

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладної екології

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

за спеціальністю 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

Тема роботи: Розробка проекту біогазової установки з  
утилізації відходів великої рогатої худоби

Виконала:  
студент Пилипенко П.Б.

Керівник:  
Васькін Р.А.  
доц., к.т.н.

Залікова книжка  
№ 17510324

Підпис \_\_\_\_\_

Підпис \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:  
доц. канд. техн. наук  
Васькін Р.А.

Підпис \_\_\_\_\_

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК  
Васькіна І.В.

\_\_\_\_\_ оцінка, дата

Суми 2020

## РЕФЕРАТ

*Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра.*

Робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку джерел посилання. Обсяг становить 62 сторінки комп'ютерного тексту, який включає 8 таблиць, 5 рисунків, перелік джерел посилання налічує 45 найменувань.

Метою кваліфікаційної роботи є вибір та обґрунтування технології виробництва біогазу з відходів тваринництва.

**Об'єкт дослідження** – біогазова установка.

**Предмет дослідження** – процеси отримання біогазу в біогазових установках.

Вагомою складовою енергетичного потенціалу будь-якої країни є використання енергії біомаси, яка стає ефективною економічно вигідною галуззю, що може конкурувати з енергетикою на викопному паливі. Беручи до уваги невпинний приріст цін на енергоресурси, все більше постає питання про використання саме альтернативних джерел енергії, які можна отримати з біомаси, тим паче Україна являється аграрною країною.

В Україні є незадіяний потенціал для виробництва власної енергії з відновлюваних джерел – переробка відходів тваринництва (гною тварин та посліду птахів) з утворенням біогазу, який потім можливо використовувати для виробництва електроенергії, тепла або палива – аналогів природного газу.

Переробка відходів тваринництва з утворенням біогазу дасть змогу частково розв'язати екологічні проблеми, а також отримати переваги у вигляді децентралізованого виробництва відновлюваної енергії або виробництва палива.

**Ключові слова:** МЕТАНТЕНК, БІОГАЗ, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА, ГНІЙ, ВІДХОДИ ТВАРИННИЦТВА

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Центр заочної та дистанційної форм навчання  
Кафедра прикладної екології  
Спеціальність 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Пилипенко Павлу Богдановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Група ТСз-61с

1. Тема кваліфікаційної роботи Розробка проекту біогазової установки з утилізації відходів великої рогатої худоби
2. Вихідні дані: поголів'я тварин виробничої групи складає 300 корів, добовий вихід екскрементів на 1 гол. за добу – 55 кг, відносна вологість екскрементів – 86 %, система гноєвидалення – гідрозмив, спосіб утримання тварин – прив'язний.
3. Перелік обов'язково графічного матеріалу:

### 4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
	Літературний пошук						
	Патентний пошук						
	Узагальнення інформації						
	Проведення розрахунків						
	Оформлення пояснювальної записки						

5. Дата видачі завдання 01.04 2020 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

доц. Васькін Р.А.  
(посада, прізвище)

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	5
<b>РОЗДІЛ 1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ</b>	<b>8</b>
1.1 Характеристика гною ВРХ як сировини для виробництва біогазу	8
1.2. Обґрунтування вибору технології отримання біогазу	12
1.3. Вибір технології отримання біогазу	15
1.4 Характеристика кінцевого продукту	28
<b>РОЗДІЛ 2.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>31</b>
2.1. Сировина та матеріали	31
2.2 Опис технологічного процесу отримання біогазу при переробці гною	32
<b>РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ МЕТАНОВОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ГНОЄВОЇ БІОМАСИ</b>	<b>35</b>
3.1 Розрахунок добового та річного виходу гноєвої біомаси	35
3.2 Розрахунок впливу якісних параметрів гноєвої біомаси на вихід біогазу	36
3.3 Визначення основних параметрів системи анаеробного зброджування гноєвої біомаси (метантенка) БГУ	39
3.4 Об'єм бродильної камери БГУ	40
3.5 Визначення виходу залишкової продукції	42
3.6 Визначення виходу товарного біогазу	44
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	<b>45</b>

Підп. і дата						ТС 17510324			
Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№	№ док.м.	Підп.	Дата				
Інв.№ подл.	Розроб.	Пилипенко				Розробка проекту біогазової установки з утилізації відходів великої рогатої худоби	Літ.	Аркуш	Аокушів
	Перев.	Васькін					4		
	Н.Контр.	Васькін					СумДУ, ф-т ЦЗДВН		
	Затв.	Пляцук					гр. ТСз-61с		



## ВСТУП

В сучасних умовах складного стану енергетичної галузі, все більшого розмаху набуває застосування енергозберігаючих технологій та використання альтернативних джерел енергії.

Вагомою складовою енергетичного потенціалу будь-якої країни є використання енергії біомаси, яка стає ефективною економічно вигідною галуззю, що може конкурувати з енергетикою на викопному паливі. Беручи до уваги невпинний приріст цін на енергоресурси, все більше постає питання про використання саме альтернативних джерел енергії, які можна отримати з біомаси, тим паче Україна являється аграрною країною.

В Україні є незадіяний потенціал для виробництва власної енергії з відновлюваних джерел – переробка відходів тваринництва (гною тварин та посліду птахів) з утворенням біогазу, який потім можливо використовувати для виробництва електроенергії, тепла або палива – аналогів природного газу.

Переробка відходів тваринництва з утворенням біогазу дасть змогу частково розв'язати екологічні проблеми, а також отримати переваги у вигляді децентралізованого виробництва відновлюваної енергії або виробництва палива.

Ратифікація Україною Паризької кліматичної угоди передбачає збільшення частки відновлювальних джерел енергії. Так, відповідно до „Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року” та „Енергетичної стратегії на період до 2030 року”, частка відновлюваних джерел енергії у загальному обсязі енергоспоживання має досягнути 11% до 2020 року.

Свіжий гній тваринницьких ферм і рідкі складові гною разом із стічними водами є забруднювачами навколишнього середовища.

Підвищена сприйнятливість сільськогосподарських культур до свіжого гною приводить до забруднення ґрунтових вод і повітряного басейну, створює сприятливе середовище для зараженості ґрунту шкідливими мікроорганізмами. У гної тварин життєдіяльність хвороботворних бактерій і яєць гельмінтів не

Підп. і дата									
Інв.№ дубл.									
Взаєм.інв.№									
Підп. і дата									
Інв.№ подл.									
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 17510324				Арк
									6

припиняється, насіння смітних трав, що міститься в ньому, зберігає свої властивості. Для усунення цих негативних явищ необхідна спеціальна технологія обробки гною, що дозволяє підвищити концентрацію живильних речовин і одночасно усунути неприємні запахи, подавити патогенні мікроорганізми, понизити зміст канцерогенних речовин.

Перспективним, екологічно безпечним і економічно вигідним напрямом рішення цієї проблеми є анаеробна переробка гною і відходів в біогазових установках з отриманням біогазу.

У зв'язку з цим розробка нових економічно вигідних методів виробництва біогазу є досить актуальною.

**Метою кваліфікаційної роботи** є вибір та обґрунтування технології виробництва біогазу з відходів тваринництва.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **задачі**:

- дати характеристику сировині та біологічному агенту, які використовуються для виробництва біогазу;
- обрати та обґрунтувати технологічну схему виробництва біогазу з відходів тваринництва;
- спроектувати технологічний процес з визначенням контрольних точок та матеріального балансу виробництва;
- розрахувати основні параметри технологічної лінії метанового зброджування гноєвої біомаси;
- навести перелік заходів щодо охорони праці та охорони довкілля.

**Об'єкт дослідження:** біогазова установка.

**Предмет дослідження:** процеси отримання біогазу в біогазових установках.

Методи дослідження: критичний аналіз, статистична обробка даних, літературний огляд, аналітичний огляд.

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

					<b>ТС 17510324</b>	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		7

# РОЗДІЛ 1 ОБГРУТНУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

## 1.1 Характеристика гною ВРХ як сировини для виробництва біогазу

В якості сировини для виробництва біогазу може використовуватись будь-який продукт чи відходи, що мають у складі органічні речовини: гній, пташиний послід, післяспиртова барда, відходи пивного виробництва, буряковий жом, фекальні осади, відходи рибного і забійного цеху (кров, жир, кишки), трава, побутові відходи, відходи молокозаводів - солоня і солодка молочна сироватка, відходи виробництва біодизеля - технічний гліцерин від виробництва біодизеля з ріпаку, відходи від виробництва соків - жом фруктовий, ягідний, овочевий, виноградна вижимка, водорості, відходи виробництва крохмалю і патоки - мезга і сироп, відходи переробки картоплі, виробництва чіпсів - шкурки, гнилі бульби, кавова пульпа.

Обсяги відходів, придатних для щорічної переробки лише на біогаз, загально по Європейському Союзу характеризуються такими оціночними даними: гній великої рогатої худоби (ВРХ) – 900 млн. т, гній свиней – 240 млн.т, тверді побутові відходи – 160 млн. т, осад стічних вод – 25 млн. т, промислові органічні відходи, здатні для переробки в біогаз – 35 млн. т [1].

Вони щорічно накопичуються і призводять до великих екологічних проблем.

Крім відходів біогаз можна виробляти зі спеціально вирощених енергетичних культур, наприклад, з силосної кукурудзи або сильфія, а також водоростей. Вихід газу може сягати до 300 м<sup>3</sup> з 1 тони сировини.

Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини і виду використовуваної сировини. З тонни гною великої рогатої худоби виходить 50-65 м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану 60%, 150-500 м<sup>3</sup> біогазу з різних видів рослин з вмістом метану до

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

					<b>ТС 17510324</b>	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		
						8



70%. Максимальна кількість біогазу - це 1300 м<sup>3</sup>з вмістом метану до 87% - можна отримати з жиру.

Сьогодні застосування ензимів, бустерів для штучної деградації сировини (наприклад, ультразвукових або рідинних кавітаторів) та інших пристосувань дозволяє збільшувати вихід біогазу на звичайнісінькій установці з 60% до 95%.

Гнойові відходи тваринництва, зокрема гній свиней та гній ВРХ, є субстратами, придатними та часто використовуваними для виробництва біогазу. Їх широке використання обумовлено рядом факторів.

Гнойові відходи, особливо безпідстилкові, завдяки високому вмісту води, є придатними для розбавлення інших, більш концентрованих субстратів, що дозволяє перекачувати їх насосами. Окрім того, склад гною характеризується порівняно високою буферною ємністю, що робить його корисним для запобігання різким змінам рН в реакторі.

Аналіз елементів, що містяться в гної, свідчить, що в ньому є: близько 25-93% води, 13-17% підстилки, 7-11% корму, до 17% ґрунтової маси і інших домішок. Наявність цих компонентів впливає на обсяги сухих органічних компонентів в субстраті, крім того, обсяг води визначає вологість біомаси.

Для визначення вмісту сухих компонентів, а також параметрів вологості використовують спеціальні таблиці і поправочні коефіцієнти.

В складі гною присутні в достатній кількості ряд важливих макро- та мікроелементів, необхідних для метаболізму популяцій бактерій, що обумовлюють метанове бродіння [10], як і власне стартові популяції метангенеруючих бактерій, що робить його практично незамінним при запуску метантенків в дію.

Разом з тим, використання гною як моно-субстрату для виробництва біогазу має певні обмеження. Через високий вміст води і, відповідно, низьку концентрацію органічного вуглецю, а також високий вміст клітковини [10], питома швидкість виходу біогазу з одиниці об'єму біореактора є досить низькою [10]. Це, в свою чергу, призводить до низької енергетичної ефективності

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

ТС 17510324

Арк

9

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

біогазової станції, оскільки значна частина енергії біогазу буде витрачатись на підігрів біореактора та транспортування гною [10].

Окрім цього, через надто низьке співвідношення (C:N), процес метаногенезу може помітно сповільнитись внаслідок інгібуючої дії аміаку, що особливо характерно при моно-зброджуванні гною свиней [36]. Тому використання гною як моно - субстрату для виробництва біогазу, в більшості випадків, з економічної точки зору є недоцільним, та потребує додавання ко-субстратів [10, 11].

Фізико-хімічний склад гнойових відходів може суттєво відрізнятись.

Серед факторів впливу на склад гною виділяють наступні: тип тварин, раціон харчування, спосіб утримання тварин, спосіб накопичення та відведення їх екскрементів [4, с.109-115].

Разом з тим, фізико-хімічний склад гною впливає на потенціал виходу біогазу з нього. Неякісний аналіз хімічного складу гною може призвести до значної похибки в оцінці виходу біогазу. Однією з причин виникнення значних похибок при оцінці потенціалу утворення біогазу (10-30%), зокрема з гнойових відходів, вважається неврахування вмісту ЛЖК (леткі жирні кислоти).

В складі гнойових відходів загалом ідентифіковано декілька сотень ароматичних летких органічних сполук . Усі вони можуть бути поділені на 4 основні групи: сірковмісні сполуки, фенольні та індольні сполуки, аміак та леткі аміни, леткі жирні кислоти.

В гнойових відходах свиноферм найбільшу частку серед ЛЖК складає оцтова кислота (60-70%) та пропіонова кислота (10-20%), інші сумарно – 10-20%.

При зберіганні гною в підпільних каналах, накопичувальних ямах, гноєсховищах суттєва частина ЛЖК здатна вивільнитись, що буде позначатись відповідно на виході біогазу.

Втрата ЛЖК залежить переважно від температури зберігання, власне концентрації ЛЖК в гнойових відходах, а також від величини рН. При вищих температурах зберігання, збільшуються втрати ЛЖК з гною. Чим нижче значення

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

					ТС 17510324		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			10

pH, тим більша частка ЛЖК перебуває в леткій неіонізованій формі (наприклад, оцтова кислота), у порівнянні з нелеткими іонізованими формами (наприклад, ацетат). Втрати ЛЖК при зберіганні за температури повітря 25° С протягом 300 діб можуть складати до 33 - 43%. Водночас, за аналогічних умов втрачається до 68% азоту загального та до 78% азоту амонійного.

В таблиці 1.1 наведено огляд даних про фізико-хімічний склад гнойових відходів тваринницьких ферм та потенціал виробництва біогазу з них.

Таблиця 1.1 Фізико-хімічні характеристики та питомий вихід біогазу з гнойових відходів [11]

Показник	Розмірність	Тип гною	Значення показника	
			Найменше	Найбільше
Вміст СР	% до маси	ГС	0,6	12,2
		ГВРХ	5,6	15,96
Зольність	% до СР	ГС	15	16
		ГВРХ	15	16
Азот (Nзаг)	% до СР	ГС	0,7	10,9
	г/кг		1,3	5,6
	% до СР	ВРХ	0,4	0,5
Амонійний азот	% до СР	ГС	2,9	6,8
	г/л		0,59	5,02
ЛЖК*	гекв/л	ГС	1,27	38,4
		ВРХ	11,5	20,5
Фосфор (заг)	% до СР	ГС	0,35	0,64
	г/кг		0,1	2,5
	% до СР	ВРХ	0,06	0,14
	м <sup>3</sup> /кг СОР	ГС	0,2	0,93
		ВРХ	0,14	0,62
	м <sup>3</sup> /т СОР	ГС	0,29	0,68
		ВРХ	0,13	0,41
	% об	ГС	55	81
		ВРХ	50	80

\* - при переведенні даних про вміст ЛЖК з різних джерел прийнято: співвідношення [ЛЖК/ХСК] = 1,28 ; співвідношення [ммоль/гекв] = 60,052 (з розрахунку на молярну масу оцтової кислоти).

Ідея використання СК для виробництва біогазу виникла в результаті пошуку альтернативних видів органічної сировини, використання яких дозволило б значно збільшити загальний об'єм та ефективність виробництва біогазу.

Підп. і дата  
Інв.№ дубл.  
Взаєм.інв.№  
Підп. і дата  
Інв.№ подл.

ТС 17510324

Арк

11

Вип Арк № докум. Підп. Дата

Більш високий вміст амонійного азоту в гнойових відходах свиней, вказує на меншу придатність такого гною до моно-зброджування, аніж гною ВРХ.

При цьому в більшості випадків, концентрація  $\text{NH}_4\text{-N}$  перевищує порогові величини (3000 мг $\text{NH}_4\text{-N}/\text{л}$ ), при яких виявлено сильний інгібуючий вплив на ріст метаногенів. Разом з тим, концентрація амонійного азоту в СК в більшості випадків не перевищує 1000 мг/л [8].

Оптимальним співвідношенням С:N є діапазон 10-30:1.

Таким чином, і за даним показником рідкі гнойові відходи, з технологічної точки зору, можуть бути малопродатними для моно-зброджування. Натомість, співвідношення С:N в СК в більшості випадків перевищує значення 30. Очевидно, що змішування гнойових відходів та СК дозволить оптимізувати склад суміші як за вмістом амонійного азоту, так і за показником С:N, що вказує на доцільність їх сумісного зброджування.

Аналіз складу гною великої рогатої худоби дозволяє зробити висновки про доцільність викривання його як сировини виробництва біогазу. При цьому гній ВРХ виступає і як інокулят, і як субстрат одночасно. В залежності від способу утримання тварин гній, який використовують для отримання біогазу може потребувати додавання води для збільшення вологості сировини.

## 1.2. Обґрунтування вибору технології отримання біогазу

Розвиток виробництва біопалива в Україні є перспективним напрямом щодо зменшення енергетичної залежності від постачальників нафти та природного газу. Використання біопалив зменшує антропогенне навантаження на довкілля, зберігає природні ресурси за рахунок переробки відновлювальної сільськогосподарської сировини та відходів переробних галузей агропромислового комплексу.

Основними способами отримання енергії з біомаси є спалювання, анаеробне бродіння, гідроліз, ферментація, виробництво водню, суха перегонка

Підп. і дата	
Інв.№ докл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

					ТС 17510324		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			12

та газифікація. Для сільського господарства найбільш перспективними та легкими для використання є перші два методи.

Найпростішим способом отримання корисної енергії з сухої біомаси є її спалювання у камерах згоряння. Основними недоліками такого методу є труднощі пов'язані із забезпеченням автоматичної подачі палива, необхідністю постійної уваги з боку користувачів, забрудненням навколишнього середовища димом та сажою. В основі роботи біогазових установок (БГУ) закладені біологічні процеси бродіння та розкладання органічних речовин під впливом метаноутворювальних бактерій в анаеробних умовах, які характеризуються відсутністю вільного кисню, високої вологості і температурного середовища 15 – 20 °С для психофільних, 30 – 40 °С для мезофільних і 50 – 70 °С для термофільних бактерій.

Анаеробне бродіння здійснюється в герметичній ємності – реакторі звичайної циліндричної форми горизонтального або вертикального розташування. Для ефективного бродіння в порожнині реактора необхідно підтримувати постійну температуру відповідно до прийнятого режиму бродіння: мезофільного або термофільного і здійснювати регулярне перемішування зброджуваної сировини.

Найбільш ефективними вважаються біореактори, що працюють у термофільному режимі. На таких установках з триденною ферментацією гною вихід біогазу становить 4,5 л на кожен літр корисного об'єму реактора. У процесі бродіння відбувається виділення біогазу, який містить 40 – 70 % метану, 30 – 60 % вуглекислого газу, біля 1 % сірководню і невелику кількість азоту, водню та аміаку. Об'ємна теплота згоряння біогазу складає 22 МДж/м<sup>3</sup>.

Перероблені анаеробними методами органічні відходи є цінним біодобривом, здатним підвищувати родючість ґрунтів – одного з найбільш цінних ресурсів держави, а також підвищувати конкурентоспроможність сільсько-господарської продукції.

Підп. і дата	
Інв.№ докл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510324



Біореактори часто заглиблюють в землю, що забезпечує хорошу їх теплоізоляцію і герметизацію. У бродильних камерах обов'язково передбачена можливість надійної вентиляції.

Нагрівальні пристрої. Підігрів в біореакторах з пристроями здійснюється за допомогою шлангів, труб та інших теплообмінних пристроїв, через які пропускають гарячу воду. Температура останньої в теплообміннику не перевищує 60 ° С, так як більш висока температура викликає налипання на поверхневому теплообміннику частинок біомаси.

Пристосування для перемішування. Для ефективною роботи біореактора в ньому передбачається мішалка для перемішування сбраживаємою маси і запобігання утворенню кірки. Конструкції мішалок різноманітні. Вони бувають механічними (з ручним або електричним приводом), а також гідравлічного або пневматичного дії. газгольдери: Ці апарати виконуються у вигляді надбудов на бродильні камери, а також окремо стоять, з'єднаними з бродильними камерами трубопроводами.

### 1.3. Вибір технології отримання біогазу

Важливими аспектами, які потрібно враховувати при розробці та виборі технологій виробництва біогазу є: необхідність проведення процесу в анаеробних умовах, певний рівень рН, вологість і температура для створення сприятливого середовища життя і розмноження бактерій. Особливого значення набуває рівномірна подача субстрату і регулярна подача поживних речовин [16].

Потрібно пам'ятати про період бродіння: його збільшення збільшує кількість виробленого газу. Перемішування дозволить запобігти утворенню осаду і скоринки, а також воно допомагає виводити з'явився газ [4]. Іншими словами: необхідно ретельно дотримуватися стабільність всіх стадій процесу отримання біогазу.

Технологія отримання біогазу включає в себе 4 етапи:

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№ дубл.	Підп. і дата					ТС 17510324	Арк			
										15			
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				

1. Гідроліз. Тут беруть участь аеробні гідролізні бактерії, а кінцевим продуктом вважається амінокислоти, моносахариди та жирні кислоти.

2. Підвищення кислотності. Тут задіяні кислотообразующие бактерії. На виході з'являються двоокис вуглеводу і органічні кислоти.

3. Освіта оцтової кислоти за допомогою бактерій, що утворюють цю оцтову кислоту. Продукти, які отримують в результаті процесу: двоокис вуглецю, водень і оцтова кислота.

4. Утворення метану за участю бактерій, які його виробляють. На заключному етапі ми отримуємо метан, воду, двоокис вуглецю і супутні гази(сірководень, водень, аміак тощо).

Технологія отримання біогазу може втілюватися у вигляді одностадійного або двостадійного процесу. У одностадійному процесі немає розділу за місцем протікання розкладання. А двустадійному процес застосовують для швидко розкладається сировини [15].

Кислотоутворюючі і метаноутворюючі бактерії зустрічаються в природі повсюдно, зокрема в екскрементах тварин. У травній системі великої рогатої худоби міститься повний набір мікроорганізмів, необхідних для зброджування гною. Тому гній ВРХ часто застосовують в якості сировини, що завантажується в новий реактор. Для початку процесу зброджування досить забезпечити такі умови:

1) Підтримка анаеробних умов в реакторі - життєдіяльність метаноутворюючих бактерій можлива тільки при відсутності кисню в реакторі біогазової установки, тому потрібно стежити за герметичністю реактора і відсутністю доступу в реактор кисню;

2) Дотримання температурного режиму - підтримка оптимальної температури є одним з найважливіших чинників процесу зброджування. У природних умовах освіту біогазу відбувається при температурах від 0 ° С до 97 ° С, але з урахуванням оптимізації процесу переробки органічних відходів для отримання біогазу і біодобрив виділяють три температурні режими:

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510324

Арк

16



- a) психофільний температурний режим визначається температурами до 20 - 25°C;
- b) мезофільні температурний режим визначається температурами від 25 °С до 40 °С;
- c) термофільний температурний режим визначається температурами понад 40 °С.

Ступінь бактеріологічного виробництва метану збільшується зі збільшенням температури. Але, так як кількість вільного аміаку теж збільшується з ростом температури, процес зброджування може сповільнитися. Біогазові установки без підігріву реактора демонструють задовільну продуктивність тільки при середньорічній температурі близько 20°C або вище або коли середня денна температура досягає щонайменше 18°C.

При середніх температурах в 20-28 °С виробництво газу непропорційно збільшується. Якщо ж температура біомаси менше 15 °С, вихід газу буде такий низький, що біогазова установка без теплоізоляції і підігріву перестане бути економічно вигідною. Відомості щодо оптимального температурного режиму різні для різних видів сировини [5].

Для біогазових установок працюють на змішаному гної ВРХ, свиней і птахів, оптимальною температурою для мезофільного температурного режиму є 34 - 37 °С, а для термофільного 52 - 54 °С. Психофільний температурний режим дотримується в установках без підігріву, в яких відсутній контроль за температурою. Найбільш інтенсивне виділення біогазу в психофільному режимі відбувається при 23°C.

Процес біометанації дуже чутливий до змін температури. Ступінь цієї чутливості в свою чергу залежить від температурних рамок, в яких відбувається переробка сировини. При процесі ферментації можуть бути допустимі зміни температури в межах:

- 1) психофільний температурний режим:  $\pm 2$  °С в годину;
- 2) мезофільні температурний режим:  $\pm 1$  °С в годину;

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

Вип	Арк	№ докum.	Підп.	Дата

ТС 17510324

3) термофільний температурний режим:  $\pm 0,5^{\circ} \text{C}$  в годину.

На практиці більш поширені два температурні режими, це термофільний і мезофільні. У кожного з них є свої переваги і недоліки. Переваги термофільного процесу зброджування це підвищена швидкість розкладання сировини, і отже більш високий вихід біогазу, а також практично повне знищення хвороботворних бактерій, що містяться в сировині. До недоліків термофільного розкладання можна віднести; велика кількість енергії, потрібна на підігрів сировини в реакторі, чутливість процесу зброджування до мінімальних змін температури і декілька нижча якість отримуваних біодобрих.

При мезофільному режимі зброджування зберігається високий амінокислотний склад біодобрих, але знезараження сировини не таке повне, як при термофільному.

3) Доступність поживних речовин - для росту і життєдіяльності метанових бактерій (за допомогою яких проводиться біогаз) необхідна наявність в сировині органічних і мінеральних поживних речовин [20].

На додаток до вуглецю і водню створення біодобрих вимагає достатньої кількості азоту, сірки, фосфору, калію, кальцію і магнію і деякої кількості мікроелементів - заліза, марганцю, молібдену, цинку, кобальту, селену, вольфраму, нікелю та інших. Звичайна органічна сировина - гній тварин - містить достатню кількість вищезазначених елементів.

4) Час зброджування - оптимальний час зброджування залежить від дози завантаження реактора і температури процесу зброджування. Якщо час зброджування вибраний дуже коротким, то при вивантаженні сброженної біомаси бактерії з реактора вимиваються швидше, ніж можуть розмножуватися, і процес ферментації практично зупиняється. Дуже тривала витримка сировини в реакторі не відповідає завданням отримання найбільшої кількості біогазу і біодобрих за певний проміжок часу [25].

При визначенні оптимальної тривалості зброджування користуються терміном "час обороту реактора". Час обороту реактора - це той час, протягом

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

якого свіжа сировина, завантажена в реактор, переробляється, і його вивантажують з реактора. Для систем з безперервним завантаженням середній час зброджування визначаються відношенням об'єму реактора до щоденного об'єму завантажуваної сировини. На практиці час обороту реактора вибирають залежно від температури зброджування і складу сировини в наступних інтервалах:

- 1) психофільний температурний режим: від 30 до 40 і більше доби;
- 2) мезофільні температурний режим: від 10 до 20 діб;
- 3) термофільний температурний режим: від 5 до 10 діб. Добова доза завантаження сировини визначається часом обороту реактора і збільшується (як і вихід біогазу) зі збільшенням температури в реакторі [1].

Якщо час обороту реактора складає 10 діб: то добова доза завантаження складатиме 1/10 від загального об'єму завантажуваної сировини.

Якщо час обороту складає 20 діб, то добова доза завантаження складатиме 1/20 від загального об'єму завантажуваної сировини. Для установок, що працюють в термофільному, частка завантаження може складати до 1/5 від загального обсягу завантаження реактора.

Вибір часу зброджування залежить також і від типу сировини, що переробляється. Для наступних видів сировини, що переробляється в умовах мезофільного температурного режиму, час, за який виділяється найбільша частина біогазу, дорівнює приблизно:

- 1) рідкий гній ВРХ: 10 -15 днів;
- 2) рідкий свинячий гній: 9 -12 днів;
- 3) рідкий курячий послід: 10-15 днів;
- 4) гній, змішаний з рослинними відходами: 40-80 днів.
- 5) Кисотно-лужний баланс - метанопродукуючі бактерії найкраще пристосовані для існування в нейтральних або злегка лужних умовах. В процесі метанового бродіння другий етап виробництва біогазу є фазою активної дії кислотних бактерій. В цей час рівень рН знижується, тобто середовище стає більш кислою [31].

Підп. і дата	Інв.№ дубл.	Взаєм.інв.№	Підп. і дата	Інв.№ подл.	ТС 17510324				Арк
									19
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Однак при нормальному ході процесу життєдіяльність різних груп бактерій в реакторі проходить однаково ефективно і кислоти переробляються метановими бактеріями. Оптимальне значення рН коливається в залежності від сировини від 6,5 да 8,5. Виміряти рівень кислотно-лужного балансу можна за допомогою лакмусового паперу. Значення кислотно-лужного балансу відповідатимуть кольору: набуває папір при її зануренні в зброджувану сировину.

б) Вміст вуглецю і азоту - одним з найбільш важливих факторів, що впливають на метанове бродіння (виділення біогазу), є співвідношення вуглецю та азоту в переробляється сировина. Якщо співвідношення C / N надмірно велике, то нестача азоту слугитиме фактором, який обмежує процес метанового бродіння. Якщо ж це співвідношення дуже мало, то утворюється така велика кількість аміаку, що він стає токсичним для бактерій.

Мікроорганізми потребують як в азоті, так і в вуглеці для асиміляції в їх клітинну структуру [6].

Різні експерименти показали: вихід біогазу найбільший при рівні співвідношення вуглецю і азоту від 10 до 20, де оптимум коливається залежно від типу сировини. Для досягнення високої продукції біогазу практикується змішування сировини для досягнення оптимального співвідношення C / N.

Таблиця 1.2 Вміст азоту і співвідношення вмісту вуглецю і азоту для органічних речовин [22]

Біоферментований матеріал	Азот N(%)	Співвідношення вуглецю до азоту C/N
Гній тварин		
ВРХ	1,7-1,8	16,6-25
Курячий	3,7-6,3	7,3-9,65
Конський	2,3	25
Свинячий	3,8	6,2-12,5
Овечий	3,8	33
Рослинні сухі відходи		
Кукурудза	1,2	56,6
Солома зернових	1	49,9
Пшенична солома	0,5	100-150
Соя	1,3	33
Люцерна	2,8	16,6-17
Буряк	0,3-0,4	140-150

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

ТС 17510324

Арк

20

Вип Арк № докум. Підп. Дата

7) Вибір вологості сировини - безперешкодний обмін речовин в сировині є передумовою для високої активності бактерій (табл.2). Це можливо тільки в тому випадку, коли в'язкість сировини допускає вільний рух бактерій і газових бульбашок між рідиною і що містяться в ній твердими речовинами. У відходах сільськогосподарського виробництва є різні тверді частинки. Тверді частинки, наприклад, пісок, глина та ін. обумовлюють утворення осаду. Більш легкі матеріали піднімаються на поверхню сировини і утворюють кірку [18].

Це призводить до зменшення виходу біогазу. Тому рекомендується ретельно подрібнювати перед завантаженням в реактор рослинні залишки - солому та інші, і прагнути до відсутності твердих речовин в сировині.

Вміст сухих речовин визначається вологістю гною. При вологості 70% в сировині міститься 30% сухих речовин.

8) Регулярне перемішування - для ефективної роботи біогазової установки і підтримування стабільності процесу зброджування сировини усередині реактора необхідне періодичне перемішування. Головними цілями перемішування є:

- 1) вивільнення виробленого біогазу;
- 2) перемішування свіжого субстрату і популяції бактерій (щеплення);
- 3) запобігання формуванню кірки і осаду;
- 4) запобігання ділянкам різної температури всередині реактора;
- 5) забезпечення рівномірного розподілу популяції бактерій;
- 6) запобігання формуванню порожнеч і скупчень, що зменшують ефективну площу реактора [24].

При виборі відповідного способу і методу перемішування потрібно враховувати, що процес зброджування є симбіоз між різними штамми бактерій, тобто бактерії одного виду можуть жити інший вигляд. Коли спільнота розбивається, процес ферментації буде непродуктивним до того, як утворюється нове співтовариство бактерій. Тому дуже часте або тривале і інтенсивне перемішування шкідливе. Рекомендується повільно перемішувати сировину через кожні 4-6 годин.

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

9) Інгібітори процесу - зброжує органічна маса не повинна містити речовин (антибіотики, розчинники і т. П.), Що негативно впливають на життєдіяльність мікроорганізмів, вони сповільнюють а іноді і припиняють процес виділення біогазу. Не сприяють "роботі" мікроорганізмів і деякі неорганічні речовини, тому не можна, наприклад, використовувати для розведення гною воду, що залишилася після прання білизни синтетичними миючими засобами [17].

На кожен з різних типів бактерій, що беруть участь в трьох стадіях метаноутворення, ці параметри впливають по-різному. Існує також тісна взаємозалежність між параметрами (наприклад, вибір часу зброджування залежить від температурного режиму), тому складно визначити точно вплив кожного фактора на кількість що утворюється біогазу. Біогаз, який отримують в результаті зброджування органічних речовин має велику кількість домішкових газів, таких як CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, (табл.1.3), тому для подальшого використання потребує очищення.

Таблиця 1.3 Склад біогазу отриманого в результаті бродіння [16]

Назва компоненту	Метан	Вуглекислий	Сірководень	Аміак	Водень
Вміст у складі біогазу	60-70%	25-30%	До 5%		

### 1.3.2 Мезофільне та термофільне зброджування

Швидкість процесу бродіння залежить від температури. Важливим є те що вище температура, то швидше відбувається розкладання.

Температурні режими, в яких себе добре відчують відповідні штами бактерій:

- психрофільні штами при температурі нижче 25°C;
- мезофільні штами при температурі 25-45°C;
- термофільні штами при температурі понад 45°C.

У виробничій сільгосппрактиці сформовано два основних напрями розвитку технологій отримання біогазу та відповідного обладнання:

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

						ТС 17510324		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				22

- субстрат зброджують в мезофільному режимі у вертикальних реакторах робочим об'ємом 1000 м<sup>3</sup> і більше;
- субстрат зброджують в термофільному режимі в модульних реакторах робочим об'ємом до 120 м<sup>3</sup>.

Мезофільний режим зброджування, протікає більш інтенсивно в температурному проміжку 32...42 °С. При цьому найбільш активно працюють» метаногенні бактерії з максимальним утворенням біогазу. [20].

Вплив температури на активність бактерій показано на рисунку 1.2.

Чим вище температура, тим чутливіші бактерії до її коливань. Це чітко видно з відносно вузького максимуму кривої і її стрімкого падіння при термофільному режимі. У той час як при мезофільному режимі щоденні коливання температури в 2-4 °С ледве мають вплив на бактерії, то в термофільному такі коливання повинні бути не більше 1 °С. Одноразове розміщення погано ущільненого матеріалу, може викликати таку зміну температури на 1 °С [21].

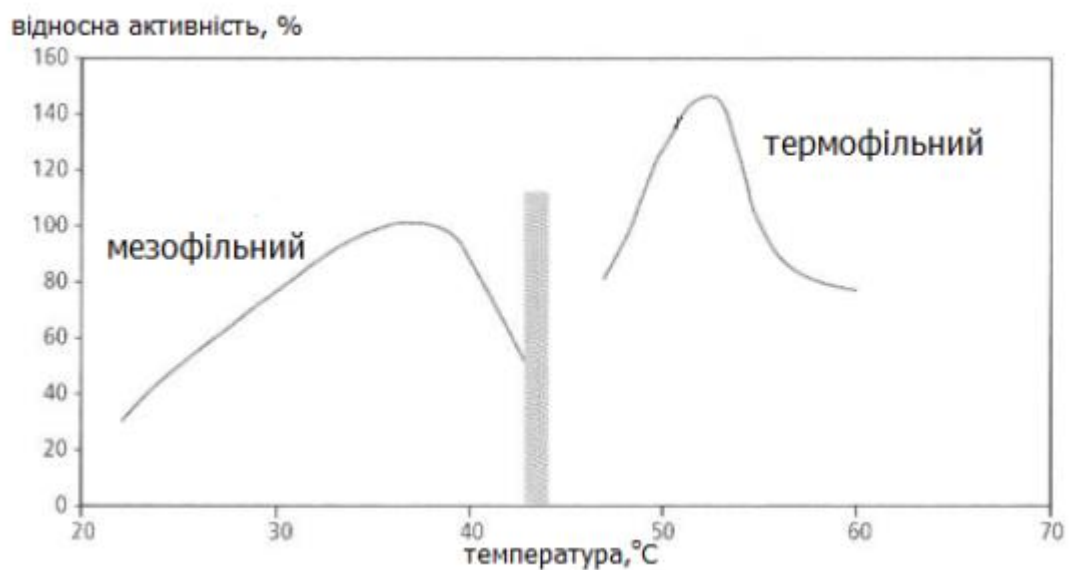


Рисунок 1.2 Вплив температури на активність бактерій [21]

Термофільні бактерії продуктивніші, ніж мезофільні. Завдяки цьому, за однакової кількості виробленого біогазу ємність біореакторів необхідна значно менша [25].

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 17510324

Арк

23

Застосування мезофільного режиму є більш доцільним. В порівнянні із термофільним режимом він є економічно вигіднішими та дешевшим, а також виробництво біогазу з метою подання його в газорозподільні мережі потребує більших об'ємів реакторів, які найбільшого поширення набули при застосування мезофільного режиму [20]. Тому, зазвичай прийнято використовувати для метанового збродження органічних відходів мезофільні умови [25].

### 1.3.3 «Сухий» та «мокрый» метод бродіння

Метод, при якому відбувається бродіння субстрату з 50% вологістю, називають сухою ферментацією.

Установками по збродженню твердих субстратів є такими, в яких субстрат подається в штабельованому вигляді в ферменгер, де і проходить процес бродіння без подальшого його пересування.

Просочений бродильною рідиною субстрат перебуває в резервуарі протягом усього часу бродіння і по закінченню процесу в такому ж вигляді без додаткових маніпуляцій (напр. сепарування) виймається з ферментатора.

У минулому робилося багато спроб по переробці сільськогосподарських субстратів в твердому вигляді, тобто без додаткової рідини. Різні методи, як наприклад DRANCO (з англ. Dry Anaerobic Composting - сухе анаеробне компостування), компогаз, ATF (з нім. - анаеробна суха ферментація), а також метод А-3 (анаеробне-аеробне-анаеробне) були розроблені для бродіння біовідходів [27].

Подальші експерименти проводилися в Швейцарії Веллінгером в 90-х рр. по застосуванню методу ANACOM. У ньому вдавалися до подачі твердої речовини через обігрівачу трубу зверху в ферменгер об'ємом 10 м<sup>3</sup>.

Переброджений субстрат знизу виводився за допомогою донного скребкового транспортера.

Більшість біогазових установок в усьому світі працюють за проточним методом. Цей метод в порівнянні з іншими відрізняється тим, що бродильна

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.



камера завжди заповнена і спорожняється лише для ремонтів або видалення осадів. З невеликого резервуара попереднього зберігання вноситься рідкий свіжий субстрат, а тверді субстрати вносяться за допомогою спеціальних пристроїв у бродильну камеру багаторазово протягом дня, хоча в той же час автоматично на переливі резервуара точно така ж кількість перебродженого субстрату переходить в резервуар-склад або перекачується в нього.

Розщеплення органічних речовин на окремі складові і перетворення їх на метан можуть відбуватися лише у вологому середовищі, оскільки бактерії здатні переробляти лише речовини у розчиненому вигляді. Отже, для процесу бродіння твердих субстратів потрібно додавати воду [25].

### 1.3.4 Установки для зброджування

Виходячи із характеру процесу бродіння і його технології, до метантенків пред'являють наступні вимоги: абсолютна герметичність стінок, що перешкоджає газообміну; непроникність для рідин; збереження міцності в статичному стані при дії власної сили тяжіння і маси субстрату, що завантажується; досконала теплоізоляція; корозійна стійкість; надійність завантаження і спорожнення; доступність внутрішнього простору для обслуговування [25]. Метантенки, як правило, бувають горизонтальної і вертикальної конструкції [26].

Горизонтальне розташування метантенка має ту перевагу, що можна застосовувати потужні, надійні в експлуатації і енергозберігаючі механічні мішалки, в результаті чого досягається хороший ефект перемішування.

Завдяки пробковій подачі сировини складаються сприятливі умови з точки зору біології процесу. Можливим є велике завантаження метантенка (до 7-10 кг органічної сухої речовини на 1 м<sup>3</sup>). Недоліком метантенків із горизонтальним розташуванням є велика потреба в площі під резервуар.

Лежачі метантенки на сьогоднішній день обмежені в своєму об'ємі до 1000 м<sup>3</sup>. Іншими недоліками таких метантенків є велика площа поверхні в порівнянні з об'ємом (з відповідно високими тепловтратами) і брак культури бактерій перебродженого біошламу для свіжого субстрату. Для рідкого або твердого гною

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

ТС 17510324

Арк

25

ВРХ це не грає жодної ролі, оскільки в такому субстраті спочатку міститься достатня кількість метаноутворюючих бактерій. Гній свиней, енергетичні рослини або органічні відходи, що не містять або містять невелику кількість анаеробних бактерій, при використанні пробкового проштовхування сировини мають бути "заквашені" перебродженим субстратом, що можна зробити в резервуарі попереднього зберігання або за допомогою автоматичної системи подачі закваски [26].

Метантенки з горизонтальним розташуванням виготовляються переважно у вигляді циліндричних металевих баків і розміщуються над поверхнею ґрунту [26]. Метантенки вертикального розташування з міркувань статички переважно мають круглу форму поперечного перетину.

В порівнянні з горизонтальним варіантом вони більш компактні, мають вигідніше співвідношення площі поверхні до об'єму, що зменшує витрати матеріалів і тепловтрати. Вони не обмежені в своїх об'ємах. На сьогоднішній день можна будувати метантенки об'ємом до 6000 м<sup>3</sup>. Вимоги до змішувачів високі, оскільки в цьому випадку повинна створюватись сильна течія, необхідна для досягнення гомогенізації [26].

Недоліком метантенків вертикального розташування є те, що не можна досягти пробкового проштовхування.

Ступінь завантаження метантенка залежить від розмірів резервуару, типу мішалок і їх потужності, а також від виду субстрату, і становить до 4 кг органічної сухої речовини на 1 м<sup>3</sup> [25].

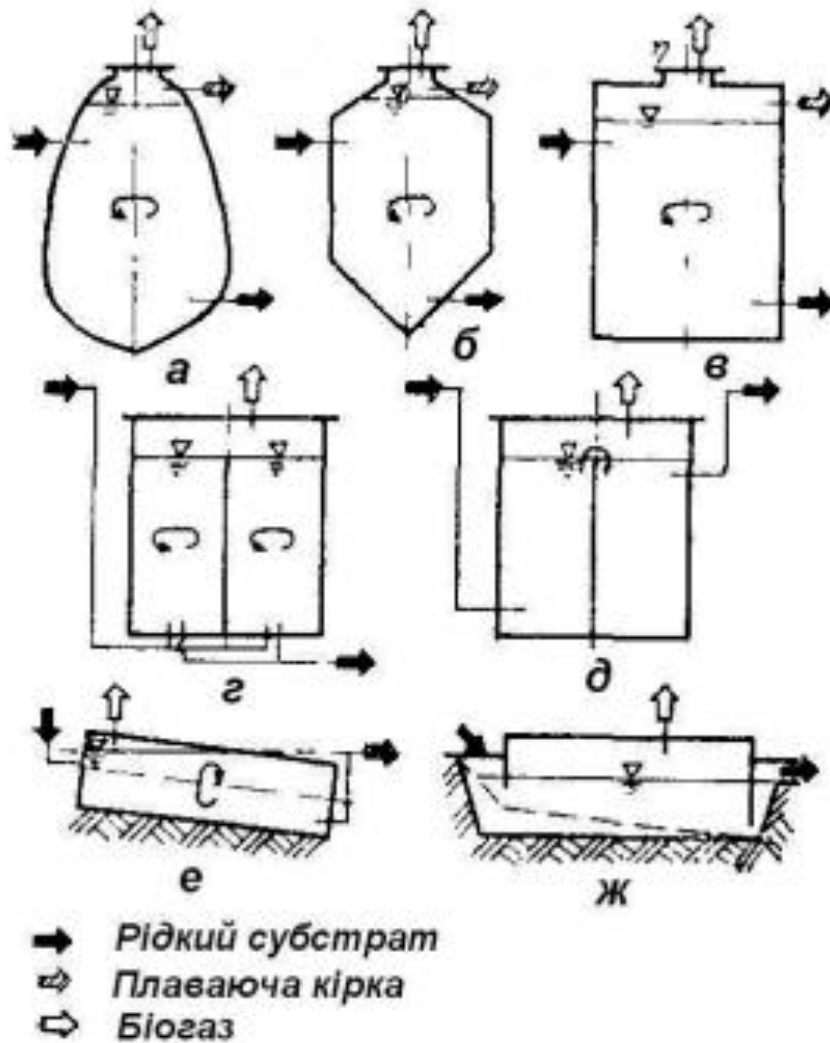
На сьогоднішній день відомі метантенки в формі яйцеподібного, кубічного, циліндричного, циліндричного з конусною верхньою або нижньою частиною і горизонтального резервуарів, а також в вигляді виритої в ґрунті герметичної траншеї (рис. 1.4) [25].

Підп. і дата	
Інв.№ докл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

ТС 17510324

Арк

26



а – яйцеподібна; б – циліндрична з конусною верхньою або нижньою частинами; в – циліндрична; г – циліндрична з перегородкою; д – кубічна; е – горизонтальна; ж – у вигляді виритої в ґрунті траншеї [25]

Рисунок 1.4 Форми метантенків:

У горизонтальному метантенку (рис. 1.4,е) субстрат переміщується і переміщається в по довжині, причому для невеликих установок можна використовувати циліндричної будови біореактори, виготовлені зі сталі або склопластика. Перемішування субстрату відбувається за допомогою горизонтальної мішалки [25].

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

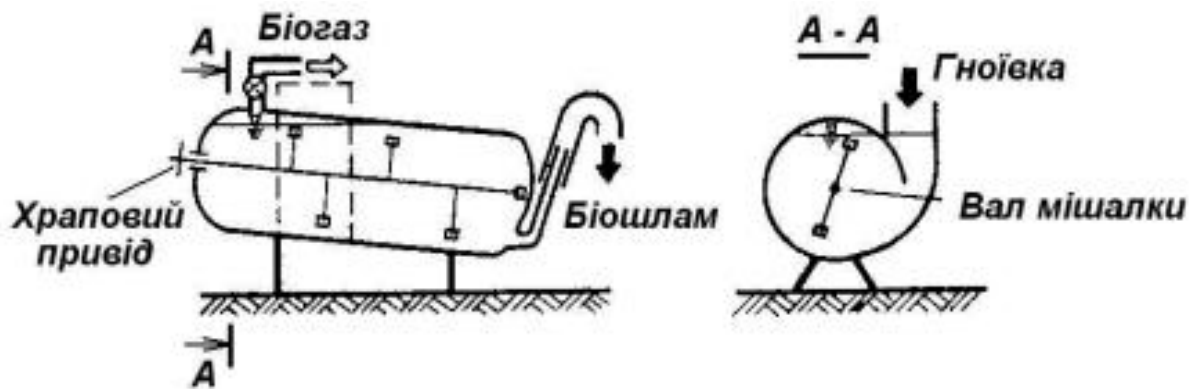


Рисунок 1.5 Горизонтальний метантенк з перемішуючим пристроєм [25]

Нахил резервуару дозволяє полегшити вивантаження біошламу. В даному типі конструкції можливе використання простого механізму перемішування [26].

#### 1.4 Характеристика кінцевого продукту

Готовим продуктом є біометан комунально-побутового призначення, який технологічними процесами доведений до характеристик природного газу згідно нормативно-технічного документа ДСТУ ISO 13443:2015 «Гази горючі природні для промислового і комунально-побутового призначення».

Чистий біометан не володіє запахом і кольором [30] Отримання біогазу відбувається в спеціальних, стійких до корозії

циліндричних циліндрах – метантенках, в яких відбувається процес метанового бродіння. Його суть полягає в анаеробному бродінні (без доступу

повітря), яке відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і супроводжується рядом біохімічних реакцій. Власне сам процес утворення біогазу відбувається в чотири етапи:

1. Гідроліз – хімічне розщеплення молекул при взаємодії з водою;
2. Ацидогенез – утворення з продуктів гідролізу водню, вуглекислого газу, спиртів та жирних кислот;
3. Ацетогенез – розкладення жирних кислот з утворенням оцтової кислоти, водню та CO<sub>2</sub>;

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

4. Метаногенез – оцтова кислота, водень і вуглекислий газ перетворюються за допомогою метаногенних архей на вуглекислий газ, метан і воду.

Виробництво біогазу потребує постійної підтримки мезофільного режиму (температури в 34-36°C), а також періодичного перемішування суміші, що зброджується.

У процесі бродіння відбувається виділення біогазу, який містить 40–70% метану (CH<sub>4</sub>), 30–60% вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), біля 1% сірководню (H<sub>2</sub>S) і невелику кількість азоту (N<sub>2</sub>), водню (H<sub>2</sub>) та аміаку (NH<sub>3</sub>), ароматичних та галогено-ароматичних вуглеводнів. Об’ємна теплота згоряння біогазу складає 22 МДж/м<sup>3</sup>.

Біогаз може застосовуватися по-різному і відкриває, таким чином, численні можливості використання:

- біогаз може застосовуватися на місці його виробництва у якості палива;
- з біогазу можна виробляти енергію. У той же час можна використовувати відхідне тепло, яке при цьому утворюється.
- біогаз пропонує цікаві можливості для децентралізованого енергозабезпечення і є цікавою альтернативою, зокрема, для великих аграрних підприємств в Україні;
- біогаз, доведений до якості природного газу (біометану), може подаватися в загальну газорозподільну мережу, яка є відмінним шляхом транспортування біогазу до споживачів та енергонакопичувачів.

На відміну від дорогих і неефективних можливостей накопичення перемінних резервів сонячної та вітрової енергії, газорозподільна мережа дозволяє майже без втрат поєднати виробництво і споживання енергії.

За фізико-хімічними показниками гази горючі мають відповідати вимогам та нормам (табл. 1.4).

Підп. і дата	Інв. № дубл.	Взаєм. інв. №	Підп. і дата	Інв. № подл.	ТС 17510324					Арк
										29
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Таблиця 1.4 Технічні вимоги [30]

Найменування показника	Допустимі границі	Методи контролю
Нижча теплота згорання, МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> ), при 20°C, 101,325 кПа,	31,8 (7600)	ДСТУ ISO 6976:2009
Область значень числа Воббе (вищого), МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> )	41,2-54,5 (9850-13000)	ДСТУ ISO 6976:2009
Допустиме відхилення числа Воббе від номінального значення, %	±5	
Масова концентрація сірководню, г/м <sup>3</sup>	0,02	ДСТУ ISO 6326-1:2015 ДСТУ ISO 6326-3:2015
Масова концентрація меркаптанової сірки, г/м <sup>3</sup>	0,036	ДСТУ ISO 6326-3:2015 ДСТУ ISO 19739:2015
Об'ємна частка кисню, %	1,0	ДСТУ ISO 6974-1:2007 ДСТУ ISO 6974-2:2007 ДСТУ ISO 6974-3:2007
Маса механічних домішок в 1 м <sup>3</sup> , г	0,001	ГОСТ 22387.4
Інтенсивність запаху газу при об'ємній частці 1% в повітрі, бал	3	ДСТУ ISO/TR 16922:2015 ДСТУ ISO 13734:2015

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№ дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510324

Арк

30

## РОЗДІЛ 2.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Сировина та матеріали

В таблиці 2.1. представлено основні вимоги та характеристики сировини для отримання біогазу з відходів великої рогатої худоби.

Таблиця 2.1 Характеристика сировини та матеріалів для отримання біогазу з відходів ВРХ

Найменування	Категорія та номер НТД, згідно якого перевіряється сировина	Показники, що є обов'язковими для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
<b>1. Основна сировина</b>			
1.1.Гній великої рогатої худоби	Згідно технологічного регламенту	Усі показники у відповідності до постачання даної сировини	Анаеробне бродіння для отримання біогазу
1.2.Вода технічна	ГОСТ 23732-79	Кольоровість, каламутність, запах, рівень рН, жорсткість, вміст мікроорганізмів і бактерій, згідно ГОСТ	Для приготування миючого розчину та змішування сировини
<b>2. Допоміжна сировина</b>			
2.1.Хлорне вапно	ГОСТ 1692-85	Усі показники у відповідності до постачання даної сировини	Використання з метою миття обладнання
<b>3. Напівфабрикати</b>			
4.1.Зброджена суміш	Згідно технологічного регламенту	Усі показники у відповідності до технологічного процесу	Для отримання біогазу у технологічному процесі
4.2. Фільтрат	Згідно технологічного регламенту	Усі показники у відповідності до технологічного процесу	Для фільтрації сировини та кінцевого продукту

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

					<b>ТС 17510324</b>	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		31

Як бачимо з таблиці 2.1 основною сировиною для отримання біогазу є гній великої рогатої худоби. В якості допоміжної речовини використовується хлорне вапно. Технологічний процес потребує також застосування охолодженої та гарячої води, та напівфабрикатів, таких як зброджена суміш та фільтрат.

## 2.2 Опис технологічного процесу отримання біогазу при переробці гною

Біогазова установка проточного типу встановлюється на фермі для переробки гною крупнорогатої худоби з наступним отриманням біогазу. Побічним продуктом є органічне добриво.

Необхідну кількість біомаси завантажують щоденно, видаляючи таку ж кількість збродженої маси [18]. Постійний об'єм біомаси розраховується у відповідності з заданим часом перебування субстрату в метантенку. Технологічна схема біогазової установки зображена на рисунку 2.1.

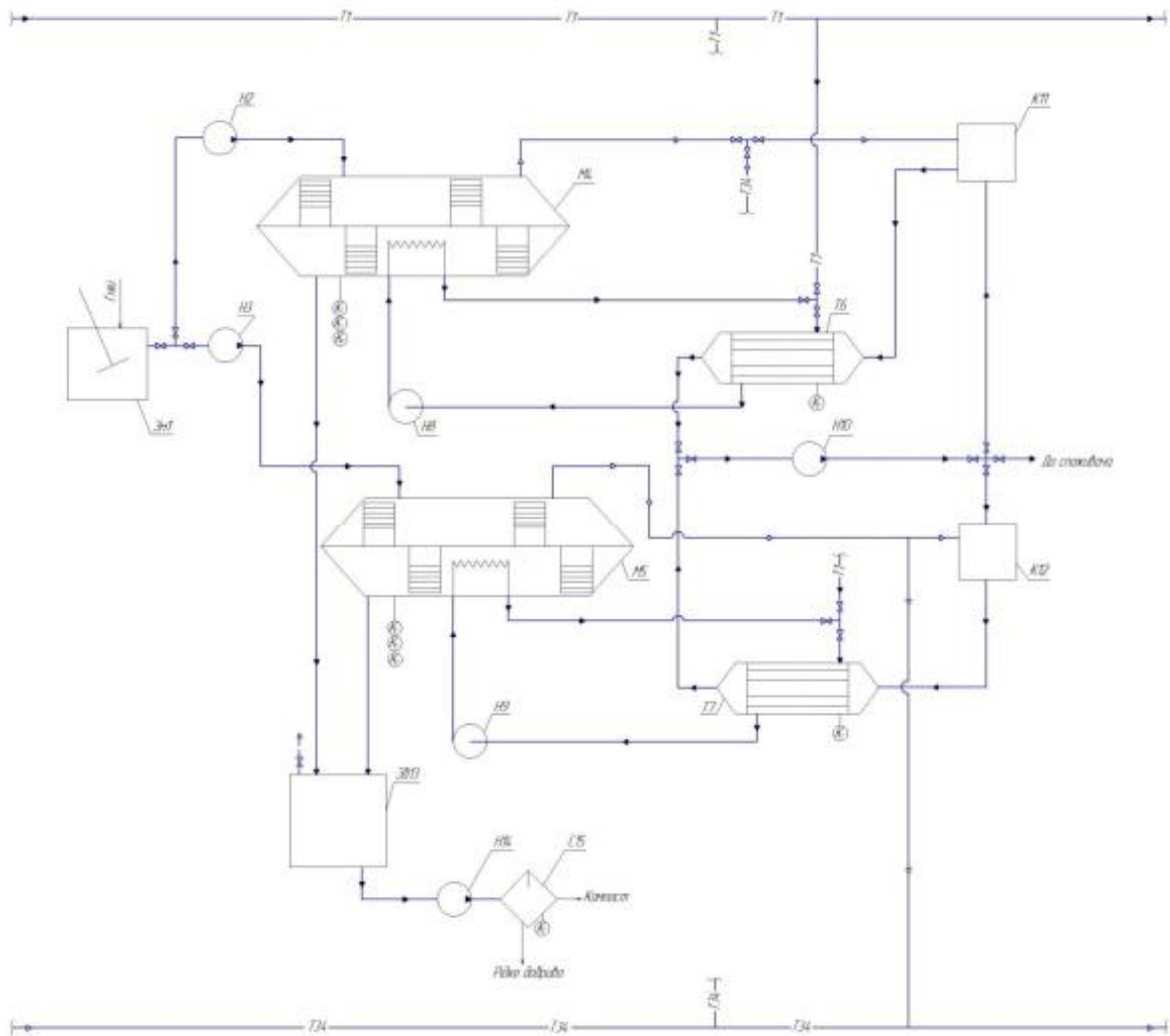
Гній із ферми ручним завантаженням подається у змішувач (Зм1), де його перемішують до однорідного гомогенного стану. Змішувач оснащений перемішувачим пристроєм, розміщеним під певним кутом. Таке розміщення запобігає утворенню воронки. Після набуття однорідного гомогенного стану гній перекачується насосами (Н2 і Н3) до метантенків (М4 і М5). В метантенках здійснюється мікробіологічний, технологічний та хімічний контроль.

В метантенку підтримується стала температура –  $t = 33^{\circ}\text{C}$ . Для підтримання сталої температури метантенк обладнаний п'ятьма змійовиками, в які подається вода з температурою  $t = 38^{\circ}\text{C}$ . Вода для змійовиків подається із трубопроводу з  $t = 15^{\circ}\text{C}$  в кожухотрубні теплообмінники (Т6 і Т7). В теплообмінниках вода з трубопроводу нагрівається до  $t = 38^{\circ}\text{C}$  гарячою водою з котлів. Гаряча вода виходить з котлів (К11 і К12) та надходить в теплообмінник з температурою  $t = 90^{\circ}\text{C}$ , на виході з теплообмінника ця вода має температуру  $t = 70^{\circ}\text{C}$ . Частина води з трубопроводу, нагріта до температури  $t = 38^{\circ}\text{C}$ , перекачується насосами (Н8 та

Інв. № подл.	Підп. і дата				ТС 17510324	Арк
	Інв. № дубл.					
	Взаєм. інв. №					
	Підп. і дата					
	Вип					
						32
	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		



Н9). В анаеробних умовах, за сталої температури середовища в метантенках утворюється біогаз.



Познач.	Найменування	к-ть	Примітка
Эн1	Энцибуач	1	
Н2,Н3	Насос	2	
М4,М5	Метантенк	2	
Т6,Т7	Теплообмінник кожухотрубний	2	
Н8,Н9	Насос	2	
Н10	Насос	1	
К11,К12	Котел	2	
ЗБ1	Збірник збродженого ґною	1	
Н14	Насос	1	
С5	Сепаратор	1	

Лит	Умовне позначення	Найменування середовища в трубопроводі
Т1	→ Т1 →	Вода очищена
Т34	→ Т34 →	Біогаз

Рисунок 2.1 Технологічна схема біогазової установки

Певна частина біогазу подається до газової мережі. Інша частина утвореного біогазу подається до водонагрівних котлів (К11 та К12). Вода, що

Підп. і дата  
Інв.№ дубл.  
Взаєм.інв.№  
Підп. і дата  
Інв.№ подл.

нагрівається в котлах, використовується як гарячий теплоносій в кожухотрубному теплообміннику для підігріву до необхідної температури води в змішувачах. Гаряча вода на виході з теплообмінника (з використанням насоса Н10) та, безпосередньо, гаряча вода з котла використовуються для задоволення потреб споживача.

Частина зброженого субстрату (в кількості, що дорівнює щоденній подачі свіжого субстрату в метантенк) відводиться із метантенка і перекачується насосом в збірник (ЗБ13). Зі збірника насосом (Н14) зброжений субстрат подається в сепаратор (С15). В сепараторі здійснюється технологічний контроль. На виході з сепаратора отримують рідке мінеральне добриво та компост.

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№ дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510324

Арк

34

## РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ МЕТАНОВОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ГНОЄВОЇ БІОМАСИ

Вихідні дані для розрахунку: поголів'я тварин виробничої групи складає 300 корів, добовий вихід екскрементів на 1 гол. за добу – 55 кг, відносна вологість екскрементів – 86 %, система гноєвидалення – гідрозмив, спосіб утримання тварин – прив'язний.

### 3.1 Розрахунок добового та річного виходу гноєвої біомаси

Вихід гною без використання підстилки (добовий) визначається за формулою:

$$Q_{г.доб} = (M_{EJ} + BJ) \frac{nJ}{1000} \quad (3.1)$$

де  $Q_{г.доб}$  - добовий вихід гною, т;

$M_{EJ}$ - добова маса екскрементів від однієї тварини, кг (табл. 3.1);

$BJ$ - добова кількість води, в системі гноєвидалення, кг;

$nJ$  - поголів'я тварин або птахів виробничої групи, що одночасно утримується на комплексі, гол.

Кількість води (BJ), яка потрапляє в систему гноєвидалення, розраховується за формулою:

$$BJ = K \cdot M_{EJ}, \quad (3.2)$$

де K - коефіцієнт (за табл. 3.2).

Таблиця 3.1 – Добовий вихід екскрементів ( $M_{EJ}$ ) від тварин, кг [33]

Вікові групи тварин	Вихід на 1 гол, кг за добу		
	кал	сеча	всього
Велика рогата худоба:			
Корови	35	20	55
Нетелі	20	7	27
Телята 0-6 міс.	5	2,5	7,5

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510324

Арк

35

Таблиця 3.2 - Добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення [33]

Система видалення	Коефіцієнт, який розраховується від добового виходу екскрементів тварин
Транспортна (конвеєрна)	0,1-0,2
Самосплавна	0,3-0,5
Лотково-змивна з сухою чисткою підлоги	2,0-2,5
Лотково-змивна з вологою чисткою підлог	5,0-6,0
Гідрозмив	7,0-8,0

Для гідрозмиву  $K=8,0$

$$BJ = 8 \cdot 55 = 440 \text{ кг}$$

$$Q_{2.доб} = (55 + 440) \frac{400}{1000} = 198, \text{ т}$$

Вихід гноєвої маси на рік:

$$Q_{2.річ} = Q_{2.доб} \cdot t \tag{3.3}$$

де  $t$  – кількість днів у році (365).

$$Q_{2.річ} = 198 \cdot 365 = 72270 \text{ т.}$$

### 3.2 Розрахунок впливу якісних параметрів гноєвої біомаси на вихід біогазу

Вологість гноєвої біомаси, яка виходить з ферми

Вологість безпідстилкового гною визначається за формулою:

$$W_2 = \frac{W_E + 100Z}{1 + Z} \tag{3.4}$$

де:  $W_2$  - відносна вологість гною. %;

$W_E$  - відносна вологість екскрементів, %, (табл. 3.3)

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510324

Арк

36

Z - показник, який враховує кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення (табл. 3.4).

Таблиця 3.3- Відносна вологість екскрементів тварин [33]

Вид тварин	Вологість, %		
	кал	сеча	суміш
Велика рогата худоба	83-84	94-95	86-87
Свині	76-78	94-95	87-88
Вівці	76-79	94-95	74-75

Таблиця 3.4- Показник, який враховує кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення [33]

Спосіб видалення гною	Z
Транспортний (конвеєрний)	0,2-0,3
Самосплавний	0,4-0,5
Лотково-змивний з сухим чищенням підлоги	2,0-2,5
Лотково-змивний з вологим чищенням підлоги	5,0-6,0
Гідрозмив	7,0-8,0

$$W_z = \frac{86 + 100 \cdot 8,0}{1 + 8,0} = 98,4 \%$$

Вологість підстилкового гною визначається за формулою:

$$W_{z.відн} = W_E - \left[ 0,01P_{II}(W_E - W_{II}) + 0,01P_B(100 - W_E) \right], \quad (3.5)$$

де:  $W_{z.відн}$  - відносна вологість підстилкового гною, %;

$W_E$  - вологість екскрементів, %;

$W_{II}$  - вологість підстилки (соломи) – 19,6%;

$P_{II}, P_B$  - процентне співвідношення в гноєвій масі підстилки і води, %.

Для визначення  $P_{II}, P_B$  розраховуємо, скільки води за добу потрапило в систему гноєвидалення за формулами:

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

ТС 17510324

Арк

37

$$BJ = K \cdot M_{EJ} \quad (3.6)$$

де:  $BJ$ - добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення, кг;  
 $M_{EJ}$ - добова маса екскрементів від однієї голови, кг;

$$BJ = 8,0 \cdot 55 = 440 \text{ кг,}$$

$$P_B = \frac{BJ \cdot 100}{M_{EJ} + BJ + M_n J}, \quad (3.7)$$

де  $M_n$  - кількість підстилки на добу, кг.

$$P_B = \frac{440 \cdot 100}{55 + 440 + 1,5} = 88,6 \%$$

$$P_{II} = \frac{M_n J \cdot 100}{M_{EJ} + BJ + M_n J},$$

$$P_{II} = \frac{1,5 \cdot 100}{55 + 440 + 1,5} = 0,3 \%$$

$$W_{з.відн} = 86 - [0,01 \cdot 0,3(86 - 19,6) + 0,01 \cdot 88,6(100 - 86)] = 73,4 \% \quad (3.8)$$

Вміст сухої речовини в гноєвій біомасі

Для забезпечення рентабельності біогазового виробництва вміст сухої речовини в гноєвій біомасі має становити 8-12%, а органічної речовини - 85%.  
 Хімічний склад гною наведений у таблиці 3.5.

$$P_{a.c.p.} = \frac{Q_z (100 - W_{z.f.})}{100}$$

де:  $P_{a.c.p.}$  - вміст абсолютно сухої речовини в гноєвій біомасі, т;

$Q_{z.доб.}$  - добовий вихід гною з ферми, т;

$W_{z.f.}$  - відносна вологість гною, який виходить з ферми, %.

$$P_{a.c.p.} = \frac{72207(100 - 81,7)}{100} = 13214$$

Вміст органічної речовини в гноєвій біомасі

Встановлено, що в гноєвій біомасі різних видів сільськогосподарських тварин міститься до 80% органічної речовини і близько 20% неорганічної.

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

ТС 17510324

Арк

38

Таблиця 3.5 - Хімічний склад гною сільськогосподарських тварин, % у сухій речовині [33]

Компонент	Вид тварин		
	Корови	Свині	Кури
Органічна речовина	77-85	77-84	76-77
Сира клітковина	27,6-50,3	19,5-21,4	13,0-17,8
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	-	9,6-14,3
Азот	1,9-6,5	4,0-10,3	2,3-5,7
Фосфор	0,2-0,7	1,9-2,5	1,0-2,9
Калій	2,4	1,4-3,1	1,0-2,9
Кальцій	2,3-4,9	-	5,6-11,6
Магній	-	-	0,9-1,1

Кількість органічної речовини в біомасі гною, отриманої від тварин за рік та за добу, визначається за формулою:

$$O_p = P_{a.c.p.} \cdot 0,8 \quad (3.9)$$

де:  $O_p$  - добова кількість органічної речовини в гної, т;

$P_{a.c.p.}$  - добова кількість абсолютно сухої речовини, т.

$$O_p = 13214 \cdot 0,8 = 10571, \text{ т}$$

### 3.3 Визначення основних параметрів системи анаеробного зброджування гноєвої біомаси (метантенка) БГУ

Добова продуктивність реактора, або його пропускну здатність щодо вихідного гною.

$$G_{доб} = \frac{Q_{г.річн}}{t_{річн} - t_3}, \quad (3.10)$$

де  $G_{доб}$  - добова продуктивність щодо вихідного гною, т/добу;

$Q_{г.річн.}$  - річна кількість гноєвої біомаси на фермі, т;

$t_{річн.}$  - кількість діб у році (365);

$t_3$  - тривалість випуску й обслуговування реактора, діб (30 діб).

$$G_{доб} = \frac{72270}{365 - 30} = 215,73 \text{ т/добу,}$$

Підп. і дата	Інв.№ дубл.	Взаєм.інв.№	Підп. і дата	Інв.№ подл.	TC 17510324	Арк
						39
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Добовий об’єм завантаження метантенка ( $Q_{доб}$ ,  $m^3$ ) дорівнює добовому виходу з ферми гною вологістю 88—92%.

$$Q_{доб} = \frac{W_{г.ф.} \cdot Q_{г.доб.}}{W_{в.опт.в.г.} \cdot q_g}, \quad (3.11)$$

де  $Q_{г.доб.}$  - добовий об’єм завантаження метантенка,  $m^3$ ;

$W_{г.ф.}$  - відносна вологість гною, який виходить з ферми, %;

$W_{в.опт.в.г.}$  - відносна оптимальна вологість гною (88-92%);

$Q_{г.доб.}$  - добовий вихід гною на фермі, т;

$q_g$  - питома вага 1  $m^3$  гною при вологості 82%, 1,4т.

$$Q_{доб} = \frac{81,7 \cdot 198}{92 \cdot 1,4} = 125,6 m^3$$

### 3.4 Об’єм бродильної камери БГУ

Об’єм бродильної камери безпосередньо впливає на ефективність виробництва біогазу. Тому при проектуванні камери основними параметрами є режим роботи біогазової установки та кількість біомаси гною.

$$V_K = \frac{Q_{доб.} \cdot 100}{p \cdot q} \quad (3.12)$$

де:  $V_K$  - місткість бродильної камери,  $m^3$ ;

$Q_{доб.}$  - добовий об’єм завантаження метантенка,  $m^3$ ;

$p$  - добова доза завантаження, % (для мезофільного процесу - 7%, для термофільного процесу - 15%);

$q$  - коефіцієнт заповнення камери (у межах 0,8-0,95).

$$V_K = \frac{125,6 \cdot 100}{7 \cdot 0,85} = 2112 m^3.$$

Об’єм газогенерації,  $m^3$  (добовий вихід біогазу)

Із 1 кг сухої речовини гноєвої біомаси, завантаженої в реактор біогазової установки, теоретично можна одержати близько 0,4-0,6  $m^3$  біогазу.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

ТС 17510324

Арк

40

Вип Арк № докум. Підп. Дата



Крім кількості сухої речовини, суттєвим параметром, який впливає на вихід біогазу, є вміст та склад органічної речовини, особливо кількість жирів, білків, вуглеводів (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 - Вихід біогазу при анаеробному зброджуванні сільськогосподарських відходів [33]

Відходи:	Вихід біогазу на 1 кг сухої органічної речовини, м <sup>3</sup>	Вміст СН <sub>4</sub> , %
Гній: великої рогатої худоби	0,38	55,0
Свиней	0,58	77,0
Курачий послід	0,63	79,2
Солома	0,342	58,0
Силосні відходи	0,28	84,0

Таблиця 3.7- Вихід біогазу і вміст метану (СН<sub>4</sub>) при метановому бродінні жирів, білків, вуглеводів [33]

Найменування	СН <sub>4</sub>	Вихід біогазу на 1 кг розкладеної органічної речовини, м <sup>3</sup>	Ступінь розкладу речовини, %
Вуглеводи	50,0-60,0	0,79-0,88	64,0-65,0
Жири	62,0-72,0	1,12-1,44	69,0-70,0
Білки	72,0-84,0	1,44-1,58	47,0-48,0

Співвідношення кількості біогазу, який може бути виділений із органічної речовини гноєвої біомаси дійних корів (Д), відгодівельних бичків (Б), свиней (С) і курей (К) в процесі метанового бродіння при мезофільній температурі орієнтовно може бути таким: Д:Б:С:К = 5:7:8:10.

Добовий вихід біогазу розраховується за формулами з врахуванням вмісту в гноєвій біомасі сухої (3.13) речовин:

$$V_{г.доб.} = \frac{P_{a.c.p.} \cdot Z}{100 \cdot K \cdot v} \quad (3.13)$$

де:  $V_{г.доб.}$  - добовий вихід біогазу, м<sup>3</sup>;

$P_{a.c.p.}$  - добова кількість сухої речовини, т;

$Z$  - стан розкладання органічної речовини, % (30);

Підп. і дата  
Інв.№ дубл.  
Взаєм.інв.№  
Підп. і дата  
Інв.№ подл.

ТС 17510324

Арк

41

Вип Арк № докум. Підп. Дата

$K$  - коефіцієнт розчинності біогазу (1,1-1,5);

$v$  - питома вага біогазу (при вмісті за об'ємом: метану 65 % та діоксиду вуглецю 35 % - дорівнює 0,00117 т/м<sup>3</sup> або 1,17 кг/м<sup>3</sup>).

$$V_{г.добр.} = \frac{13214 \cdot 30}{100 \cdot 1,1 \cdot 0,0117} = 308018, \text{ м}^3.$$

Річний вихід біогазу:

$$V_{г.річн.} = V_{г.добр.} \cdot 365$$

$$V_{г.річн.} = 308018 \cdot 365 = 112426570 \text{ м}^3$$

### 3.5 Визначення виходу залишкової продукції

Після зброджування гноєвої біомаси і одержання біогазу залишається тверда фракція гною (шлам) і надосадова рідина (рідка фракція). Кількість твердої і рідкої фракції залежить як від вологості гною, який завантажується, так і вологості фракцій, які одержуємо (твердої і рідкої).

В середньому з 1 кг органічної речовини, біологічно розкладеної на 70%, можна одержати 0,5 кг біогазу, 0,2 кг води і 0,3 кг нерозщепленого залишку шламу.

Вихід твердої фракції (шламу)

Тверда фракція гною містить значну кількість поживних речовин і може використовуватись як цінне знешкоджене органічне добриво або кормові добавки.

$$M_{ш.річн.} = Q_{г.річн.} \frac{W_q - W_{г.зв.}}{W_q - W_{ш.}} \quad (3.14)$$

Річний вихід твердої фракції визначається за формулою:

де:  $M_{ш.річн.}$  - річна маса шламу, т;

$Q_{г.річн.}$  - річний вихід гною, т;

$W_q$  - вологість рідкої фракції, % (98-99);

$W_{г.зв.}$  - вологість гною, що завантажується, % (88-92);

Підп. і дата	Інв. № дубл.	Взаєм. інв. №	Підп. і дата	Інв. № подл.	ТС 17510324				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

$W_{ш}$  - вологість шламу, % (87).

$$M_{ш.річн.} = 72270 \frac{98-92}{98-87} = 39420 \text{ т}$$

Відносний вихід шламу:

$$M_{ш.відн.} = \frac{M_{ш.річн.} \cdot 100}{Q_{г.річн.}},$$

$$M_{ш.відн.} = \frac{39420 \cdot 100}{72270} = 54,3$$

Добовий вихід шламу:

$$M_{ш.доб} = \frac{39240}{365} = 107,5 \text{ т}$$

Вихід рідкої фракції

Рідка фракція містить у середньому: сухої речовини - 1,0-5,0; органічної речовини - 0,25-4,2; фосфору - 0,05-0,7; азоту - 0,31 1,14; рН рідкої фракції - 6,5-8,3.

Рідка фракція після анаеробної переробки гною відповідає вимогам, які пред'являються органами охорони природи до якості стічних вод.

Оскільки вона містить значну кількість поживних речовин, то може використовуватись як рідке органічне добриво, а також може бути субстратом для вирощування гідробіонтів (мікроводоростей) і частіше спіруліни (синьо-зеленої водорості), яка в свою чергу, є цінною білковою і вітамінно-мікромінеральною кормовою добавкою до раціонів сільськогосподарських тварин, а також сировиною для фармацевтичної промисловості.

Річний вихід рідкої фракції визначається за формулою:

$$M_{q.річн.} = Q_{г.річн.} \frac{W_{г.зв.} - W_{ш}}{W_q - W_{ш}} \quad (3.15)$$

де  $M_{q.річн.}$  - річна маса рідкої фракції, т.

$$M_{q.річн.} = 72270 \frac{92-87}{98-87} = 32850, \text{ т.}$$

Добовий вихід рідкої фракції:

Підп. і дата						ТС 17510324	Арк
Інв.№ дубл.							43
Взаєм.інв.№							
Підп. і дата							
Інв.№ подл.							
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			

$$M_{q.добр.} = \frac{32850}{365} = 90, \text{ т.}$$

### 3.6 Визначення виходу товарного біогазу

Товарний біогаз - це частка біогазу від загальної кількості біогазу, який отримують а процесі анаеробного бродіння, з якого можна одержати теплову або електроенергію, або замінити біогазом природні носії енергії (природний газ, нафту, дизпаливо, бензин тощо).

Вихід товарного біогазу залежить від кількості біогазу, який використовується для підігрівання зброджувальної біомаси та витрат теплової енергії при анаеробному бродінні, які у свою чергу залежать від природно-кліматичних умов, розміщення господарства, режиму роботи, складу і конструкційних особливостей БГУ.

Визначення теплової енергії, необхідної для підігрівання біомаси.

$$E_{бгу} = C \cdot Q_{г.річн} \cdot \Delta t \quad (3.16)$$

де:  $E_{бгу}$  - теплова енергія, необхідна для підігріву гною до температури бродіння, МДж;

$Q_{г.річн}$  - річна кількість гною, яка виходить з ферми, кг;

$\Delta t$  - різниця температури збродження і температури вихідного гною (збр - тгною), °C;  $t$  збр залежить від режиму роботи БГУ, а  $t^\circ$  вихідного гною складає у теплий період року (245 діб) в середньому +20°C; в холодний - +10°C (120 діб).

$C$  - питома теплоємність рідкого гною (4,19 кДж/кг град).

$$E_{бгу} = 4,19 \cdot 72270 \cdot 20 = 6056226 \text{ МДж.}$$

Визначення кількості біогазу, необхідного для підігріву біомаси:

$$Q_{бг} = \frac{E_{бгу}}{q}$$

де:  $Q_{г}$ - кількість необхідного для підігріву біомаси біогазу, м<sup>3</sup>;

$q$  - чиста теплотворна здатність біогазу ( $q=22\text{МДж/м}^3$ ).

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ТС 17510324	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		44

$$Q_{бг} = \frac{6056226}{22} = 275283 \text{ м}^3.$$

Частка біогазу, необхідного для підігріву гною:

$$\eta_H = \frac{Q_{бг}}{V_{г.річн}}$$

де:  $Q_{бг}$  - необхідна кількість біогазу для підігріву біомаси,  $\text{м}^3$ ;

$V_{г.річн.}$  - річний вихід біогазу,  $\text{м}^3$ .

$$\eta_H = \frac{275283}{112426570} = 0,0025$$

Кількість отриманого товарного біогазу:

$$V_{т.г.} = V_{г.річн.} - Q_{бг},$$

$$V_{т.г.} = 112426570 - 275283 = 112151287, \text{ м}^3.$$

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№ дубл.	Підп. і дата	ТС 17510324				Арк
									45
Вил	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Шкідливі і небезпечні виробничі фактори установки по отриманню біогаза

Установки для виробництва біогазу в ряді випадках можуть виступати джерелом небезпеки:

1) при вдиханні концентрованого біогазу та затримання його на певний час, може викликати смерть внаслідок отруєння або задухи. Не очищений від сірки біогаз, має сильний токсичний вплив. Найбільш небезпечна ситуація, коли при високій концентрації сірки, гнильний запах сірководню більше не сприймається людиною як небезпека;

2) очищений від сірки біогаз, також може привести до летального результату через удушення від нестачі кисню. Біогаз легший за повітря (щільність = 1,2 кг / нм<sup>3</sup>), але схильний до розшарування. При цьому важкий вуглекислий газ збирається (щільність = 1,85 кг / нм<sup>3</sup>) внизу, а більш легкий метан (щільність = 0,72 кг / нм<sup>3</sup>) піднімається до верху;

3) біогаз в суміші з повітрям, при його концентрації від 6 до 12% і тепловим джерелом більш 700°C, - вибухонебезпечний, також небезпека вибуху виникає при концентрації біогазу в повітрі більше 12% (без джерела запалювання);

Таблиця 4.1 Токсична дія сірководню (загальні хімічні показники) [42]

Концентрація в повітрі	Вплив
0,03-0,15 ppm *	Хвиля сприйняття, запах тухлих яєць.
15-75 ppm	Роздратування очей, нудота, блювота,
150-300 ppm Δ 0,015-0,03%	Параліч нервів
> 375 ppm Δ 0,038%	Смерть внаслідок отруєння (через декілька годин)
> 750 ppm Δ 0,075%	Втрата свідомості і смерть від зупинки дихання протягом 30-60 хвилин
Від 1000 ppm Δ 0,1%	Миттєва смерть через параліч органів дихання протягом декількох хвилин

\*Ppm = Parts per million (з англ. частинок на мільйон) = 0,0001%.

Підп. і дата
Інв.№ дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№ подл.

					<b>ТС 17510324</b>	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		46

Для захисту від можливого потрапляння умовно-патогенної та потогенної мікрофлори потрібно використовувати засоби індивідуального захисту.

4) небезпека при експлуатації біогазових установок може виходити від електричних приладів, обертових частин установки, трубопроводів і резервуарів під тиском.

Наявність вогнегасників, пожежної сигналізації, клапанів для спуску надлишкового газу на обладнанні (в метантенку на трубопроводах) є необхідними заходами в роботі з біогазовою установкою.

Дотримання відповідних правил і норм техніки безпеки може обмежити ступінь небезпеки, що виходить від біогазового обладнання.

Були розроблені «Правила техніки безпеки для біогазових установок» спеціально для обладнання з виробництва біогазу. Всі біогазові установки підлягають цим нормам техніки безпеки і повинні виконувати закладені в них вимоги [43].

Рекомендується, вже на стадії проектування і конструкторського опрацювання біореакторів, дотримуватися зводу цих правил техніки безпеки, щоб не довелося згодом, при запуску і експлуатації біогазового устаткування, задіяти непередбачені інвестиційні вкладення.

Вимоги, закони та приписи з техніки безпеки викладені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Документи, що регулюють експлуатацію біогазових установок

Регульовані питання	Закони, розпорядження
Безпека під час будівництва і експлуатації	Закон про безпеку при роботі з обладнанням і на виробництві; Норми з безпеки при роботі з вибуховими речовинами BGR 104, GR 132; Безпека експлуатації підприємства; Європейські нормативи 94/9 / ЄС; Норми щодо запобігання нещасних випадків і профспілкові вимоги.
Безпека при роботі з технікою на виробництві.	Закон про безпеку при роботі з технікою і на виробництві, Європейські норми.

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

											ТС 17510324	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата								47

	<p>Норми для роботи з технікою і на виробництві: мінімальні вимоги GPSGV 1 норми при роботі з низькою напругою GPSGV 9; Норми щодо поводження з технікою. GPSGV 11 і 14.</p>
Техніка безпеки працівників на робочому місці.	<p>Закон про захист праці. Норми про безпеку роботи підприємства. Норми про роботу з біоречовинами. Норми щодо запобігання нещасних випадків на робочому місці. Норми потехніці безпеки і збереженню здоров'я.</p>

Правила і норми техніки безпеки, при роботі з біогазовим обладнанням, сільськогосподарського, промислового і індивідуального призначення, дають деталізовані вказівки щодо безпечної експлуатації окремих вузлів біогазових установок, комплектації технічних приміщень по розміщенню біогазових установок, прийому і здачі виконаних робіт, правильної організації зон підвищеної небезпеки (вибухонебезпечних ділянок), запобігання нещасним випадкам та травматизму.

До цих правил додаються вимоги з охорони праці, оскільки на біогазових установках працює окремий персонал.

Роботодавець зобов'язаний надати документ з вибухонебезпечними зонами, по якому можна було б визначити:

1. наскільки велика небезпека освіти вибухонебезпечних сумішей на виробництві і місце їх можливого виникнення;
2. заходи вживаються для мінімізації цієї небезпеки.

Робота з біогазовою установкою вимагає суворого дотримання спеціальних правил, що визначається двома основними положеннями.

Працівники повинні дотримуватися таких правил.

1. Кожен робітник працює на постійному місці, виконуючи завдання індивідуально.

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

					ТС 17510324	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		48



2. На робочому місці не повинно бути сторонніх предметів.

3. Робітник повинен працювати тільки в чистих халатах, волосся повинне бути підібрані, не падати на плечі.

4. При роботі з культурами мікроорганізмів необхідно дотримуватися всіх правил мікробіологічної техніки.

5. Всі предмети, використані при роботі з живими культурами, повинні бути знезаражені або обпаленням в полум'я пальника (петлі, голки), або занурені в дезінфікуючий розчин (предметні і покривні скла, піпетки, шпателі).

6. Всі засіяні пробірки, чашки збожеволіють в термостат.

Відпрацьований матеріал (пробірки, чашки Петрі) також міститься в певні ємності для їх подальшого знезараження.

7. У лабораторії забороняється куріння, прийом їжі, зайве ходіння по лабораторії.

Навколо зброджу вальних реакторів газових накопичувачів необхідно передбачати захисні зони, з діючою заборонаю відкритого пламеню, іскри, куріння. Захисна зона і прилегла територія повинна бути забезпечена заборонними табличками.

В залежності від обсягу виробленого біогазу, типу будови резервуара і використаних них при будівництві матеріалів розміри захисної зони облаштовують від 1,5 до 20 м [41].

Захисні дистанції визначаються, в залежності від небезпеки, при можливому вибуху:

- зона 0 - в якій, при порушенні робочих режимів і техніки безпеки, постійно існує небезпека вибуху;

- зона 1 - територія, на якій час від часу може виникнути вибухонебезпечне середовище з різних газів (наприклад близько горловини продувочного трубопроводу, газових факелів);

- зона 2 - територія на якій неможлива вибухонебезпечне середовище з газів.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510324

Арк

49

Вибухонебезпечні зони (1 і 2) обов'язково документуються на плані вибухонебезпечних зон. План подається разом з документами з планування будівництва в належні контрольні органи, для видачі дозволу на будівництво.

Запірна арматура і газопроводи повинні проходити перевірку на непроникність. Вони повинні бути корозійностійкими до робочого середовища, на практиці зазвичай виготовляються з нержавіючої або оцинкованої сталі, полівінілхлориду та поліетилену (витримує високий тиск) [38].

Кольорові метали не застосовуються, зважаючи на їх нестійкості до впливу біогазу.

Трубопроводи зі штучних матеріалів дозволяється застосовувати і в якості сполучних ліній ферментатора і газгольдера. Трубопроводи і арматура призначені для рівня номінального тиску PN 6 і повинні перебувати в тепловій зоні.

Газопроводи повинні бути марковані відповідними обозначеннями напрямку потоку руху і пофарбовані в жовтий колір.

Запірна арматура повинна бути забезпечена безпечним доступом.

Вентилі для газозабору повинні мати запобіжники від несанкціонованого відкривання.

Шибери в насосних шахтах повинні бути виконані, так щоб їх можна було обслужити без заходження в шахту.

Сепаратори для конденсату і запобіжні пристрої повинні знаходитися доступному місці. Доступ до працюючих під тиском пристроїв, повинен бути простим для обслуговування, а також ці прилади зобов'язані мати захист від промерзання і витікання робочої рідини.

Газгольдери і газові резервуари повинні забезпечуватися обмежувачами граничного тиску газу. Гідрозапори повинні бути захищені від промерзання і витікання. Зливний трубопровід запобіжника граничного тиску повинен виходити в навколишнє середовище.

Територія, на відстані 1 м навколо горловин є захисною зоною 1.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ТС 17510324	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		50

Установка газових котлів повинна відповідати технічним правилам по установці газового обладнання. Приміщення для генераторів повинні мати площі, що дозволяють мати вільний доступ до генератора з 3 сторін.

Двері повинні відкриватися у напрямку виходу з приміщення. Донні сливи повинні бути оснащені сепараторами масла.

Приміщення, в яких установлюються обладнання і генератори повинні мати перехресну вентиляцію з припливом.

Вимикачі генератора і газозапірна вентиляція повинні знаходитися поза технічного приміщення, щоб була можливість відключити агрегат в будь-який час.

Вогнегасник на 12 кг порошку і захисний ковпак для пожеж категорій А, В і С згідно DIN EN 319 повинен знаходитися в добре видному місці у приміщенні біля генератора [35].

Перед запуском біогазової установки проходить експертний висновок.

Орган, який видає дозвіл перед запуском біогазової установки повинен отримати свідоцтво про перевірку на непроникність газгольдера з вказівками міцності на розрив, щодо метану і стійкості використаного матеріалу плівки до температури, необхідно надати зразок матеріалу плівки.

Також обов'язковим є наявність протоколу про прийняття з боку експерта в газовій галузі, яке б свідчило що газова установка, включаючи всі газопроводи відповідає всім загальноприйнятим правилам безпеки техніки, а також вимагає підтвердження цього з боку фахівця з електротехніки про те, що електричне обладнання відповідає вимогам безпечної експлуатації.

Дотримання всіх правил безпеки дозволить зменшити небезпеку при роботі з газовим обладнанням та мінімізує можливість отримання травм на виробництві.

Інв.№ подл.	
Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	
Інв.№ дубл.	
Підп. і дата	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

ТС 17510324

Арк

51

## 4.2 Організація і проведення евакуаційних заходів під час НС

Залежно від умов, що склалися евакуацію проводять у межах окремого регіону з території, яка може піддаватися впливу НС техногенного або природного характеру, або з міст і промислових районів - у разі загрози виникнення війни. Переміщення великої кількості людей за короткий термін у складних умовах і на значні відстані вимагає організованості і керованості процесом на всіх його етапах з метою своєчасного проведення та запобігання виникнення паніки та недопущення загибелі людей [45].

При плануванні евакуаційних заходів в особливий період прогнозують очікувану обстановку, визначають межу зони можливих сильних руйнувань (на кордоні цієї зони очікується  $R_f = 30$  кПа) і межу зони можливих слабких руйнувань ( $R_f = 10$  кПа). Разом ці зони утворюють зону можливих руйнувань. Населення міст евакуюють із зони можливих сильних руйнувань в заміську зону - місцевість поза зоною можливих руйнувань, поза зонами можливого небезпечного хімічного, радіоактивного зараження, катастрофічного затоплення.

Населення із зони можливих слабких руйнувань не евакуюють, оскільки щільність населення невелика і є можливість захистити людей в місцях проживання [21].

Населення, що підлягає евакуації, поділяють на дві категорії. До першої належать працівники та службовці, які працюватимуть під час війни на підприємствах і в установах, продукція яких потрібна для оборони, а також працівники комунальних підприємств міста. Захист людей зі зміни, яка працює, забезпечують у сховищах на об'єктах. Захист членів сімей та людей з інших змін забезпечують в заміській зоні. Для цієї категорії населення евакуаційні заходи називають рассредоточением працівників і службовців, що діють за принципом: жити за межами міста, працювати в місті. Тому для них райони розміщення призначають ближче до міста, поруч з транспортними магістралями з

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510324

Арк

52

урахуванням того, щоб час проїзду на роботу і назад в заміську зону не перевищував 4-5 годин.

Евакуацією називають вивезення або виведення з міста в заміську зону решти населення, тобто робітників і службовців об'єктів, припиняють роботу під час війни або переносять її в заміську зону, і незайнятого у сфері виробництва та обслуговування населення. Евакуйоване населення живе в заміській зоні до особливого розпорядження.

Розосередження та евакуацію проводять в період загрози нападу ворога, безпосередньої загрози НС такими способами:

- Вивезення населення транспортом;
- Висновок пішки;
- Комбінованим, при якому висновок з міста пішки поєднують з вивезенням

деяких категорій населення. Транспорті вивозять працівників об'єктів, що функціонують формування ЦЗ, інвалідів, хворих, жінок з дітьми до 10 років.

Після розосередження і евакуації в містах залишається тільки зміна, працює [45].

Розосередження та евакуацію працівників, службовців, членів їх сімей планують і організують за територіально-виробничим принципом, тобто працівники - по об'єктам господарювання, а населення, не має відношення до виробництва, - за місцем проживання, через житлово-експлуатаційні організації.

Евакуйоване населення, робітників і службовців підприємств, що функціонують, розмішують в заміській зоні на житловій площі місцевих жителів, в клубах, пристосованих для проживання службових і виробничих будівлях, будинках відпочинку, пансіонатах, дачних селищах. Евакуйоване населення розмішують у більш віддалених районах.

Для безпосереднього управління підготовкою та проведенням евакозаходів створюють евакуаційні органи, до яких належать: у містах - міські, районні та об'єктові евакуаційні комісії (ЕК) збірні евакуаційні пункти (СЕР), у сільських

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

ТС 17510324

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

районах - евакоприёмные комиссии (ЕПК), приёмные эвакуационные пункты (ПЕП) и промежуточные пункты эвакуации (ППЕ) [43].

Эвакуационные комиссии та ЕПК здійснюють планування, підготовку, організацію і керівництво проведенням евакуаційних заходів.

Збірні евакуаційні пункти призначені для організації збору, реєстрації, обліку та відправки міського населення в замиську зону. Їх розмішують поблизу станцій, пристаней, пунктів посадки на транспорт. Приблизний склад ЗЕП: керівник, його заступник, групи - оповіщення, реєстрації та обліку, охорони громадського порядку, комендант і чергові, голови ешелонів (колон). У евакуаційному пункті організують медичний пункт, кімната матері і дитини, довідкова. До ЗЕП приписують заздалегідь певні об'єкти і частина населення.

Приймальні евакуаційні пункти створюють для прийому і розселення в замиській зоні міського населення. Їх розташовують поблизу станцій, пунктів висадки населення. Приблизний склад адміністрації ПЕП такий же, що і ЗЕП.

Проміжні пункти евакуації організують для прийому та тимчасового розміщення населення, евакуюється з міста пішки, і подальшого доставки його транспортом до місць розселення.

За комбінованого способу частина населення вивозять транспортом, частина виводять пішки [20].

Населення, евакуюється пішки, поділяють на колони по 500-1000 чоловік, а колони - на групи по 30-50 чоловік. Керівники об'єктів призначають начальників колон і головних у групах. Колони пересуваються пішки дорогами, незайнятими рухом автомобілів, і за іншими маршрутами. На пішохідний маршрут призначають начальника маршруту з групою управління, засобами зв'язку (1-2 радіостанції, 2-3 мотоцикли, 1-2 автомобіля), представниками служби охорони громадського порядку, формуваннями медичної служби. Рух піших колон планують зазвичай на відстань одного добового переходу до ППЕ (35-40 км). Від ППЕ до ПЕП і далі до пунктів розміщення населення перевозять транспортом сільських районів (на невеликі відстані населення може йти пішки).

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 17510324

Арк

54



висадки населення реєструють на ПЕП і розселяють за вказівкою адміністрації цього пункту. Самовільно залишати місце розселення не дозволяється. Місцеві органи влади, керівники підприємств вживають заходів з працевлаштування міського населення і життєзабезпечення евакуйованих.

Проведення заходів з евакуації вимагає всебічного забезпечення, яке включає: протирадіаційний і протихімічний захист, медичне, матеріальне, технічне, транспортне забезпечення та охорону громадського порядку, організують служби ЦЗ під керівництвом начальника ЦЗ об'єкта [45].

Інв.№ подл.	Підп. і дата				Інв.№ дубл.	Підп. і дата
	Взаєм.інв.№					
<p style="text-align: center; font-size: 24px;">ТС 17510324</p>					Арк	
					56	
Вил	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		



## ВИСНОВКИ

Охорона навколишнього природного середовища і раціональне використання природних ресурсів набувають у наші дні виняткове значення. Основним напрямком у вирішенні проблеми раціонального використання водних ресурсів є максимальне скорочення відходів, втрат і готової продукції, що скидаються з виробничими стічними водами в каналізацію і максимальне скорочення кількості стічних вод.

Встановлено, що гній ВРХ є перспективним субстратом для зброджування з метою отримання біогазу. Співвідношення C:N= , що дозволяє використовувати гній як моносубстрат. Гній одночасно виступає як сировина і інокулят. Для забезпечення необхідної вологості гній ВРХ потребує розбавлення.

Проаналізовано існуючі технології виробництва біогазу та обрано одностадіну технологію, режим зброджування – мезофільний. Подача субстрату в метантенк здійснюється безперервно. Тривалість зброджування – 15 діб. Перемішування за допомогою механічного перемішуючого пристрою.

Проаналізовано біохімічні перетворення, що відбуваються під час процесу зброджування відходів ВРХ

Розроблено технологічну схему виробництва біогазу з гною ВРХ, відповідно до якої подрібнений гній зброджують в метантенку. Зброджений осад зневоднюється на шнековому сепараторі.

На основі розрахунків обрано метантенк об'ємом 2500 м<sup>3</sup>, з діаметром 18 м, висотою 14 м для зброджування суміші жому та гною ВРХ.

Розглянуто основні заходи з охорони праці та охорони навколишнього середовища, які потрібно враховувати на підприємстві по виробництву біогазу.

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№ дубл.	Підп. і дата	ТС 17510324					Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	57

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кривых Л. И. Утилизация отходов с животноводческих комплексов и ферм :практ. руководство / Л. И. Кривых. – Барнаул : РИО АИПКРС АПК, 2005. – 40 с.
2. Лапицкая М.П., Зуева Л.И., Балаескул Н.М., Кулешова Л.В. Очистка сточных вод (примеры расчетов). - Мн.: Выш. школа, 1983г. – 255 с., ил.
3. Сидоренко О. Д. Биологические технологии утилизации отходов животноводства: учеб. пособие / О. Д. Сидоренко, Е. В. Черданцев. – М. : Изд- во МСХА, 2001. – 74 с.
4. Abdel-Hadi M.A. Effect of heating, mixing and digester type on biogas production from buffalo dung [Текст]/ Abdel-Hadi M.A., Abd El-Azeem S.A.M.// Biological Engineering. 2008. - № 25(4). – P. 1454-1477.
5. Manual Brehmer. Mixing performances in biogas plants [Текст]/ Manual Brehmer, Matthias Kraume// 14th European Conference on Mixing, Warszawa, 10-13 September 2012.– P. 37-42.
6. Кучерук П. П. Биогазовые установки в сельском хозяйстве и на станциях очистки сточных вод [Текст] : П. П. Кучерук / / Учебный курс: От природного газа к биомассе / Кучерук П. П. – ИТТФ НАНУ, 2009. – 25 с.
7. Дубровский В. С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов [Текст] / В. С. Дубровский, У. Э. Виестур. – Рига : Зинатне, 1988. – 204 с.
8. Lehtomäki Annimari Biogas production from energy crops and crop residues Jyväskylä [Текст]: University of Jyväskylä, 2006, 91p. (Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science, ISSN 1456-9701; 163).
9. Soldano M. Co-digestion plant in diary cattle farm in Emilia Romagna region (Italy) [Текст] / M. Soldano, C. Fabbri, S. Piccinini / / Progress in Biogas Stuttgart-Hohenheim. 2007. – P. 95-99.
10. Ferreira L. Fruit wastes bioconversion for anaerobic co-digestion with pig manure. Process development for the recycling in decentralized farm scale plants. [Текст] / Luís Farreire, Elizabeth d’Almeida Duarte, Carla Silva, Manuel Malfeito-Ferreira // Progress in Biogas Stuttgart-Hohenheim. 2007. – P. 135-140.

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

						<b>ТС 17510324</b>	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			58

11. Azaizeh H. Co-digestion of olive mill wastewater and swine manure using UASB bioreactors for biogas production [Текст] / Hassan Azaizeh, Jeries Jadoun // Progress in Biogas Stuttgart-Hohenheim. 2007. – P. 267-271.
12. Kryvoruchko V. Influence of nutrient composition on methane production from animal manures and co-digestion with maize and glycerine [Текст]/ V. Kryvoruchko, T. Amon, B. Amon, J. Voxberger, M. Schreiner, W. Zolitsch // Науковий вісник Національного аграрного університету України. 2004. - № 73. 143-148с.
13. Біопаливо. [Текст]. Рубан Б. О. Основні проблеми створення біогазових установок / Б. О. Рубан, Г. А. Голуб, С. В. Драгнєв, О. В. Дубровіна // Науковий вісник Національного аграрного університету України. - 2004. - № 73. – С. 195-201ва (Технології, машини і обладнання) / [В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та ін.]. – К. : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.: іл.. 157
14. Джеджула В. В. Обґрунтування параметрів обладнання для виробництва біогазу при утилізації органічних відходів сільськогосподарських підприємств [Текст] : автореф. Дис. На здобуття наук. Ступеня канд.. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / В. В. Джеджула. – Вінниця, 2007. – 21 с.
15. Рубан Б. О. Основні проблеми створення біогазових установок [Текст]/ Б. О. Рубан, Г. А. Голуб, С. В. Драгнєв, О. В. Дубровіна // Науковий вісник Національного аграрного університету України. - 2004. - № 73. 195 -201 с.
16. Шацький В. В. Виробництво біогазу в сільському господарстві в Україні [Текст] / В. В. Шацький, В. М. Павліченко, Г. Є. Мовсєсов // Науковий вісник Національного аграрного університету України. - 2004. - № 73. 104-108 с.
17. Огляд технології анаеробного перероблення органічних відходів [Текст]: Й. Мисак, Я. Гнатишин, Т. Шумський // Вісн. Нац. Ун-ту «Львів.

Підп. і дата	Інв. № докл.	Взаєм. інв. №	Підп. і дата	Інв. № подл.	ТС 17510324					Арк
										59
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

політехніка». – 2004. - № 506: Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. 62-67 с.

18. Біогазові технології. Енергетичні та екологічні аспекти [Текст]: Монографія / Ю. В. Куріс, І. Ф. Червоний. – Запоріжжя, ЗДІА, 2010. – 488 с.

19. Гелету́ха Г. Г. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Железна, Ю. Б. Матвеев, М. М. Жовнір [Текст]: Науковий вісник Національного аграрного університету України. - 2004. - №73. 131-138 с.

20. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении [Текст]: Когановский А. М., Клименко Н. А., Шевченко Т. М., Марутовский Р. М., Рода И. Г. – М.: Химия, 1983. – 288 с.

21. Гусев М. В., Минеева Л. А. Микробиология. – М.: Издательство моск. унта, 1992. – 50 с.

22. Намсараев Б. Б., Абидуева Е. Ю., Лаврентьева Е. В. Экология микроорганизмов экстремальных водных систем [Текст]: учеб. пособие. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета, 2008. – 94 с.

23. Иванов А. Н. Изучение влияния животноводческих комплексов на окружающую среду и инфекционную заболеваемость населения [Текст] / А. Н. Иванов // Гигиена и санитария. – 1986. - №9.

24. Баадер В. Биогаз: теория и практика [Текст]: / Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М.; пер. с нем. М.И. Серебряного. – Москва : Кобос, 1982. – 148 с.

25. Alcaraz Gonzalez, Victor. Estimation et commande robuste non-lineaires des procedes biologiques de depollution des eaux usees : application a la digestion anaerobie: дис. док. техн. наук [Текст] / Victor Alcaraz Gonzalez. – Universite de Perpignan, 2001. – 270 с.

26. Ружинська Л.І., к.т.н., Фоменкова А.О., аспірант, Морозова Є.В., студент. Огляд конструкцій анаеробних біореакторів [Текст]: // Науково-технічний

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

						ТС 17510324	Арк 60
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			

збірник “Комунальне господарство міст. – 2013. - (ХНАМГ) Харків, № 107 2013.

27. Guyot, Jean-Pierre. Etude de quelques interactions microbiennes lors de la digestion anaerobique de la matiere organique par des cultures mixtes definies ou naturelles: дис. док. биол. наук. [Текст] / Jean-Pierre Guyot. – Aix-Marceille, 1990. – 123с.

28. Калюжный, С.В. Высокоинтенсивные анаэробные технологии очистки промышленных сточных вод [Текст] / С.В. Калюжный // Катализ в промышленности. – 2004. – № 6. 42-50 с.

29. Качан, Ю.Г. Математическое моделирование процессов в биогазовой установке [Текст] / Ю.Г. Качан, Ю.В. Курис, И.Н. Левицкая // Наука - науково-технічному прогресу в паливно-енергетичному комплексі. – 2009. - №5. 24-28 с.

30. Lyberatos, G. Modelling of anaerobic digestion - a review [Текст] / G. Lyberatos, I.V. Skiadas // Global Nest: the Int. J. – 1999. – Vol 1, № 2. 63-76 с.

31. Mandy Gerber. An analysis of available mathematical models for anaerobic digestion of organic substances for production of biogas [Текст] / M. Gerber, R. Span. – Paris: International gas union research conference, 2008. – 30 с.

32. Л.І. Ружинська, В.М. Поводзинський, Є.М. Чередник, Є.В. Морозова. Математичне моделювання перемішування культивування біологічних агентів, чутливих до напружень зсуву // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, №1 2013

33. ГОСТ 12.0.005-84 ССБТ. Метрологическое обеспечение в области безопасности труда.

34. ГОСТ 12.4.0011-87 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

35. ГОСТ 12.1.007-76 (1999) ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

36. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.

Підп. і дата	
Інв.№ дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

					ТС 17510324		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			61

37. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования
38. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновений и токов.
39. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.
40. ГОСТ 12.1.019-19 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
41. СНиП Ш-4-80 "Техника безопасности в строительстве" М.: Стройиздат 1995 – 96 с.
- 42.. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ "Пожарная безопасность. Общие требования"
- 43.Жидецький В. Ц., Джигирей В. С, Мельников О. В. Основи охорони праці. Підручник. — Вид. 5-те, доповнене. — Львів: Афіша, 2000. — 350с.
- 44.Пістун І.П., Хом'як В.В., Хом'як Й.В. Охорона праці у сільському господарстві (технічне обслуговування і ремонт машин сільськогосподарського виробництва: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. – 456 с.
- 45.Стеблюк МІ. Цивільна оборона. — К.: Знання-Прес, 2003. — 455 с.

Інв.№ подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№ дубл.	Підп. і дата	ТС 17510324					Арк
										62
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	