

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
**Факультет технічних систем та енергоефективних технологій**  
**Кафедра екології та природозахисних технологій**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Леонід ПЛЯЦУК  
(підпис)

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня бакалавр**  
зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
освітньо-професійної програми «Технології захисту  
навколишнього середовища»  
на тему:

**ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГО**  
**ГОСПОДАРСТВА З ОТРИМАННЯМ БІОГАЗУ**

Здобувачки групи ТСз-01с Козупиці Еліни Валеріївни

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Еліна КОЗУПИЦЯ  
(підпис)

Керівник – доцент кафедри екології  
та природозахисних технологій,  
кандидат технічних наук,  
доцент

\_\_\_\_\_ Дмитро ЛАЗНЕНКО  
(підпис)

**Суми – 2024**

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра екології та природозахисних технологій  
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студентці \_\_\_\_\_ Козупиці Еліні Валеріївні \_\_\_\_\_

Група ТСз-01с

1. Тема кваліфікаційної роботи: Технології відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу.

2. Вихідні дані: науково-дослідницькі роботи закордонних та вітчизняних науковців за темою дослідження, нормативні акти, дані з відкритих джерел інформації.

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу: презентація.

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Літературний огляд	+	+				
2	Аналіз проблеми			+			
3	Оброблення результатів				+		
4	Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях					+	
5	Оформлення роботи						+

Дата видачі завдання – 02.04.2024 р.

Керівник \_\_\_\_\_

доцент кафедри екології та природозахисних технологій,  
к.т.н., доцент Лазненко Д.О.

## АНОТАЦІЯ

*Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра.* Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку джерел посилання, який містить 31 найменування, та додатків. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 55 сторінок, у тому числі 4 таблиці, 4 рисунки, перелік джерел посилання 4 сторінки, додатки на 7 сторінках.

*Мета роботи* – розроблення рекомендації щодо технологічних рішень з відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та виконано такі завдання:

- провести детальний огляд та аналіз утворення відходів сільського господарства, їх складу, обсягів та потенційного впливу на навколишнє середовище;
- провести аналіз існуючих технологій переробки відходів, зокрема методів отримання біогазу;
- визначити технічну концепцію для перероблення гною на біогазовій установці, включаючи вибір обладнання, розрахунок потужності;
- розробити рекомендації з відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу;
- розглянути питання охорони праці та пожежної безпеки під час експлуатації біогазової установки та у надзвичайних ситуаціях.

*Об'єкт дослідження* – органічні відходи сільського господарства.

*Предмет дослідження* – відновлення відходів сільського господарства.

У кваліфікаційній роботі розглянуто характеристики відходів сільського господарства, проаналізовано їх вплив на довкілля. Запропоновано технологічні рішення з відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу. Розроблено технічне рішення з відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу, а саме: запропоновано для перероблення гною зі свиноферми використовувати біогазові установку середньої продуктивності; розглянуто перспективи її впровадження. У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто техніку безпеки та пожежну безпеку при роботі на біогазовій установці.

*Ключові слова:* ВІДНОВЛЕННЯ, ПЕРЕРОБЛЕННЯ, ВІДХОДИ, ГНІЙ, СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО, БІОГАЗ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	С. 5
РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	7
1.1. Утворення та характеристики відходів сільського господарства	7
1.2. Вплив на довкілля, зумовлений відходами сільського господарства	12
1.3. Технологічні рішення з відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу	14
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ З ВІДНОВЛЕННЯ ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА З ОТРИМАННЯМ БІОГАЗУ	23
2.1. Розроблення та перспективи впровадження біогазової установки	23
2.2. Особливості роботи пропонованої біогазової установки	28
2.3. Сфери використання отримуваних продуктів	30
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВІДНОВЛЕННЯ ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА З ОТРИМАННЯМ БІОГАЗУ	33
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	39
4.1. Техніка безпеки під час роботи на біогазовій установці	39
4.2. Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях	42
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТКИ	

ТС 20510037

Вип.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Козупиця		
Перев.		Лазненко		
Н.Контр		Батальцев		
Затв.		Пляцук		

Технології відновлення відходів  
сільського господарства з  
отриманням біогазу

Літ.	Аркуш	Аркушів
	4	55
СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ТСз-01с		

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасному світі проблема відновлення відходів сільського господарства стає все більш актуальною через кілька основних факторів. По-перше, збільшення обсягів виробництва продуктів сільського господарства, що у свою чергу призводить до збільшення кількості відходів. По-друге, суворіші екологічні стандарти та вимоги встановлені у багатьох країнах, які вимагають від підприємств сільського господарства ефективної обробки та відновлення відходів для збереження природних ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля [1].

Значна кількість органічних відходів, таких як рослинні залишки від польових культур, тваринний послід, побічні продукти переробки сільськогосподарської продукції та інші органічні матеріали, часто викидаються або піддаються недоцільному використанню. Це може призводити до різноманітних проблем, включаючи забруднення ґрунтів та водних ресурсів, зростання викидів парникових газів, втрату потенційних джерел енергії тощо [2].

Одним із перспективних шляхів вирішення зазначеної проблеми є використання технологій відновлення відходів сільського господарства для виробництва біогазу. Біогаз, який виробляється шляхом біологічного розкладання органічних матеріалів, може слугувати відновлюваною та екологічно чистою альтернативою традиційним видам палива. Використання таких технологій може не лише сприяти зменшенню відходів та забруднення навколишнього середовища, але й забезпечити стабільне джерело енергії та сприяти сталому розвитку сільського господарства [3]. Отже, технології відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу відіграють важливу роль у розв'язанні цієї проблеми, пропонуючи ефективний та екологічно стійкий спосіб переробки органічних матеріалів у відновлюване джерело енергії.

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

								ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					5

**Мета роботи** – розроблення рекомендації щодо технологічних рішень з відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та виконано такі **завдання:**

- провести детальний огляд та аналіз утворення відходів сільського господарства, їх складу, обсягів та потенційного впливу на навколишнє середовище;

- провести аналіз існуючих технологій переробки відходів, зокрема методів отримання біогазу;

- визначити технічну концепцію для перероблення гною на біогазовій установці, включаючи вибір обладнання, розрахунок потужності;

- розробити рекомендації з відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу;

- розглянути питання охорони праці та пожежної безпеки під час експлуатації біогазової установки та у надзвичайних ситуаціях.

**Об’єкт дослідження** – органічні відходи сільського господарства.

**Предмет дослідження** – відновлення відходів сільського господарства.

**Методи дослідження.** У дослідженні використано наукові та аналітичні методи, включаючи аналіз даних та порівняльний аналіз, методи системного аналізу.

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			6

# РОЗДІЛ 1

## ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Утворення та характеристики відходів сільського господарства

Сільське господарство, коли воно не приділяє належної уваги своєму негативному впливу на природне середовище, є джерелом різноманітних екологічних проблем. Однією з таких проблем є забруднення довкілля відходами. Хоча відсоток утворення відходів сільського господарства становить порівняно незначну частку загального обсягу утворених відходів – не більш 4 % усіх відходів, що утворюються протягом періоду статистичних спостережень [4]. Проблема їх відновлення з отриманням корисних продуктів є надзвичайно актуальною [5].

Відходи, відповідно до їх джерела походження, можна класифікувати на безпечні та небезпечні (згідно з європейським підходом до класифікації відходів). Цей підхід ґрунтується на Європейському переліку відходів (the European List of Waste) та Додатку III до Директиви 2008/98/ЄС.

В Україні також існує Державний класифікатор відходів ДК 005-96 (ДК) [6], який регулює класифікацію відходів у різних галузях економіки. Відходи виробництва продукції сільського господарства та мисливства у цьому класифікаторі включені до групи 01. Ця група включає такі класифікаційні угруповання:

- 1.01 – відходи виробництва та первинної переробки сільськогосподарської продукції;
- 1.02 – відходи виробництва та первинної переробки продукції мисливства та рибальства;
- 1.03 – відходи виробництва та первинної переробки лісових ресурсів.

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

					ТС 20510037		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			7

Цей класифікатор допомагає врегулювати та систематизувати управління відходами в Україні, забезпечуючи стандартизований підхід до їх обробки та використання.

Утворення відходів у сільському господарстві – це складний процес, пов’язаний з різноманітними аспектами виробництва, від рослинництва до тваринництва.

Таблиця 1.1 – Утворення відходів у сільському господарстві

Основні джерела відходів	Основні види відходів, що утворюються
1	2
Діяльність, пов’язана з вирощуванням рослин, включаючи зберігання та первинне оброблення врожаю	<ul style="list-style-type: none"> <li>- відходи від обробки ґрунту, такі як залишки рослин, що залишаються після збирання врожаю або після використання машинного оброблення ґрунту;</li> <li>- відходи від первинного оброблення врожаю (пошкоджені овочі та фрукти, відходи від очищення зернових тощо);</li> <li>- хімічні засоби захисту рослин та добрива, які в силу тих чи інших причин втратили свої властивості та не можуть бути використані за призначенням;</li> <li>- тара та пакувальні матеріали з-під хімічних засобів захисту рослин, добрив, посівного матеріалу тощо.</li> </ul>
Тваринництво, птахівництво	<ul style="list-style-type: none"> <li>- відходи від утримання сільськогосподарських тварин і птиці (посліди, солома, відходи кормів та екскременти тощо);</li> <li>- відходи від забою сільськогосподарських тварин і птиці;</li> </ul>

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



1	2
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- туші загиблих сільськогосподарських тварин і птиці;</li> <li>- антибіотики та інших лікарські засоби для тварин, що в силу тих чи інших причин втратили свої властивості та не можуть бути використані за призначенням;</li> <li>- тара та пакувальні матеріали з-під лікарських засобів, комбікормів тощо.</li> </ul>

Інформація щодо кількості та вологості екскрементів, які виділяє одна тварина протягом одного дня при годуванні повноцінними кормами на свинофермі, представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Добове виділення екскрементів від свиней [11]

Показник	Кнур	Свиноматка			Порося відокремлене масою до 30 кг	Свиня відгодівельна масою, кг		
		непоросна	супоросна	підсисна		до 40	40–80	більше 80
Кількість екскрементів, кг/добу	9,2–11,1	8,6–8,8	10,0–10,8	12,4–15,3	1,8–2,4	3,2–3,5	4,5–5,1	6,2–6,6
Вологість, %	89,4	90,8	91,0	90,1	86,0	86,6	87,0	87,5

При використанні раціонів, що містять кілька компонентів, кількість екскрементів збільшується на 30 %. Загальний вміст зольності в цих відходах становить 15–16%. Крім того, при додаванні технологічної води до екскрементів у відповідних пропорціях (0,2; 0,5; 1,0; 5,0 відносно об'єму), вологість рідкого свинячого гною зростає до 90%, 92%, 94%, 96%, 98% відповідно. Ці дані

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

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

ТС 20510037

Арк

9

важливі для ефективного управління відходами на свинофермах та розробки стратегій зменшення впливу на навколишнє середовище [11].

Інформація про кількість екскрементів, що виділяються однією твариною протягом одного дня на підприємствах із виведенням великої рогатої худоби (ВРХ), подана у таблиці 1.3. Ці дані становлять значущу частину управління відходами та розрахунків для підтримання ефективного виробництва та дотримання стандартів екологічної безпеки.

Таблиця 1.3 – Добове виділення екскрементів (кг) від ВРХ [11]

Екскремент	Бик-запліднювач	Корова	Теля	Молодняк		
				віком 6–12 міс.	віком 12–18 міс.	віком старше 12 міс.
Кал	30	35	5–10	10–14	20	23
Сеча	10	20	2,5–5,0	4–12	7–13	9–12
Екскременти	40	45–55	7,5–19,8	14–26	27	35

Середні значення вологості екскрементів відрізняються залежно від типу тварини та її віку. Наприклад, у корів молочних порід це значення складає приблизно 88 %, тоді як у биків, молодняка, м'ясної худоби і телят ця вологість становить близько 86 %. Збірка сухої речовини має зольність на рівні 16 % [10].

Щодо вологості підстилкового гною у великої рогатої худоби, вона залежить від методу утримання тварин та кількості підстилки, що додається. Наприклад, для корів молочних порід, молодняка і телят, у випадку прив'язного утримання ця вологість може бути приблизно 78 %, 72 % та 68 % відповідно. При боксовому утриманні ці значення становлять приблизно 79 %, 78 % та 72 %. У разі безприв'язного утримання на глибокій підстилці вологість складатиме близько 69 %, 71 % та 70 % відповідно [11].

Інформація про вихід посліду протягом одного дня залежно від віку та виду птиці представлена у таблиці 1.4.

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			10

Таблиця 1.4 – Добове виділення екскрементів (г) від птиці [11]

Вид птиці	Доросле поголів'я	Молодняк віком, днів			
		1–30	31–60	61–120	121–240
Кури яєчного напрямку	170–200	–	–	–	–
Батьківське стадо	160	–	–	–	–
Промислове стадо	175	24	97	176	–
М'ясні кури	276–300	140	184	286	–
Індички ремонтні	450	175	–	387	450–480
Качки	420	384	–	–	–
Гуси	584	330	480	–	495

Вологість випорожнень від курей та індичок коливається від 73 % до 76 %, у гусей і качок це значення складає від 83 % до 85 %. При утриманні птахів у клітках, вологість випорожнень від курей і молодняку старшого віку на фермах протягом 8 годин зменшується на 10 %, протягом 12 годин – на 13%, а за 24 години – на 27 %. Щодо молодняку віком від 1 до 40 днів, вологість випорожнень зменшується на 12 % протягом 8 годин, на 16 % протягом 12 годин, та на 32 % протягом 24 годин. Об'ємна маса випорожнень становить від 0,7 до 0,8 тонн на кубометр, зольність – 17,3 %, вологість – від 55 % до 60 %. При утриманні курей на підстилці, необхідно забезпечити вологість, яка становить 40 %. При підлоговому утриманні, вологість випорожнень повинна бути на рівні 50 %, а рівень висушування – 50–60 % [11].

Екскременти тварин є складною сумішшю, що містить як тверді частинки – дисперсну фазу, так і розчинені в воді солі, кислоти та луки – дисперсне середовище. Утворення газів сприяє тому, що кал не тоне у воді, зберігаючи певну плинність. Проте, після ретельного перемішування з водою, тверді частинки майже повністю випадають у вигляді осаду. Ця складна комбінація різних компонентів створює специфічну природу екскрементів тварин [12].

Склад твердих (відстійних) частинок у екскрементах різноманітний і змінюється залежно від різних факторів, таких як вид та вік тварини, раціон харчування та якість оброблення компонентів, що входять у склад раціону (наприклад, ступінь подрібнення, вплив тепла та хімічних процесів). Тверді частинки у свинячому гної становлять приблизно 70–75 % від загальної маси

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510037	Арк
						11

сухої речовини, у відходах великої рогатої худоби – близько 60 %. Цей різноманітний фракційний склад відтворює складність та різноманітність біологічних процесів у травних системах тваринного організму [11, 12].

## 1.2 Вплив на довкілля, зумовлений відходами сільського господарства

Сільське господарство відіграє важливу роль у світовій економіці та житті людей, проте воно також створює значний вплив на довкілля через великі обсяги вироблених відходів. У даному підрозділі розглянемо вплив на довкілля, зумовлений відходами сільського господарства, а також можливі шляхи зменшення цього впливу.

Надмірне відкладання сільськогосподарських відходів створює серйозні загрози для ґрунтового середовища через накопичення в ньому великої кількості поживних та токсичних речовин. Це може призвести до деградації ґрунту та порушення його природного балансу, що має негативний вплив на розвиток рослин, біорізноманіття та загальну якість навколишнього середовища.

Внаслідок надмірного потрапляння у водні об'єкти поживних речовин, такі як азот і фосфор, це сприяє процесу евтрофікації, коли водорості та інші водні рослини швидко розмножуються, що може привести до утворення так званих «зелених водоростей» та інших проблемних утворень в водоймах.

Під час процесу розкладу органічних матеріалів, таких як рештки рослин та тваринні відходи, у ґрунті або в анаеробних умовах, утворюється метан. Метан є потужним парниковим газом, який має близько 25 разів більший потенціал нагрівання атмосфери порівняно з вуглекислим газом. Викиди метану з сільського господарства можуть підвищити рівень парникових газів у атмосфері. Також розклад органіки або азотних сполук у ґрунті може призводити до виділення аміаку. Аміак є потенційно небезпечним газом, який може викликати подразнення дихальних шляхів та впливати на якість повітря.

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			12

Для зменшення впливу цих викидів необхідно впровадження ефективних методів управління органічними відходами, таких як біогазові установки для збору та використання відходів для виробництва енергії, а також використання агротехнологій, які зменшують викиди газів під час обробки ґрунту та розкладу органічних решток.

Отже, процес виробництва біогазу є важливою складовою сталого виробництва та допомагає зробити господарство екологічно чистішим та ефективнішим. Виробництво біогазу полягає в переробці органічних відходів, таких як гній тварин, рослинні залишки та інші органічні матеріали, у відновлювану енергію. Під час анаеробного розкладання цих відходів у спеціальних установках випускається біогаз, який потім може бути використаний для виробництва тепла, електроенергії або в якості пального для транспортних засобів [16].

Виробництво біогазу допомагає зменшити негативний вплив відходів сільського господарства на водні ресурси, оскільки відбувається їх ефективна переробка та використання. Інший спосіб зменшення впливу сільського господарства на довкілля – це виробництво компосту з органічних відходів. Компостування – це процес біологічного розкладання органічних матеріалів (рослинні залишки, гній тварин тощо) за умов сприятливих умов температури, вологості та доступу до повітря. Створений компост може бути використаний як природне добриво для ґрунту, що має безліч переваг для сільськогосподарських угідь. Він збагачує ґрунт органічними речовинами, покращує його структуру та водопроникність, сприяє розвитку корисних мікроорганізмів та мікроорганізмів, що сприяє виробництву поживних речовин для рослин. Крім того, використання компосту допомагає зменшити необхідність у використанні хімічних добрив, тим самим зменшуючи ризик забруднення ґрунтів та водних ресурсів відповідними хімічними речовинами [18].

Правильно організоване компостування може стати ефективним інструментом для збереження родючості ґрунтів, зменшення викидів парникових газів та сприяти сталому використанню земельних ресурсів. Такий

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

підхід відповідає принципам екологічно відповідального сільського господарства та сприяє створенню здорового середовища для життя та розвитку.

Також можна спостерігати швидкий розвиток сфери біоенергетики. Прогнозується, що використання енергії, отриманої з усіх видів біомаси, може забезпечити заміщення до 9,2 мільйонів тонн еквіваленту нафти щорічно до 2030 року. Це передбачає використання енергії, отриманої з різних джерел сільськогосподарської продукції, зокрема, посліду – близько 2,9 мільйонів тонн еквіваленту нафти, відходів деревини – близько 1,6 мільйонів тонн еквіваленту нафти, торфу – близько 0,6 мільйонів тонн еквіваленту нафти, твердих побутових відходів – близько 1,1 мільйонів тонн еквіваленту нафти, а також вироблення та використання біогазу – близько 1,3 мільйонів тонн еквіваленту нафти [25].

Таким чином резюмуємо, що зменшення впливу відходів сільського господарства на довкілля є важливим завданням, яке потребує комплексного підходу та спільних зусиль різних секторів суспільства. Використання інноваційних технологій та впровадження екологічно чистих практик може сприяти збереженню довкілля для майбутніх поколінь.

### 1.3 Технологічні рішення з відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу

Одним із найбільш поширених методів обробки органічних сільськогосподарських відходів, зокрема відходів тваринництва, є їх анаеробне зброджування. Цей підхід дозволяє не лише відновлювати відходи, а й одночасно виробляти біогаз та високоякісні органічні добрива.

Для ефективного процесу анаеробного зброджування тваринних екскрементів часто використовують додавання інших органічних відходів, таких як рослинні залишки. Цей процес є досить складним і вимагає постійного контролю над різними параметрами. Наприклад, важливо забезпечити

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

					ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		14

оптимальну температуру, контролювати кислотність і відсутність токсичних речовин [28]. Крім того, важливо мати рівномірне і безперервне завантаження та розвантаження органічної речовини протягом доби, налаштувати оптимальну інтенсивність перемішування сировини в резервуарі та забезпечити нормальну діяльність метаноутворюючих бактерій. Ці критерії є важливими для забезпечення ефективного та стабільного процесу анаеробного зброджування органічних матеріалів.

Під час виробництва біогазу за технологією анаеробного зброджування органічних відходів, кількість енергії, що виробляється, може коливатися від 203 до 2950 МДж на тону відходів (у залежності від виду органіки).

У реакторі анаеробного зброджування основними вихідними матеріалами є переважно гній великої рогатої худоби, свинячий гній, а також пташиний послід. Зазвичай використовується суміш із 2–10 різних видів субстратів, що дозволяє створити оптимальні умови для процесу біогазового утворення. Використання такої суміші різноманітних матеріалів може забезпечити більш широкий спектр поживних речовин для метаногенних бактерій, що підвищує ефективність процесу. Такий підхід дозволяє оптимізувати виробництво біогазу та максимізувати виходи енергії з використанням органічних відходів.

Країни Західної Європи, починаючи з 1990-х років, виявили значну зацікавленість біогазовими установками. Саме це й стало витоком для їх широкого використання і розвитку. Що стосується їх еволюції, то від простих бочок з ручним перемішуванням перейшли до великих, високотехнологічних комплексів, які повністю автоматизовані і здатні переробляти широкий спектр органічних відходів [11].

Спочатку для збору відходів використовувалися закриті контейнери, які згодом були адаптовані та перетворені на так звані "септики" (рис. 1.1, а) після невеликої модифікації. Очищення стічних вод проводилося у таких контейнерах. Водночас, біогаз, що утворювався, збирали й використовували для опалення та освітлення установки.

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

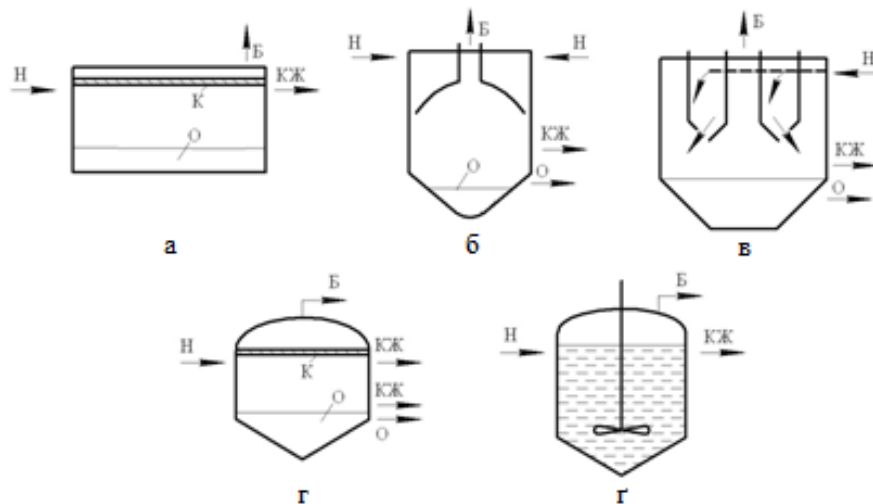


Рисунок 1.1 – Схеми простих метантенків [11]:

а – септик; б – ємність Тревіса; в – ємність Імгоффа;

г – біореактор без перемішування; г – біореактор із перемішуванням

За часів перших застосувань септиків, їхні функції були обмеженими, і вони використовувалися переважно для тимчасового зберігання відходів. Однак, з плином часу, вони стали перебувати у центрі уваги як ефективний спосіб очищення стічних вод у віддалених або малозаселених районах. Такі системи не лише дозволяли зменшити вплив стічних вод на довкілля, а й забезпечували додатковий джерело енергії у вигляді біогазу.

У результаті модернізації була розроблена ємність Тревіса (рис. 1.1, б). Подальші поліпшення та модифікації цієї конструкції (рис. 1.1, в), запропоновані Імгоффом, призвели до її широкого використання, особливо в Сполучених Штатах.

Така еволюція конструкцій септиків і підходів до їхньої роботи відобразила постійне прагнення до вдосконалення технологій очищення стічних вод та переробки відходів. Вона також підкреслила важливість впровадження новаторських рішень для покращення функціональності та надійності систем очищення, щоб забезпечити ефективне управління водними ресурсами та запобігти забрудненню навколишнього середовища.

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

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

ТС 20510037

Арк

16



В інших конструкціях було впроваджено розділення камер для седиментації та процесу бродіння. Для підвищення ефективності бродіння, почали застосовувати підігрівання ємностей, що значно підвищило їхню продуктивність, порівняно з ємностями Імгофа. Такі біореактори з розділеними камерами для седиментації та бродінням (рис. 1.1, г) стали широко використовуваними. Оскільки перемішування в цих біореакторах відсутнє, ефективність їхньої роботи зменшувалася через утворення товстого шару пini на поверхні та осаду на дні. Для попередження утворення пini та забезпечення кращого контакту бактерій з субстратом, почали використовувати різноманітні пристрої для перемішування (рис. 1.1, г).

Цей напрямок вдосконалення конструкцій біореакторів відображає постійне прагнення до оптимізації переробних технологій та покращення їхньої ефективності. Застосування інноваційних методів перемішування сприяє збільшенню продуктивності та зниженню ризику утворення непридатних для процесу осадів та пini.

На сьогоднішній день існують різноманітні типи біореакторів з різною конструкцією та функціональністю (рис. 1.2). При оцінці їхньої ефективності важливо враховувати кілька аспектів, а саме: міцність, забезпечення оптимальних умов для переміщення рідкого субстрату (а, отже, витрат енергії на перемішування), відведення осаду, руйнування плаваючої кірки тощо.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 20510037				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

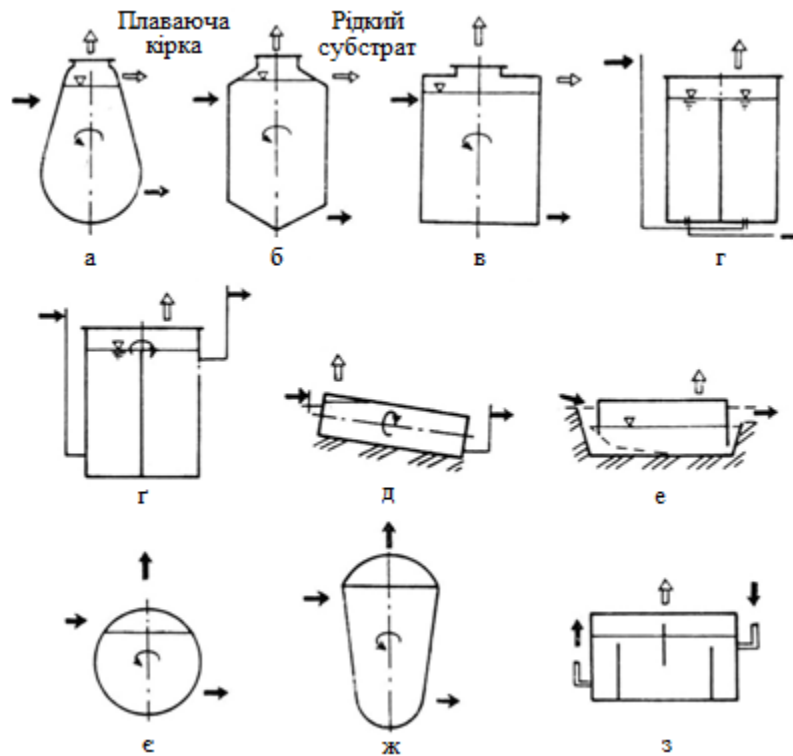


Рисунок 1.2 – Конструктивні схеми біореакторів [11]:

а – яйцеподібна з розширюваним днищем; б – циліндрична вертикальна з конічним днищем; в – циліндрична вертикальна із завантаженням вивантаженням із верхньої зони; г – циліндрична вертикальна із завантаженням і вивантаженням із нижньої зони; г – циліндрична вертикальна двосекційна із завантаженням у нижній зоні та вивантаженням із верхньої зони другої секції; д – циліндрична горизонтальна у похилому положенні; е – траншейна з плаваючим покриттям; є – шароподібна; ж – яйцеподібна з верхньою розширюваною частиною; з – горизонтальна секціонована

Використання яйцеподібного біореактора (рис. 1.2, а, ж) має свої переваги по міцності та забезпеченню необхідних умов для переміщення рідкого субстрату. Проте, через труднощі у виготовленні великих установок такого типу, більшість біореакторів виготовляють циліндричної форми (рис. 1.2, б) з бетону або металу. Переваги циліндричного резервуару з конусоподібними верхньою та нижньою частинами очевидні. По-перше, він має обмежений об'єм для нагромадження газу, що дозволяє уникнути перевитрати часу та енергії на

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

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

ТС 20510037

Арк

18

випуск вибухонебезпечних газів. По-друге, така конструкція сприяє концентрації плаваючої кірки в обмеженому просторі, що полегшує її видалення з поверхні. Не менш важливою перевагою є ефективне відведення шламу, що забезпечується завдяки особливостям форми резервуара.

Циліндричний резервуар (рис. 1.2, в), у порівнянні з резервуарами попереднього типу, створює менш сприятливі умови для перемішування субстрату. Це пояснюється його великою поверхнею контакту, що призводить до збільшених витрат енергії на руйнування плаваючої кірки та видалення осаду. Недолік цього типу резервуара полягає також у більш високих витратах енергії на перемішування субстрату через велику поверхню контакту. Однак, серед переваг циліндричного резервуара варто зазначити його просту технологію виготовлення. Досвід у будівництві схожих ємностей для сільськогосподарських потреб може бути легко адаптований для виготовлення циліндричних резервуарів. Це може сприяти ефективнішій та економічнійшій реалізації проектів із використанням цього типу резервуарів.

Циліндричний резервуар може бути розділений на дві або навіть декілька камер (рис. 1.2, г). За такої конфігурації, не лише відпадає необхідність у теплоізоляції зовнішніх стінок резервуара, а також покращується теплопередача між камерами через перегородку, що виготовлена з теплопровідного матеріалу. Вбудований у цю перегородку нагрівальний пристрій надає додаткові конструктивні й енергетичні переваги.

Розділення циліндричного резервуара на камери сприяє оптимізації умов зберігання та обробки субстрату. Внутрішні перегородки дозволяють ефективніше регулювати та контролювати процеси бродіння та очищення, забезпечуючи більш однорідний розподіл тепла та рівномірний доступ до кожної частини субстрату. Такий підхід сприяє підвищенню продуктивності та ефективності роботи біогазової установки. Також вбудований нагрівальний пристрій в перегородці може бути використаний для оптимізації температурних умов у кожній камері. Це дозволяє регулювати інтенсивність процесів бродіння та забезпечити оптимальні умови для росту мікроорганізмів, що відповідають за

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

виробництво біогазу. Таким чином, максимізується вихід продукту та знижується споживання енергії, забезпечуючи ефективне використання ресурсів.

Біореактори можуть мати кубічну форму (рис. 1.2, г), і такий реактор може бути розділений на дві частини: основну бродильну камеру та камеру для остаточного етапу зброджування й осадження шламу. Проте, установки такого типу не забезпечують високого ступеня розкладання субстрату через відсутність рівномірного перемішування маси, недостатню можливість контролювати завантаження робочого об'єму реактора, а також відсутність можливості контролювати час перебування маси в реакторі, що є важливим для досягнення максимального виходу газу.

У таких біореакторах часто спостерігається утворення товстого шару плаваючої кірки та осаду, що веде до значних економічних витрат на їх руйнування та управління процесом. Тому, несвоєчасне чи неналежне руйнування цих відкладень може суттєво вплинути на ефективність та продуктивність біогазової установки. Для поліпшення роботи таких біореакторів, можливо варто розглянути впровадження додаткових технологічних рішень, таких як автоматизовані системи перемішування та руйнування, контроль рівня та температури реактора, а також використання спеціалізованих пристроїв для управління етапами процесу зброджування.

У резервуарі (рис. 1.2, д) субстрат переміщується вздовжно відносно горизонтальної площини. Похила орієнтація осі резервуара сприяє більш ефективному відтоку шламу в напрямку вихідного отвору, що полегшує процес вивантаження та забезпечує краще заповнення і перемішування субстрату всередині резервуара. Така конструкція виявляється зручною для встановлення простих механізмів перемішування, оскільки вона сприяє оптимальному доступу до всіх частин резервуара для їх обслуговування, а також технічної ревізії.

Біореактор у вигляді траншеї (рис. 1.2, е), викопаної в ґрунті, є ефективним варіантом для обробки значних обсягів субстрату. Зазвичай для будівництва таких біореакторів використовують бетон. Серед різних конструкцій найбільш

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 20510037

Арк

20

поширеним є циліндричний біореактор, який встановлюють горизонтально, що робить його простим у виготовленні та експлуатації. Однак заземлене розташування камери може погіршувати теплові характеристики реактора, оскільки це ускладнює контроль над температурою і може призводити до втрат енергії.

Овальна форма біореактора (рис. 1.2, є) надає оптимальні умови для ефективного перемішування субстрату та відведення осаду, а також для руйнування плаваючої кірки. Проте, варто зазначити, що виготовлення такого типу реактора може бути витратним за рахунок складності форми. Щоб оптимізувати процес, усю ємність можна розділити на кілька камер, що дозволить уникнути контакту свіжого гною з вивантажуваним шламом. Це важливо для збереження середовища та мінімізації впливу на екосистему.

На підставі аналізу літературних джерел [4, 11, 12] виведено методику розрахунку біогазових установок, яку представлено в Додатку А.

Основні типи біогазових установок можна класифікувати наступним чином [11]:

1. *Сімейні біогазові установки.* Ці установки спрямовані на задоволення енергетичних потреб сімей або малих громад. Вони зазвичай мають невеликий об'єм реактора та призначені для обробки органічних відходів з господарства.

2. *Присадибні біогазові установки.* Ці установки розміщені на присадибних ділянках і призначені для обробки органічних відходів з домашнього господарства, садівництва або невеликих ферм. Вони можуть мати різні розміри, від невеликих до середніх.

3. *Біогазові установки з об'ємом реактора від 20 до 200 м<sup>3</sup>.* Ці установки призначені для використання в агропромисловому комплексі або малих підприємствах. Вони забезпечують енергетичні потреби на невеликій території та можуть виробляти достатньо біогазу для опалення або виробництва електроенергії.

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			21

4. Біогазові установки з об'ємом реактора від 200 до 500 м<sup>3</sup>. Ці установки зазвичай використовуються на середніх підприємствах або у сільському господарстві для виробництва біогазу у великих кількостях. Вони можуть забезпечити енергію для великих господарств або малих міст.

5. Біогазові установки з об'ємом реактора понад 500 м<sup>3</sup>. Ці установки призначені для великих промислових підприємств або міст, які мають великий обсяг органічних відходів для переробки. Вони забезпечують значний обсяг біогазу для виробництва електроенергії та інших цілей.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		22

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ З ВІДНОВЛЕННЯ ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА З ОТРИМАННЯМ БІОГАЗУ

#### 2.1 Розроблення та перспективи впровадження біогазової установки

У даному розділі розглядається завдання з опрацювання технічного рішення щодо модернізації свиноферми з поголів'ям 3000 свиней, яка використовує безпідстилке утримання. Одним із головних напрямків модернізації є встановлення біогазової установки для збору і використання органічних відходів у виробництві біогазу.

Обробку органічних відходів від 3000 свиней із отриманням достатньої кількості біогазу може забезпечити середня біогазова установка. Установка може використовувати технології метанового бродіння або анаеробного розкладу для перетворення органічних відходів у біогаз. Біогазова установка складається з реакторів для бродіння або розкладу, системи збору та очищення біогазу, а також системи зберігання та використання енергії.

Оскільки свині утримуються без підстилки, відходи можуть бути зібрані безпосередньо із сіток чи колодязів, що спростить процес збору сировини для біогазової установки.

Розрахуємо об'єм біогазового реактора для господарства (свиноферма з поголів'ям 3000 свиней) за методикою, викладеною в Додатку А.

Для перероблення сировини вибираємо мезофільний режим бродіння (32–35°C), при якому рекомендується використовувати дозу добового завантаження, що дорівнює 15 % від об'єму загальної завантаженої в установку сировини. Загальний об'єм сировини в установці не повинен перевищувати 9/10 об'єму реактора [Додаток А].

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 20510037

Арк

23

Маса вихідної сировини:

$$m_{BC} = 3000 \cdot 10 = 30000 \text{ кг} = 30 \text{ т.}$$

Об'єм реактора:

$$V_p = m_{BC} \cdot 15 \cdot \frac{10}{9} = 30 \cdot 15 \cdot \frac{10}{9} = 500 \text{ м}^3.$$

Таким чином, у відповідності до табл. А2 [Додаток А] вихід біогазу з 30 тонн свинячого гною буде в діапазоні  $30 \cdot 51,5 \dots 30 \cdot 88,0 = 1545 \dots 2640 \text{ м}^3$ .

Біогазова установка може забезпечити виробництво біогазу з органічних відходів, яке може бути використано для внутрішнього вжитку, наприклад, для опалення приміщень на фермі або для виробництва електроенергії. Це дозволить зменшити витрати на енергію та зробить ферму більш енергетично незалежною.

Використання біогазу як альтернативного джерела енергії допоможе зменшити викиди парникових газів, таких як метан, які зазвичай утворюються внаслідок розкладу органічних відходів. Це сприятиме збереженню довкілля та зменшенню негативного впливу ферми на клімат. Також встановлення біогазової установки може стати вигідною інвестицією, оскільки сприятиме зменшенню витрат на енергію та відходи утилізації. Додатково, за рахунок використання біогазу ферма може отримати додатковий дохід від продажу надлишкової електроенергії або вуглекредитів.

Використання біогазу для енергопостачання допоможе забезпечити стабільність виробництва на фермі, оскільки залежність від енергопостачання зовнішніх джерел буде зменшена, а ризик коливань цін на енергію буде знижений.

Отже, ми бачимо, що модернізація свиноферми з використанням біогазової установки є ефективним кроком у напрямку підвищення енергетичної

Підп. і дата						ТС 20510037	Арк
Інв.№дубл.							24
Взаєм.інв.№							
Підп. і дата							
Інв.№подл.							
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			



ефективності, зменшення негативного впливу на довкілля та забезпечення економічних переваг для підприємства.

Технологічну схему запропонованої середньої біогазової установки [11] представлено на рис. 2.1.

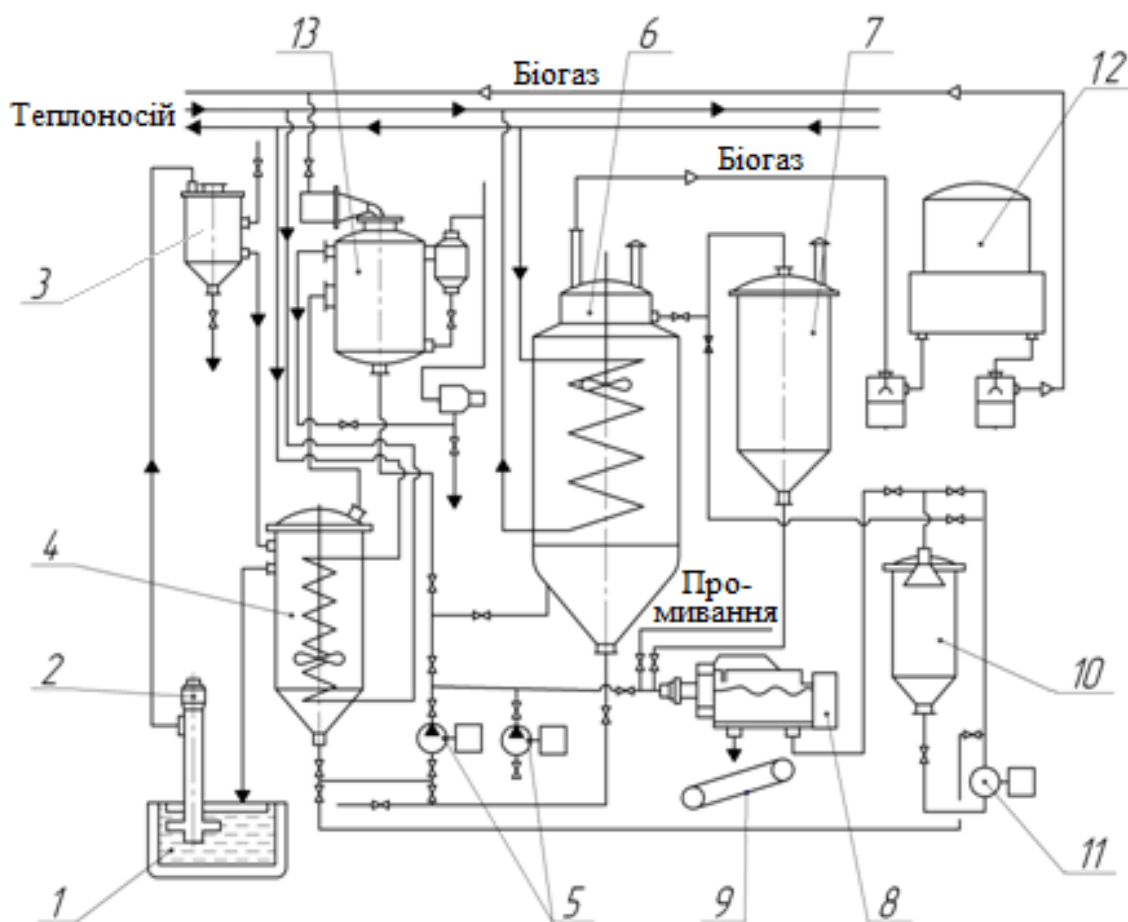


Рисунок 2.1 – Технологічна схема середньої біогазової установки:

- 1 – накопичувач; 2 – насос фекальний; 3 – пастка; 4 – підігрівач;  
 5, 11 – насос; 6 – метантенк; 7 – збірник-аератор; 8 – центрифуга;  
 9 – транспортер; 10 – збірник; 12 – газгольдер; 13 – підігрівач газовий

Дана установка може бути реалізована на свинофермі з поголів'ям 3000 свиней із безпідстилковим їх утриманням. Оскільки безпідстилке утримання свиней відбувається без формування підстилки, відходи можуть бути зібрані безпосередньо із сіток чи колодязів. Це дозволить спростити процес збору сировини для біогазу.

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

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

ТС 20510037

Арк

25

На фермі слід встановити складну систему для ефективної переробки гною у біогазову сировину. Розглянемо кожен етап процесу із зазначенням позицій обладнання на рис. 2.1:

1. Накопичувач гною (*поз. 1*). Гній збирається у накопичувачі, де він зберігається до подальшої обробки.
2. Фекальний насос (*поз. 2*) використовується для подачі гною через систему до наступного етапу обробки.
3. Пастка (*поз. 3*) служить для фільтрації та очищення гною від забруднень та великих часток перед введенням у наступний етап.
4. Підігрівач (*поз. 4*). Гній подається до підігрівача, де він підігрівається та перемішується. Це допомагає створити оптимальні умови для наступного етапу ферментації.
5. Метантенк (*поз. 6*). Після підігрівання гній подається до метантенка, де відбувається процес ферментації при контрольованій температурі. Тут біомаса перетворюється у біогаз та біореактивні речовини.
6. Збірник-аератор (*поз. 7*). Відферментована біомаса зливається у збірник-аератор, де ферментаційний процес пригнічується шляхом насичення біомаси киснем. Це дозволяє забезпечити стабільність процесу та зменшити неприємний запах.

Після ферментації біомаса проходить через додатковий етап обробки:

7. Центрифуга (*поз. 8*). На цьому етапі біомаса розділяється на біошлам та рідку фракцію. Центрифуга допомагає відокремити рідку частину від твердих відходів, що дозволяє подальшу оптимізацію процесу обробки.
8. Газгольдер (*поз. 12*). Біогаз, що утворюється у процесі бродіння, зберігається в газгольдері. Це допомагає забезпечити стабільність постачання біогазу для подальшого використання.
9. Газовий підігрівач (*поз. 13*). Обладнаний пальником, що працює на біогазі, підігрівач використовується для прямого підігрівання біомаси або перегрівання її до необхідної температури. Це особливо важливо в умовах, коли потрібно знищити патогени та мікроорганізми у біомасі.

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

					ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		26

Представлена система дозволяє ефективно використовувати біомасу та біогаз для подальшого використання в агропромисловому комплексі. Розділення біомаси на фракції дозволяє оптимізувати процеси подальшої обробки, а використання газового підігрівача забезпечує необхідну температуру для ефективного виробництва біогазу та знищення шкідливих мікроорганізмів.

Впровадження даної установки має значні перспективи, особливо в контексті сучасних вимог до сталого розвитку та використання альтернативних джерел енергії, а саме:

1. Установка забезпечує стабільне виробництво біогазу з органічних відходів, таких як гній, що є відновлюваним та екологічно чистим джерелом енергії. Це дозволяє зменшити залежність від імпорتنих джерел енергії та сприяє створенню стійкого енергетичного балансу на рівні ферми або навіть у місцевому громадському секторі.

2. Використання біогазової установки допомагає зменшити викиди парникових газів, таких як метан, який зазвичай утворюється під час розкладання органічних відходів. Це сприяє зменшенню впливу на зміну клімату та збереженню навколишнього середовища.

3. Використання біогазу як джерела енергії дозволяє ефективно використовувати ресурси, які раніше вважалися відходами. Це допомагає підвищити енергетичну ефективність у сільському господарстві та знизити витрати на енергію.

4. Впровадження біогазової установки може мати економічні переваги для фермерів та господарств. Виробництво власного біогазу може допомогти знизити витрати на електроенергію та опалення, а також створити можливості для додаткового доходу через продаж надлишкового біогазу.

5. Використання біогазової установки сприяє сталому розвитку та зменшенню впливу сільськогосподарських господарств на навколишнє середовище. Це відповідає сучасним екологічним та соціальним вимогам і сприяє створенню більш стійких та екологічно чистих громад.

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			27

## 2.2 Особливості роботи запропонованої біогазової установки

Представлена біогазова установка (рис. 2.1) є достатньо ефективною. Доданий генератор електроенергії до системи дозволяє використовувати вироблений біогаз для виробництва електричної енергії, яка може бути використана на фермі або продана. Встановлена система автоматизованого контролю та моніторингу допомагає підтримувати оптимальні умови в усіх етапах процесу, забезпечуючи ефективну роботу установки та зменшуючи ризик непередбачених ситуацій. Вдосконалена система підігріву та охолодження зменшує витрати енергії та підвищує ефективність процесу ферментації.

Також у верхній частині метантенка розміщений спеціальний пристрій, який призначений для ефективного руйнування кірки. Даний пристрій має вигляд конуса та гребінки. Руйнування кірки відбувається завдяки попередньому зниженню рівня ферментної маси в метантенку перед завантаженням наступної порції гною. Для цього метантенк обладнаний спеціальним пристроєм для вивантаження відферментованої маси, що представляє собою вертикальну трубу, яка з'єднана з атмосферою. Ця труба має два зливних патрубків, розміщених на різних рівнях, при цьому нижній патрубок обладнаний запірним пристроєм.

При відкритті нижнього патрубка рівень рідини в метантенку знижується, що призводить до руйнування кірки, що утворилася на поверхні метантенка. Кірка проходить через конус та розламується на частини. Після цього нижній патрубок закривають, і починається завантаження метантенка через патрубок, який розташований над конусом. Під час завантаження метантенка через патрубок відбувається додаткове руйнування кірки за рахунок гідравлічної дії потоку. Одночасно, за рахунок піднімання рівня рідини в метантенку, відбувається продавлювання частин кірки через гребінку, що призводить до остаточного руйнування кірки.

Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Підп. і дата	Інв.№подл.					ТС 20510037	Арк 28
Інв.№дубл.			Вип				Арк		
			Дата	№ докум.	Підп.	Дата			

Перевагою біогазової установки є використання, так званого, термотолерантного режиму роботи в промислових умовах. Вперше відпрацьований та успішно застосований термотолерантний режим, який передбачає підтримку температури всередині реактора на рівні  $(39\pm 2)^{\circ}\text{C}$ , є ключовою характеристикою даної установки. Цей інноваційний режим демонструє, що крім традиційних режимів роботи біогазових установок, таких як психрофільний, мезофільний і термофільний, існують й інші ефективні режими. У результаті маємо оптимізований процес ферментації та підвищену ефективність відновлення органічних відходів у біогазовій установці.

Термотолерантний режим роботи установки фактично є проміжним між мезофільним та термофільним режимами, і він має свої власні переваги. По-перше, це прискорений процес ферментації. У порівнянні з мезофільним режимом, термотолерантний режим дозволяє значно прискорити процес ферментації. Замість традиційних 10–14 днів, у цьому режимі він займає лише 6–8 днів, що сприяє підвищенню продуктивності та швидкості виробництва біогазу.

По-друге, більший вихід біогазу. Термотолерантний режим також відзначається більшим вихідом біогазу порівняно з мезофільним режимом. Це означає, що більше метану може бути вироблено з тієї ж кількості органічних відходів, що сприяє підвищенню енергетичної ефективності процесу.

По-третє, кращі санітарно-епідеміологічні показники. Застосування термотолерантного режиму також сприяє покращенню санітарно-епідеміологічних показників. Вища температура сприяє знищенню патогенних мікроорганізмів та зменшенню ризику поширення інфекційних захворювань.

Пропонована установка, навіть маючи лише один реактор, фактично функціонує у двостадійному режимі. Це відбувається завдяки використанню підігрівача, що дозволяє провести першу фазу процесу ферментації перед подачею сировини до основного реактора. Такий двостадійний підхід відіграє ключову роль у прискоренні процесу ферментації та підвищенні продуктивності установки.

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			29

У першому етапі сировина піддається підігріву та попередній обробці у підігрівачі. Це дозволяє створити оптимальні умови для біологічних процесів, що відбуваються під час ферментації. Підігрівач допомагає активувати мікроорганізми та швидше почати розкладання органічних речовин, що сприяє прискоренню цього процесу. Після підігріву сировини надходить до основного реактора, де завершується ферментаційний процес. Основний реактор виконує функцію подальшого розкладання органічних речовин та вироблення біогазу з отриманої сировини.

Отже, двостадійний режим роботи дозволяє максимально використовувати потенціал сировини та забезпечує ефективний та швидкий процес ферментації. Він є однією з ключових переваг установки, яка сприяє її високій продуктивності та ефективності.

### 2.3 Сфери використання отримуваних продуктів

Кожна країна має свої унікальні можливості та умови для використання відновлюваних джерел енергії. Наприклад, країни з розвиненим сільським господарством можуть використовувати біомасу, що вирощується на сільськогосподарських угіддях, для виробництва біопалива. Інші країни можуть використовувати відходи від тваринництва або продовольчої промисловості для цієї мети.

Виробництво біопалива – це один з перспективних способів використання біомаси для виробництва енергії. Біопаливо може бути вироблене з різних джерел, включаючи біомасу рослин, відходи їжі, біологічні речовини тощо. Воно може використовуватися для опалення, виробництва електроенергії, а також як паливо для транспортних засобів.

Основні властивості біогазу та його продуктивність залежно від використовуваної органічної сировини представлено в Додатку Б [4, 11, 12].

Однак, важливо також враховувати екологічні та соціальні аспекти виробництва біопалива, такі як вплив на землеробство, водні ресурси,

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			30

біорізноманіття та виробничі умови праці. Поєднання різноманітних джерел відновлюваної енергії та розумне планування є ключем до створення стійкої та ефективної енергетичної системи для країн у всьому світі.

До того ж, зростання цін на викопне паливо стимулює дискусії щодо пошуку альтернативних джерел енергії та зменшення залежності від імпортованих джерел енергії. Використання відновлюваних джерел енергії, таких як біопаливо, стає все більш привабливим варіантом для багатьох країн.

Виробництво біопалива з органічних відходів тваринництва відкриває нові перспективи для сільськогосподарських підприємств. Використання біоустановки з анаеробним переробленням органічних відходів дозволяє вирішити декілька актуальних завдань. Біогаз, який виробляється під час анаеробного перероблення органічних відходів, може бути використаний для приготування їжі, опалення будинків та фермерських споруд, освітлення, а також для забезпечення енергією інших потреб на фермі. Це дозволяє ефективно використовувати відходи тваринництва для створення стійкого джерела енергії, що сприяє енергетичній незалежності та зменшенню витрат на енергію.

Біогаз також може бути також використаний у якості палива для заправлення машин та транспортних засобів на фермі. Це дозволяє фермерам зменшити залежність від імпортних паливних ресурсів та знизити витрати на паливо, що сприяє економічній ефективності та сталому розвитку сільськогосподарських господарств.

Такий підхід до використання біопалива не лише сприяє ефективному використанню (відновленню) органічних відходів тваринництва, але й дозволяє зменшити негативний екологічний вплив та сприяє створенню стійкого та енергетично ефективного середовища на сільських господарствах.

Тверді залишки, які утворюються під час процесу біогазового розкладу, можуть бути використані як органічне добриво для ґрунту. Вони містять в собі поживні речовини, такі як азот, фосфор і калій, які сприяють росту рослин і підтримують родючість ґрунту. Також тверді продукти можуть бути використані

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			31

як субстрат для різних біопроеесів, наприклад, для виробництва біопалива або в біологічних відходних обробних системах.

Також слід зазначити, що тверді залишки можуть бути повторно використані у біогазових установках як сировина для подальшого виробництва біогазу. Це дозволяє оптимізувати використання ресурсів та забезпечити стале виробництво енергії. Тверді відходи можуть бути використані як сировина для виробництва компосту, що використовується для поліпшення ґрунту та підтримки родючості.

У свою чергу, рідкі продукти, такі як рідка фракція, можуть бути використані у якості рідкого добрива або засобу для захисту рослин. Вони можуть містити корисні мікроелементи та органічні речовини, які покращують урожайність та якість рослин.

Рідкі продукти можуть бути використані як сировина для виробництва біологічно активних добавок, які використовуються в сільському господарстві для стимулювання росту рослин і захисту від хвороб.

Таким чином, використання твердих та рідких продуктів, отриманих у результаті біогазового процесу, в різних сферах дозволяє оптимізувати використання ресурсів, підтримувати стале виробництво енергії та покращувати якість ґрунту та урожайність рослин.

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		32



### РОЗДІЛ 3

## РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВІДНОВЛЕННЯ ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА З ОТРИМАННЯМ БІОГАЗУ

Звідомлення про важливість та перспективи використання біогазу як енергетичного джерела постійно наростає у сучасному світі. Застосування біогазу, отриманого з відходів сільськогосподарської діяльності, може значно зменшити залежність від традиційних джерел енергії та відновлювати довкілля. Розроблення рекомендацій щодо використання відходів сільського господарства для виробництва біогазу важливе з точки зору сталого розвитку та забезпечення енергетичної незалежності.

Для виробництва біогазу можуть бути використані різноманітні види відходів сільського господарства, які містять органічну речовину та піддаються біологічному розкладанню:

- тваринні відходи (гній, пташиний послід, органічні відходи з тваринницьких ферм, включаючи ферми з вирощування худоби, птиці, свиней);

- стічні води (стічні води з сільськогосподарських підприємств та оброблених відходів, сільськогосподарські стічні води, які містять високий вміст органічних речовин, можуть бути використані для виробництва біогазу через процес анаеробного очищення);

- добрива та компост (органічні добрива, які не були використані та можуть бути використані для виробництва біогазу, наприклад, компост);

- відходи з обробки та зберігання продукції (відходи від обробки та зберігання сільськогосподарської продукції, такі як відходи від сортування та упаковки овочів та фруктів).

Зазначені відходи мають потенціал для виробництва біогазу через процес анаеробного розкладання, що відбувається в спеціальних біогазових установках. Оптимальний вибір відходів та перероблюваної технології залежить від їх доступності, складу, обсягу та технічних можливостей переробки.

Підп. і дата						
Інв.№дубл.						
Взаєм.інв.№						
Підп. і дата						
Інв.№подл.						
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510037	Арк

Важливим аспектом оптимізації процесу ферментації для виробництва біогазу є розроблення ефективної технологічної схеми та конструкцій апаратури з мінімальними втратами тепла та максимальним використанням тепла збродженої маси.

Нагрівання такого продукту, яким є органічні відходи ферм, досить складне завдання, оскільки вони являють собою неоднорідну гетерогенну суміш твердих частинок, що становлять дисперсну фазу з рідкою фазою (дисперсійним середовищем), що є водним розчином солей, кислот і лугів. Фракційний склад твердих (завислих) частинок різноманітний і змінюється залежно від виду й віку тварин, кормового раціону та попереднього оброблення (перемішування, переміщення тощо) компонентів, що входять до його складу. Тверді частинки в свинячому гної становлять 70–75 % від усієї маси сухої речовини, а в гної великої рогатої худоби – близько 60 %. Суспензія містить багато колоїдних частинок, що утворюють в'язку структуру, седиментація яких проходить дуже повільно. Густина сухої речовини становить 1300 кг/м<sup>3</sup>, а завислі частинки на 75–80 % складаються з води і мають густину 1050–1060 кг/м<sup>3</sup>. Це усереднені дані, насправді густина рідкої фази різних видів тварин неоднакова. Особливу трудність становить перероблення підстилкового гною через знаходження в екскрементах різних підстилкових матеріалів (солома, тирса, торф тощо) [11].

Важливо забезпечити ефективну ізоляцію всіх частин біогазової установки, де відбувається процес ферментації. Це допоможе уникнути втрат тепла та зберегти його в системі. Використання спеціальних теплоізоляційних матеріалів може допомогти знизити втрати тепла. Теплообмінники можуть бути використані для вилучення тепла зс збродженої маси та його подальшого використання у процесі ферментації або для нагріву води, яка потрібна для різних процесів в установці.

Системи рециркуляції тепла можуть бути використані для перерозподілу тепла в межах біогазової установки. Наприклад, тепло, що виділяється під час процесу збродження, може бути використане для підігріву нового матеріалу, який вводиться у реактор для подальшої ферментації.

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			34

Вибір енергоефективного устаткування для біогазової установки, такого як насоси, аератори, змішувачі тощо, може допомогти знизити загальне споживання енергії та втрати тепла в системі.

Системи автоматичного моніторингу та регулювання можуть бути використані для оптимізації процесу ферментації з точки зору теплового управління. Це дозволяє точно контролювати температуру та інші параметри процесу для забезпечення оптимальних умов.

Перераховані вище фактори, а також низька теплопровідність органічних грудочок та їх схильність до забивання і накопичення на різних поверхнях, включаючи вертикальні, створюють значні перешкоди для ефективного нагрівання гною (посліду). Аналіз наявних систем нагрівання підтверджує, що в світовій практиці існують технологічні підходи (рис. 3.1), які використовуються для подолання цих складнощів та оптимізації процесу.



Рисунок 3.1 – Технологічні підходи нагрівання органіки

Розглянемо кожен з цих технологічних підходів до нагрівання органічних відходів більш детально.

*Нагрівання без попереднього підігрівання вихідної сировини (пряме нагрівання).* У цьому випадку нагрівання сировини відбувається безпосередньо в самому метантенку або ємності, де проводиться процес ферментації. Застосування цього підходу дозволяє зменшити складність системи, оскільки немає потреби в додаткових теплообмінниках або системах підігріву перед

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510037	Арк
						35

введенням сировини в реактор. Однак цей метод може бути менш ефективним у випадках, коли потрібно досягти конкретної температури перед початком ферментації, оскільки нагрівання може займати більше часу.

*Нагрівання з попереднім підігріванням вихідної сировини (непряме нагрівання).* У цьому випадку перед введенням сировини в метантенк або реактор вона попередньо підігрівається до температури ферментації за допомогою теплообмінників. Такий підхід може забезпечити кращий контроль над температурою та більш ефективне використання енергії, оскільки дозволяє попередньо нагрівати сировину до оптимальної температури. Однак цей метод вимагає додаткового обладнання для теплообміну та підігріву, що може підвищити вартість та складність системи.

Обидва підходи мають свої переваги та недоліки, і вибір конкретного методу нагрівання може залежати від ряду факторів, таких як розмір установки, доступність теплових джерел, вимоги до температури та енергоефективність.

Практиками [4, 11, 12] доведено, що введення початкової сировини в метантенк без переднього нагрівання негативно впливає на ефективність процесу зброджування. Це пояснюється тим, що подача холодної маси викликає стрес для анаеробних бактерій, що забезпечують процес ферментації. У таких умовах активність цих мікроорганізмів сповільнюється, що вимагає додаткового часу для відновлення їхньої початкової активності. Тому технологічні схеми з переднім підігріванням вихідної сировини широко застосовуються у світовій практиці. Підігріта маса, яка вводиться, потрапляє до спеціального збірника початкової сировини, об'єм якого відповідає кількості одноразового або добового завантаження сировини в метантенк. Цей підхід забезпечує стабільні температурні умови і оптимальні середовища для розвитку анаеробних мікроорганізмів, що підвищує продуктивність і ефективність процесу зброджування.

Також слід зазначити, що ефективне нагрівання гною залежить від підтримання температури теплоносія на оптимальному рівні, що не перевищує

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510037	Арк
						36

70°C. Більша температура може призвести до явища, коли відбувається припикання органічних речовин до поверхні теплообмінника. Це, у свою чергу, може спричинити різке зниження коефіцієнта тепловіддачі між поверхнею теплообмінника і масою, яка нагрівається. Щоб уникнути цього явища слід підвищити інтенсивність процесу теплообміну. Один зі способів зробити це – збільшення швидкості руху маси, що нагрівається. При цьому важливою перевагою є те, що зменшується можливість прилипання цієї маси до поверхні теплообмінника, що забезпечує стабільніше та ефективніше функціонування системи нагрівання.

Використання біогазу у вигляді окремих чистих компонентів, зокрема метану і діоксиду вуглецю, може значно збільшити його економічну цінність. І ось чому:

*1. Різні сфери застосування.* Метан і діоксид вуглецю можуть бути використані у різних галузях промисловості та технологій. Метан, як відомо, є корисним паливом для теплової та електричної енергії, а також може використовуватися в якості сировини для хімічної промисловості. Діоксид вуглецю, у свою чергу, може бути використаний у різних процесах, включаючи виробництво напоїв, карбонізацію напоїв, а також у сільському господарстві для збільшення росту рослин.

*2. Додаткові доходи.* Продаж метану і діоксиду вуглецю як окремих продуктів може принести додаткові доходи виробникам біогазу, збільшуючи їх прибутковість і економічну стійкість.

*3. Вища цінність.* Чисті компоненти, такі як метан і діоксид вуглецю, часто мають вищу цінність на ринку порівняно з сумішшю біогазу, оскільки вони можуть бути використані у вигляді високоякісних продуктів і сировини для інших галузей.

*4. Екологічні переваги.* Використання метану та діоксиду вуглецю як чистих компонентів може сприяти зменшенню викидів шкідливих газів у атмосферу, що сприяє поліпшенню екологічної ситуації.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 20510037

Арк

37

Також зазначимо, що збільшення вмісту метану в біогазі до 96 %, що є схожим з характеристиками природного газу, відкриває широкі можливості для його використання в різних технологічних процесах. Отриманий біогаз може служити альтернативою природному газу у великому спектрі застосувань. Високоякісний біогаз може бути використаний у технологічних процесах, які потребують палива з високим вмістом метану. Це може включати виробництво тепла та електроенергії, а також роботу різноманітних промислових устаткувань.

Діоксид вуглецю, який може бути виділений під час очищення біогазу, також може мати різноманітні застосування. Він може бути використаний як інертний газ для зварювальних робіт, заправлення вогнегасників, в тепличних господарствах для збільшення вмісту CO<sub>2</sub> у повітрі для росту рослин, а також у нафтовій промисловості для циклінг-процесів.

Деякі галузі харчової промисловості також можуть використовувати біогаз як джерело енергії для обробки та зберігання продуктів, наприклад, для забезпечення необхідної температури під час процесів консервації чи сушіння.

Такий підхід до використання продуктів не лише збільшує його використовувану цінність, але і сприяє створенню більш сталої та екологічно чистої енергетичної системи.

Комбінований підхід до використання біогазу, що включає одержання як тепла, так і електричної енергії, виявляється найбільш ефективним. Цей метод дозволяє досягти великої ефективності. Такий успіх пояснюється використанням міні-ТЕЦ (теплоелектроцентралей), оснащених газодизельними або дизельними двигунами внутрішнього згоряння з приєднаними електрогенераторами. Під час цього процесу біогаз перетворюється на електроенергію та тепло. Отриману енергію можна використовувати прямо на підприємстві для власних потреб, або ж продавати іншим споживачам. Додатково, можна використовувати механізм загальних електромереж за «зеленим» тарифом, що сприяє не лише ефективному використанню енергії, але й стимулює зелені технології.

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			38

## РОЗДІЛ 4

# ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Техніка безпеки під час роботи на біогазовій установці

Робота на біогазовій установці вимагає дотримання високих стандартів безпеки для запобігання можливих небезпек та забезпечення безпеки працівників. Усі працівники повинні отримати відповідну підготовку та навчання з безпеки на робочому місці. Це включає знання про потенційні ризики, процедури надання першої допомоги та відомості про використання засобів індивідуального захисту [29].

Профільний захисний спецодяг та засоби індивідуального захисту, такі як маски, респіратори, окуляри та рукавиці, повинні бути наділені всім працівникам і використовуватися відповідно до вимог. Регулярний моніторинг концентрації біогазу та інших небезпечних речовин у повітрі є важливим для виявлення можливих загроз і вчасної реакції на витіки [29].

Також працівники повинні бути ознайомлені з планом евакуації та процедурами дії в надзвичайних ситуаціях, включаючи вибухи чи витіки газу. Важливо забезпечувати регулярну перевірку та обслуговування всього обладнання на біогазовій установці для запобігання можливим аваріям та витоків.

Профілактичні заходи, такі як миття рук після роботи та перед прийомом їжі, можуть допомогти уникнути контакту з небезпечними речовинами. Працівники повинні завжди бути уважними та зберігати постійний зв'язок з колегами для виявлення небезпек та спільного реагування на них.

Незважаючи на переваги біогазу як відновлювального джерела енергії, його обробка та використання може створювати небезпечні ситуації для працівників. Декілька основних небезпек, пов'язаних із роботою на біогазовому підприємстві, включають [30]:

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

					ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		39

### 1. Отруйні гази

Біогаз може включати в себе небезпечні речовини, такі як сірководень або аміак, які є потенційно отруйними. Вдихання таких речовин може призвести до отруєння, що може виявитися небезпечним для здоров'я людини. Отруєння газами може спричинити серйозні наслідки, включаючи респіраторні проблеми, подразнення очей та шкіри, нудоту, головний біль та важкість у диханні.

### 2. Ушкодження від електричного струму

Недотримання правил безпеки при роботі з електрообладнанням на підприємстві може стати причиною ураження електричним струмом. Електричний удар може виникнути внаслідок контакту з електричними проводами чи обладнанням під напругою, що може призвести до серйозних травм та навіть смерті. Для запобігання ураженню електричним струмом необхідно дотримуватись наступних правил безпеки:

- перш ніж проводити роботи з електрообладнанням, слід переконатися, що живлення відключено і зафіксовано, щоб уникнути випадкового включення;
- використовувати ізольовані інструменти та обладнання для зменшення ризику проведення електричного струму через тіло;
- надати працівникам необхідну підготовку та навчання з правил безпеки при роботі з електрообладнанням;
- забезпечити належне позначення електрообладнання та зон, де може бути небезпечна напруга;
- регулярно перевіряти стан електрообладнання та проводити обслуговування для запобігання виникненню проблем;
- надягати захисне обладнання, таке як рукавиці та окуляри, при роботі з електрообладнанням.

### 3. Вплив шуму

Робота двигунів та генераторів може створювати значний рівень шуму. Це особливо стосується установок, де використовуються внутрішнього згорання двигуни для виробництва електроенергії з біогазу. Інші компоненти установки,

Підп. і дата	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Інв.№попл.	Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510037	Арк
											40



такі як компресори та насоси, також можуть бути джерелами шуму. Вони використовуються для переміщення біогазу та інших матеріалів у різних процесах біогазового виробництва. Також, очищення біогазу від забруднень та вологи може також супроводжуватися шумом, особливо якщо використовуються спеціальні установки для цього.

У свою чергу, підвищений рівень шуму також може становити небезпеку для здоров'я працівників. Довготривалий підвищений шум може призвести до пошкодження слуху та інших проблем зі здоров'ям. З метою запобігання таким ризикам, необхідно використовувати захисне обладнання та дотримуватися всіх правил та рекомендацій щодо безпеки на робочому місці.

#### *4. Санітарна безпека*

На території підприємства мають бути створені стерильні зони для приймання їжі, де буде дозволено вживати їжу. Це важливо з міркувань здоров'я. Ці зони можуть бути обладнані спеціальними засобами для гігієни, зручними місцями для відпочинку та споживання їжі, а також забезпечені системою очищення повітря для зменшення ризику зараження. Такий підхід сприятиме підвищенню рівня гігієни на підприємстві та забезпечить безпеку та здоров'я працівників у цілому. Регулярна очистка та дезінфекція зазначених зон допоможе уникнути розповсюдження хвороботворчих мікроорганізмів та забезпечить безпеку харчових продуктів.

#### *5. Пожежна безпека на біогазовій установці*

Пожежна безпека на біогазовій установці є одним із ключових аспектів забезпечення безпеки праці та експлуатації об'єктів. Метан, що є головним компонентом біогазу, має властивість бути вибухонебезпечним, тому важливо уникати будь-яких джерел відкритого вогню або іскри в таких умовах. Постійне нагадування про ці ризики та вжиття відповідних заходів безпеки може допомогти у запобіганні можливих нещасних випадків та збереженні життя працівників.

Перед початком експлуатації біогазової установки важливо провести комплексний аналіз та ідентифікацію всіх потенційно небезпечних зон, де

Підп. і дата																														
Підп. і дата																														
Взаєм. інв. №																														
Підп. і дата																														
Інв. № подл.																														
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510037														Арк											
																			41											

можливе виникнення пожежі. Це включає області зберігання біогазу, місця зварювальних робіт, місця знаходження електроустаткування та інші області з підвищеною ймовірністю загоряння [29].

На основі ідентифікації пожежонебезпечних зон необхідно розробити та впровадити план пожежної безпеки. Цей план повинен містити процедури евакуації, процедури застосування засобів пожежогасіння, а також вказівки щодо поведінки персоналу під час пожежі. Біогазова установка повинна бути обладнана всіма необхідними засобами пожежогасіння, такими як пожежні вогнегасники, пожежні крани, системи автоматичного спрацювання, а також системи оповіщення та евакуації. Важливо проводити регулярні тренінги та навчання персоналу з питань пожежної безпеки. Це допоможе забезпечити свідоме та ефективне взаємодію персоналу під час надзвичайних ситуацій та мінімізувати можливі ризики для життя та здоров'я [31].

Отже, пожежна безпека на біогазовій установці є невід'ємною частиною загальної стратегії забезпечення безпеки та ефективності роботи. Застосування відповідних заходів та процедур пожежної безпеки допоможе запобігти виникненню пожеж та зберегти життя та майно.

#### 4.2 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

Біогаз, зокрема у висококонцентрованих середовищах, представляє собою значну вибухонебезпеку. Навіть невеликі витоки біогазу можуть призвести до небезпечних ситуацій, які загрожують життю та здоров'ю працівників. Високий рівень концентрації біогазу у повітрі створює потенційну ситуацію для серйозного вибуху, який може мати катастрофічні наслідки, включаючи серйозні травми та навіть загибель. Такий вибух може призвести до пошкодження споруд, руйнування обладнання та спричинити пожежу, що є надзвичайно небезпечним у робочих умовах, де присутні великі кількості горючих матеріалів. Для запобігання таким негативним наслідкам необхідно

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			42

дотримуватись всіх необхідних заходів безпеки та вчасно реагувати на будь-які витоки газу [30].

У зв'язку з нинішнім геополітичним контекстом і наявністю конфліктів, небезпека воєнного характеру стає дедалі більш актуальною. Загрози, що впливають з можливих воєнних конфліктів, мають визначальний вплив на безпеку та діяльність підприємства в цих умовах.

По-перше, підприємство має провести оцінку потенційних загроз воєнного характеру, враховуючи географічне розташування, політичну обстановку та інші фактори, що можуть вплинути на його діяльність. На основі проведеної оцінки потрібно розробити та впровадити комплекс заходів безпеки, спрямованих на захист персоналу, майна та інфраструктури підприємства у випадку виникнення воєнної небезпеки.

По-друге, важливо розробити та регулярно оновлювати надзвичайні плани, що передбачають дії персоналу у випадку загострення конфлікту або воєнної дії в районі розташування підприємства. Підприємство повинно підтримувати активний контакт з органами влади та правоохоронними органами для обміну інформацією та координації дій у випадку виникнення воєнної небезпеки.

По-третє, регулярні навчальні заходи та тренування дозволяють підготувати персонал до дій у надзвичайних ситуаціях, включаючи воєнну небезпеку.

Отже, загальною метою є забезпечення максимальної безпеки персоналу та збереження нормального функціонування підприємства навіть у найскладніших умовах воєнної небезпеки. Дотримання зазначених дій сприятиме збереженню стабільності та продовженню успішної діяльності підприємства в умовах небезпеки.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 20510037

Арк

43

## ВИСНОВКИ

1. Проведено детальний огляд та аналіз утворення відходів сільського господарства, включаючи їх склад, обсяги накопичення та потенційний вплив на навколишнє середовище. Цей аналіз допоміг зрозуміти масштабність проблеми, потенційний негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини, а також розробити основні стратегії зменшення впливу відходів на навколишнє середовище.

2. Проведено аналіз існуючих технологій переробки відходів, який дозволив з'ясувати переваги та недоліки різних методів переробки, зокрема з отриманням біогазу. Отримані відомості допомогли визначити найбільш ефективні шляхи використання (відновлення) відходів сільського господарства.

3. Визначено технічну концепцію для перероблення гною на біогазовій установці, включаючи вибір обладнання, розрахунок потужності тощо. Запропонована установка забезпечує оптимальну обробку гною та отримання біогазу з використанням середньої продуктивності біогазової установки.

4. Розроблено рекомендації з відновлення відходів сільського господарства з отриманням біогазу. Впровадження рекомендацій має потенціал зменшити негативний вплив відходів сільського господарства на довкілля, забезпечити додаткове джерело енергії для сільськогосподарських потреб, покращити умови праці та сприяти економічному розвитку у сільських регіонах.

5. Розглянуто питання охорони праці та пожежної безпеки під час експлуатації біогазової установки та у надзвичайних ситуаціях. Зазначені рекомендації в цих сферах спрямовані на забезпечення безпеки персоналу та уникнення надзвичайних ситуацій в цілому.

У підсумку, результати дослідження та розробки вказують на потенціал створення ефективної системи управління відходами сільського господарства через їх переробку на біогазових установках, що сприятиме як екологічній, так і економічній стійкості господарства.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 20510037

Арк

44

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Якушко С. І. Переваги внутрішньогосподарської утилізації сільськогосподарських відходів. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля*. 2019. № 2. С. 22–28.

2. Гайденко О. Тверде біопаливо: вимоги, властивості та технологія виробництва [Електронний ресурс] / О. Гайденко. – Режим доступу : <http://www.agro-business.com.ua/ideii-i-trendy/2424-tverde-biopalivo-tehnologichni-vymogy-vlastyvosti-komponentiv-ta-tehnologiiia-vyrobnystva.html>

3. Панчук М. В., Шлапак Л. С. Аналіз перспектив розвитку виробництва та використання біогазу в Україні. *Актуальні питання нафтогазової галузі*. 2016. № 3(60). С. 26–33.

4. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#n8>

5. Горобець О. В. Класифікація сільськогосподарських відходів і вибір технології їх утилізації. *Екологічні науки*. 2016. № 4(31). С. 225–229.

6. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0089217-96#Text>

7. Господаренко Г. М. Агрохімія : Підручник. Київ, 2013. 406 с.

8. Слободенюк О. А. Утилізація рослин, забруднених дихлордифенілтрихлорметилметаном. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. № 22. С. 128–132.

9. Поводження з відходами агропромислового комплексу: можливості для України [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.uabio.org/img/files/news/pdf/waste-agro-complex-2013.pdf>

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

10. Горобець О. В. Класифікація сільськогосподарських відходів і вибір технології їх утилізації. *Екологічні науки*. 2016. № 4(31). С. 225–229.

11. Якушко С. І., Острога Р. О., Боцко Й. Біодобрива та біопаливо. Переваги внутрішньогосподарської утилізації сільськогосподарських відходів: монографія. – Суми : Видавництво «Ярославна», 2018. 265 с.

12. Новосад Н. В. Лабораторні тварини і техніка біологічного експерименту: Навчально-методичний посібник. – Запоріжжя: ЗНУ, 2011. 85 с.

13. Ігнатенко О. Як сільськогосподарські практики впливають на довкілля та соціальний розвиток [Електронний ресурс] / О. Ігнатенко. – Режим доступу : <https://www.dossier.org.ua/news/yak-silskogospodarski-praktiki-vplivayut-na-dovkillya-ta-socialniy-rozvitok>

14. Піскун В. І., Осипенко Т. Л. Викиди парникових газів при підготовці гною до використання з отриманням поновлювальних джерел енергії при виробництві свинини. *Таврійський науковий вісник*. № 96. С. 155–160.

15. Піскун В. І., Осипенко Т. Л. Викиди парникових газів при підготовці гною до використання з гідравлічним обробленням та одержанням поновлювальних джерел енергії. *Таврійський науковий вісник*. № 97. С. 260–265.

16. Біогаз та біометан в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uabio.org/biogas-and-biomethane>

17. Сақун Л. М., Різніченко Л. В., Велькін Б. О. Перспективи розвитку ринку біогазу в Україні та за кордоном. *Економіка і організація управління*. 2020. № 1(37). С. 160–170.

18. Федік К. М. Екологічна оцінка можливостей компостування змішаних органічних відходів : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 101 – екологія / наук. кер. І. В. Васькіна. Суми : Сумський державний університет, 2023. 50 с.

19. Wang Z., Lei G. Study on penetration effect of heavy metal migration in different soil types. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 394. 052033.

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

						ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			46

20. Moure Abelenda A., Amaechi C. V. Manufacturing of a granular fertilizer based on organic slurry and hardening agent. *Inventions*. 2022. Vol. 7 (1). 26.

21. Vovk V. Economic efficiency of use of waste-free technologies in the agro-industrial complex. *Economy. Finances. Management: Topical issues of science and practical activity*. 2020. Vol. 4 (54). P. 186–206.

22. Neugebauer C., Bück A., Kienle A. Control of particle size and porosity in continuous fluidized-bed layering granulation processes. *Chem. Eng. Technol.* 2020. Vol. 43, No. 5. P. 813–818.

23. Islam M. T., Nguyen A. V. Effect of particle size and shape on liquid-solid fluidization in a hydrofloat cell. *Powder Technol.* 2021. Vol. 379. P. 560–575.

24. Maharjan R., Jeong H. S. Application of different models to evaluate the key factors of fluidized bed layering granulation and their influence on granule characteristics. *Powder Technol.* 2022. Vol. 408. 117737.

25. Bouhia Y., Hafidi M., Ouhdouch Y., Boukhari M. E., Mphatso C., Zeroual Y., Lyamlouli K. Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 2022. Vol. 21. P. 425–446.

26. Білецька Г. А., Матюшенко І. В. Компостування органічних відходів у побутових умовах. *Природний альманах*. 2018. № 2. С. 16–23.

27. Павленко С. І. Аналіз і обґрунтування технологічних процесів компостування сільськогосподарських органічних відходів тваринного походження. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2019. № 9. С. 94–104.

28. Ivanchenko A., Yelatontsev D., Savenkov A. Anaerobic co-digestion of agro-industrial waste with cheese whey: Impact of centrifuge comminution on biogas release and digestate agrochemical properties. *Biomass and Bioenergy*. 2021. Vol. 147. 106010.

29. Вимоги безпеки під час роботи з установкою для отримання біогазу / М. С. Лемешев, А. Д. Майданюк. *Інноваційні технології в процесі підготовки*

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

фахівців: Міжнародна науково-практична інтернет-конференція, м. Вінниця, 03–04 квітня 2016 р. Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2016. С. 104–106.

30. Сірик А. О., Євтушенко О. В., Мальцева А. В. Безпека праці при роботі біогазових установок на підприємствах харчової промисловості. *SWorld Journal (Bulgaria)*. 2022. Is. 11, Part 1. P. 46–51.

31. Dynamic Biogas [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.dynamicbiogas.com>

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 20510037	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		48



## ДОДАТОК А

### Методика розрахунку біогазових установок

#### ***Вибір розміру реактора***

Розмір реактора вимірюється в кубічних метрах і залежить від кількості, якості й типу сировини, а також від вибраної температури та часу зброджування. Є декілька способів визначення необхідного об'єму реактора.

Від кожної голови великої рогатої худоби (ВРХ) утворюється 4 кг сухих відходів за 1 добу, або 40 кг відходів за 1 добу за вологості 90–93 %. Від кожної голови свині – 1 кг сухої речовини, або 10 кг відходів за вологості 90–93 %; від кожних 100 голів птиці утворюється 14 кг сухої речовини, або 25 кг за вологості 56–60 %.

Оцінити необхідний об'єм метантенка можна, виходячи з наявної кількості тварин або птиці в господарстві (табл. А.1).

Таблиця А.1 – Співвідношення потужностей біогазових установок між об'ємами реакторів-метантенків і наявністю тварин у господарствах

Об'єм реактора, м <sup>3</sup>	Кількість тварин та птиці		
	ВРХ, голів	свині, голів	кури, 100 голів
3	10	40	16
10	40	150	24
25	100	400	160
50	200	800	320
100	400	1600	640
150	600	2300	960
200	800	3000	1280

#### ***Розрахунок виходу біогазу***

Розраховують добовий вихід біогазу залежно від типу сировини і добової порції завантаження. У табл. А.2 наведено оцінні значення виходу біогазу залежно від типу сировини.

Таблиця А.2 – Вихід біогазу для різних типів сировини

Тип сировини	Вихід газу (м <sup>3</sup> на 1 кг сухої речовини)	Вихід газу (м <sup>3</sup> на 1 тону за вологості 85 %)
Гній ВРХ	0,250–0,340	38,0–51,5
Свинячий гній	0,340–0,580	51,5–88,0
Пташиний послід	0,310–0,620	47,0–94,0
Кінський гній	0,200–0,300	30,3–45,5
Овечий гній	0,300–0,620	45,5–94,0

### *Розмір реактора для перероблення певної кількості сировини*

Дослідним шляхом, виходячи з кількості тварин, визначають добову кількість гною для перероблення в біогазовій установці. Потім визначають вологість сировини. Краще всього вологість можна визначити відправивши зразок гною в агрохімічну лабораторію. Але це можна зробити і самотужки. Метод ґрунтується на вимірюванні зменшення маси речовини при висушуванні її в сушильній шафі або на повітрі до сталої маси.

Для цього із середньої проби подрібненого зразка, після ретельного перемішування, зважують не менше ніж дві наважки по 100 г із точністю 0,1 г у попередньо зваженому посуді. Зразки висушують до того часу, поки різниця мас між двома останніми зважуваннями не перевищуватиме 0,2 г. Тоді процес висушування вважають закінченим і переходять до оброблення результатів.

Вміст гігроскопічної води обчислюють за формулою:

$$x = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{m_1 - m},$$

де  $x$  – вміст гігроскопічної води, %;  $m_2$  – маса посудини з наважкою після висушування, г;  $m_1$  – маса посудини з наважкою до висушування, г;  $m$  – маса порожньої посудини, г.

Тоді кількість абсолютно сухої речовини у вихідному гної:

$$m_{AC} = (m_1 - m) - x.$$

Тепер можна визначити вологість гною, %, що дорівнює:

$$w = 100 - \frac{(m_1 - m)}{m_{AC}}.$$

Якщо сировина має вологість меншу за 90 %, її розбавляють водою або рідкими стоками для досягнення 90–92 % вологості.

В основному, якщо немає особливих вимог, для перероблення сировини вибирають мезофільний режим бродіння (32–35 °С). При мезофільному режимі рекомендується використовувати дозу добового завантаження, що дорівнює 15 % від об'єму загальної завантаженої в установку сировини. Загальний об'єм сировини в установці не повинен перевищувати 9/10 об'єму реактора.

Таким чином, об'єм реактора розраховують за формулою:

$$V_P = m_{BC} \cdot 15 \cdot \frac{10}{9} = 16,7 \cdot m_{BC},$$

де  $m_{BC}$  – маса вихідної сировини.

ДОДАТОК Б  
Властивості біогазу

Таблиця Б.1 – Характеристика біогазу як палива

Характеристика	Компонент біогазу					Біогазова суміш (CH <sub>4</sub> – 60 %, CO <sub>2</sub> – 40 %)
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>	
Об'ємна частка	55–70	20–44	1	1	3	100
Об'ємна теплота згоряння, МДж/м <sup>3</sup>	35,8	–	10,8	22,8	–	21,5
Межа займистості (вміст у повітрі), %	5–15	–	4–30	4–45	–	5–12
Температура займистості, °С	650–750	–	585	–	–	650–750
Нормальна густина, г/л	0,72	1,98	0,9	1,54	–	1,2

Таблиця Б.2 – Продуктивність біогазу залежно від використовуваної сировини

Сировина (субстрат)	Біогаз (м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> субстрату)
Курячий послід	53,71
Кінський гній	40,60
Гній ВРХ	32,40
Гній ВРХ (свіжий)	76,69
Свинячий гній	25,52

Таблиця Б.3 – Склад та відсотковий вміст жирів, протеїнів та гідрату вуглецю

Склад речовини	Кількість біогазу, м <sup>3</sup> /кг	Вміст метану, %	Вміст вуглекислого газу, %
Жири	1,25	68	32
Протеїни	0,7	71	29
Гідрат вуглецю	0,79	50	50

Таблиця Б.4 – Теплофізичні властивості біогазу

Назва	Значення показника
Метан, загальний %	56–70
Вуглекислий газ, загальний %	15–25
Сірководень, загальний %	0,05–1,5
Азот, загальний %	1,0–5,0
Густина відносна, кг/м <sup>3</sup>	0,8
Теплота згоряння, ккал/м <sup>3</sup>	5000–5500

Дані щодо виходу біогазу з різних видів сільськогосподарської сировини, які можуть бути ефективно використані для забезпечення фермерського господарства енергоносіями (див. табл. Б.5–Б.7).

Таблиця Б.5 – Силос та енергетичні культури

Субстрат	Суша речовина, %	Суша органічна речовина, %	Вихід біогазу, м <sup>3</sup> /т	Метан, %
1	2	3	4	5
Силос суданської трави, 1-й укіс, початок цвітіння	21,9	90,3	98,0	52,6
Люцерна, 2-й укіс	35,0	87,6	141,0	54,8
Силос конюшини, 1-й укіс, початок цвітіння	35,0	88,6	185,1	55,1
Стебла кукурудзи і качани (суміш) 2 % сирої клітковини	65,0	98,0	451,3	52,6
Зелене жито, кінець цвітіння	30,0	88,6	149,7	53,3
Кукурудзяний силос	33,0	95,8	185,3	52,2
Трав'яний силос	40,0	89,2	208,3	54,1
Просо, фаза воскової стиглості	35,0	88,5	162,7	53,0

1	2	3	4	5
Силос фуражної суміші (вика, овес, ячмінь), стадія цвітіння	35,0	88,5	168,3	54,1
Силос ріпаку	14,0	80,0	75,4	55,9
Силос листя буряка	18,0	80,5	88,2	54,4
Силос зернових (повне зерно)	42,0	94,2	214,1	52,1
Силос пшениці (ціла рослина)	40,0	93,6	187,7	52,4
Силос червоної конюшини, 1-й укіс	30,0	87,0	140,1	55,3
Силос жита/тритикале	38,0	93,2	176,6	52,4
Силос конюшини, 2-й укіс, початок цвітіння	35,0	88,3	159,4	54,7
Силос червоної конюшини, 2-й укіс	30,0	87,8	137,9	55,2
Силос жита, 2-й укіс, стадія цвітіння	35,0	88,3	169,7	53,9
Трав'яний силос, 1-й укіс, початок інтенсивного зростання	25,0	87,8	132,2	54,6
Кукурудзяний силос, глянцева стиглість (повне зерно)	35,0	96,0	201,5	52,3

Таблиця Б.6 – Коренеплоди, зерно, насіння

Субстрат	Суша речовина, %	Суша органічна речовина, %	Вихід біогазу, м <sup>3</sup> /т	Метан, %
1	2	3	4	5
Ячмінь дворядний	87,0	97,2	578,5	52,7

1	2	3	4	5
Кукурудза суха	87,0	98,3	590,3	52,8
Овес	87,0	96,7	501,1	54,1
Бурякова, патокова стружка	89,6	92,0	569,0	51,9
Свіжий цукровий буряк	23,0	91,9	147,1	50,8
Стружка цукрового буряка	91,6	94,6	594,3	50,6
Жито	87,0	97,8	597,0	52,0
Соняшник	88,0	96,6	594,5	63,5
Пшениця	87,0	98,1	598,2	52,8
Горох	87,0	96,3	581,4	55,0
Ріпак	88,0	95,5	644,5	65,7
Картопляні пластівці	88,0	94,7	556,3	50,6
Картопляний крохмаль	83,6	99,5	605,6	50,0
Картопля свіжа	26,0	93,4	177,1	51,4

Таблиця Б.7 – Овочі

Субстрат	Суха речовина, %	Суха органічна речовина, %	Вихід біогазу, м <sup>3</sup> /т	Метан, %
Відходи овочів	15,0	76,0	57,0	56,0
Цибуля	9,6	94,0	80,3	65,0
Цибулева шкірка	82,4	67,0	267,8	65,0
Морква	11,9	88,3	73,3	52,0
Цвітна капуста	9,6	92,7	59,2	56,0
Свіжий гарбуз	8,4	91,5	50,9	55,8