}, ^\circ\text{C}$	40	41	42	39	43	38	44	45
$\tau_{\text{бр}}$ діб	10	12	14	16	12	14	10	12

#### Розв'язання

Приймаємо:  $V = 8 \text{ м}^3$ ;  $t_{\phi} = 40 ^\circ\text{C}$ ;  $\tau_{\text{бр}} = 10$  діб.

Продуктивність біогазової установки визначимо із співвідношення:

$$V_a = \frac{(v_{\text{ад}} \cdot \hat{E}_{\text{іо.д}})}{\tau} \cdot \left( 1 - \frac{\hat{E}}{(\tau \cdot W_{\text{max}} - 1 + K)} \right), \quad (2.21)$$

де  $v_{\text{гр}}$  - граничний вихід метану за добу з 1 кг гною ВРХ –  $0,2 \pm 0,05$ ;

$K_{\text{ор,р}}$  – концентрація ОР на виході ( $210 \text{ кг/м}^3$ );

$\tau$  – час повного обміну матеріалу в реакторі (10 діб);  $K$  – кінематичний коефіцієнт для гною (ВРХ):  $K = 0,8 + 0,001 \cdot e^{0,06S}$ ;

$S$  – ацетат, його величина коливається в межах 80 ... 120.

$$K = 0,8 + 2,7^{0,06 \cdot 85} = 158,47. \quad (2.22)$$

$W_{\max}$  – максимальна швидкість росту мікроорганізмів (доба<sup>-1</sup>) за температури  $t_{\phi} = 40 \pm 0,05$  °C, ( $T_{\phi} = 273 + 40 = 313$  K):

$$W_{\max} = 0,013 \cdot 313 - 0,129 = 3,94. \quad (2.23)$$

Продуктивність з 1 м<sup>3</sup> установки за добу:

$$V_a = \frac{(0,25 \cdot 210)}{10} \cdot \left( 1 - \frac{158,47}{(10 \cdot 3,94 - 1 + 158,47)} \right) = 1,0237 \frac{\text{л}^3}{\text{доба}}. \quad (2.24)$$

Задача 5. Розрахувати об'єм біогазу  $V_6$ , отриманого за допомогою біогазогенератора на утилізованому ним гної від чотирьох корів ( $n = 4$ ) та його енергетичну потужність. Час циклу зброджування становить  $\tau_r = 10$  діб, температура  $t = 40$  °C, подача сухого зброджуваного матеріалу від однієї тварини здійснюється зі швидкістю  $V_k = 2$  кг/добу, вихід біогазу складає  $\nu = 0,34$  м<sup>3</sup>/кг, ефективність пального пристрою  $\eta = 0,6$ , вміст метану в отриманому біогазі складає 0,8.

#### Розв'язання

Маса сухого зброджуваного матеріалу:

$$m_0 = n \cdot V_k = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кг/добу}. \quad (2.25)$$

Об'єм рідкої маси:

$$V_p = m_0 / \rho_{\text{рідк}} = 8 / 1024 = 0,008 \text{ м}^3. \quad (2.26)$$

Об'єм біогазогенератора:

$$V_{\text{бг}} = V_p \cdot \tau_r = 0,008 \cdot 20 = 0,16 \text{ м}^3. \quad (2.27)$$

Об'єм біогазу:

$$V_a = \nu \cdot m_0 = (0,34 \text{ м}^3/\text{кг}) \cdot (8 \text{ кг/добу}) = 2,7 \text{ м}^3. \quad (2.28)$$

Енергетична потужність:

$$\begin{aligned} E &= \eta \cdot Q_a \cdot V_a = 0,6 \cdot (28 \text{ МДж/л}^3) \cdot (0,8 \cdot 2,7 \text{ м}^3) = \\ &= 60 \text{ МДж} = 16,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 700 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned} \quad (2.29)$$

## Додаток А

### Середньодобовий вихід екскрементів на підприємствах ВРХ

Тварини	Вихід екскрементів, кг/добу		
	Всього	кал	сеча
Бици	40	30	10
Корови	55	35	20
Молодняк на відкормленні віком: до 4 міс.	7,5	5	2,5
4 – 6 міс.	14,0	10	4
6 – 12 міс.	26,0	14	12
старші 12 міс.	35,0	23	12
Свині	15,0	11	4

## Додаток Б

### Склад екскрементів тварин (в % до сухої речовини)

Компоненти	Екскременти			
	ВРХ	дійні корови	свині	кури
Органічні речовини	77 – 85	77 – 85	77 – 84	76 – 77
Азот	2,3 – 4,0	1,9 – 6,5	4,0 – 10,3	2,3 – 5,7
Фосфор	0,4 – 1,1	0,2 – 0,7	1,9 – 2,5	1,0 – 2,7
Калій	1,0 – 2,0	2,4	1,4 – 3,1	1,0 – 2,9
Кальцій	0,6 – 1,4	2,3 – 4,9	–	5,6 – 11,6
Магній	0,5 – 0,6	–	–	0,9 – 1,1
С : Н	9 – 15	9 – 15	9 – 15	9 – 15
Сира клітковина (целюлоза)	–	27,6 – 50,3	19,5 – 21,4	13 – 17,8
Сирий жир	–	2,9 – 4,3	3,5 – 4,0	2,4 – 5,0
Сирий протеїн	–	9,3 – 20,7	16,4 – 21,5	20,5 – 42,1
Лігнін	16 – 30	16 – 30	–	9,6 – 14,3

Додаток В

Питома величина виходу біогазу із сухої органічної речовини в залежності від температури і тривалості ферментації

Температ. процесу, °С	Тривалість бродіння, τ, доба	Вихід СН <sub>4</sub> , υ · 10 <sup>3</sup> , м <sup>3</sup> /кг	Температ. процесу, °С	Тривалість бродіння, τ, доба	Вихід СН <sub>4</sub> , υ · 10 <sup>3</sup> , м <sup>3</sup> /кг
25	5	22,44	44	5	118,59
	10	54,40		10	269,95
	20	116,26		20	428,93
28	5	21,68	48	5	203,18
	10	91,73		10	308,12
	20	174,80		20	478,44
32	5	63,23	50	5	179,17
	10	161,12		10	285,13
	20	329,98		20	357,95
34	5	100,07	54	5	119,93
	10	202,17		10	302,34
	20	347,73		20	385,71
36	5	66,67	56	5	184,68
	10	164,90		10	375,88
	20	296,10		20	469,38
40	5	115,61	60	5	61,83
	10	265,10		10	74,72
	20	417,56		20	93,84

## Література

1. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату/ Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 117 с.
2. Ратушняк Г. С. Енергозбереження та експлуатація систем тепlopостачання: навч. посібник/ Г. С. Ратушняк, Г. С. Попова. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 120 с.
3. Ратушняк Г. С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела тепlopостачання: навч. посібник/ Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Анохіна К. В.. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.
4. Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад/ [Дубровін В. О., Мельничук М. Д., Мельник Ю. Ф. та ін.]. – К., 2009. – 111 с.
5. Ткаченко С. Й. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки/ С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 132 с.
6. Ратушняк Г. С. Шляхи вдосконалення енергоощадних технологій при утилізації органічних відходів в системах біоконверсії/ Ратушняк Г. С., Анохіна К. В., Джеджула В. В. // Вісник національного університету "Львівська політехніка". Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. – 2009. – № 659. – С. 151-153.
7. Пат. 36453 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазова установка/ Ратушняк Г. С., Анохіна К. В.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u200806844; заявл. 19.05.2008; опубл. 27.10.2008. Бюл. № 20.
8. Пат. 54116 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазова установка/ Ратушняк Г. С., Анохіна К. В.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u201005458; заявл. 05.05.2010; опубл. 25.10.2010. Бюл. № 20.
9. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика/ Баадер Б., Доне Е., Бренндерфер М.; пер. з нім. М. И. Серебряного. – М. : Колос, 1982. – 148 с.
10. Сербін В. А. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії в системах ТГП/ В. А. Сербін. – Макіївка : ДонДАБА, 2003. – 153 с.



*Навчальне видання*

**Методичні вказівки  
до виконання розрахункової роботи  
на тему "Обґрунтування технологічних параметрів  
біогазових установок" з дисципліни  
"Енергозбереження та експлуатація систем  
теплогазопостачання і вентиляції" для студентів  
напряму підготовки "Будівництво"**

Редактор В. Дружиніна

Коректор З. Поліщук

Укладачі: Георгій Сергійович Ратушняк

Катерина Володимирівна Анохіна

Оригінал-макет підготовлено К. Анохіною

Підписано до друку

Формат 29,7×42<sup>1</sup>/<sub>4</sub>. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. друк. арк.

Наклад прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, к. 2201.

Тел. (0432) 59-87-36.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті

в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-87-38.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009