

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Механіко-технологічний факультет

УДК 331.4:662.767.2

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного  
факультету

Братішко В.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри охорони праці та  
біотехнічних систем у тваринництві

В.С. Хмельовський

“\_\_” \_\_\_\_\_ 2022 р.

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: “Обґрунтування технології та вибір обладнання отримання біогазу з відходів тваринництва з використанням коесубстратів”

НУБІП України

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітня програма – Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

НУБІП України

Керівник магістерської роботи

професор

Поліщук В.М.

НУБІП України

Виконав

Холод А.В.

Київ – 2022 р.

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри охорони праці та  
біотехнічних систем у тваринництві  
В.С. Кмельовський

2022 р.

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Холод Аліні Василівні

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітня програма – Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Тема магістерської роботи «Обґрунтування технології та вибір обладнання  
отримання біогазу з відходів тваринництва з використанням коеубетратів»

Затверджена наказом ректора НУБіП України від "21" грудня 2021 р. за №

2218 "С"

Термін подання завершеної роботи на кафедру – 01.10.2022 року.

Вихідні дані до магістерської роботи:

– поголів'я ВРХ в ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл.;

– фізико-механічні властивості біогазу;

– фізико-механічні властивості гною ВРХ.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

– провести аналіз способів та технічних засобів отримання біогазу;

– встановити конструкційно-технологічні параметри метантенка біогазової

установки для впровадження в ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської  
обл.;

– здійснити експериментальне дослідження виходу біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ;  
– провести техніко-економічне оцінювання проєкту;

– встановити виробничі небезпеки та розробити заходи з охорони праці при експлуатації біогазової установки в ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинсь-

кої обл.  
Дата видачі завдання 07.02.2022 р.

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_ Поліщук В.М.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Холод А.В.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України

Завдання до виконання магістерської роботи..... 2

Зміст..... 4

# НУБІП України

Реферат..... 6

Вступ..... 7

# НУБІП України

Розділ 1. Способи та технічні засоби отримання біогазу..... 10

Висновки до розділу..... 15

1.....

# НУБІП України

Розділ 2. Визначення конструкційно-технологічних параметрів метантенка біогазової установки ФГ "Перлина Турії"..... 17

2.1. Характеристика ФГ "Перлина Турії"..... 17

2.2. Методика визначення розміру метантенка при метановій ферментації

# НУБІП України

тньою ВРХ..... 18

2.3. Визначення обсягу метантенка для ФГ "Перлина Турії"..... 20

2.4. Методика визначення розмірів метантенка..... 24

# НУБІП України

2.5. Розрахунок конструкційних параметрів метантенка..... 32

2.6. Вибір перемішуючого пристрою для гомогенізації субстрату та визначення її конструкційно-технологічних параметрів..... 38

# НУБІП України

2.6.1. Методика вибору перемішуючого пристрою для ферментатора великого обсягу.....	39
---	----

2.6.2. Вибір перемішуючого пристрою для ферментатора біогазової установки ФГ "Перлина Турії" та визначення її конструкційно-технологічних параметрів.....	40
---	----

2.6.2.1. Методика визначення конструкційних параметрів трилопатевої мішалки.....	40
--	----

2.6.2.2. Методика встановлення потужності мішалки.....	41
--	----

2.6.2.3. Визначення конструкційно-технологічних параметрів мішалки ферментатора біогазової установки ФГ "Перлина Турії".....	44
--	----

2.6.2.4. Вибір елементів приводу перемішуючого пристрою.....	49
--	----

Висновки до розділу 2.....	51
----------------------------	----

Розділ 3. Експериментальне дослідження виходу біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ з додаванням фузу.....	52
---	----

3.1. Конструкція експериментальної біогазової установки.....	52
--	----

3.2. Результати експериментальних досліджень виходу біогазу при анаеробному зброджуванні гною ВРХ з додаванням фузу.....	55
Висновки до розділу 3.....	56

Розділ 4. Охорона праці.....	57
------------------------------	----

Н	4.1.	Визначення виробничих небезпек при експлуатації біогазових устано- вок.....	57
		.....	
Н	4.2.	Методика визначення параметрів факельної аварійної устано- вки.....	59
		.....	
Н	4.3.	Розрахунок параметрів факельної аварійної установки.....	60
		Висновки до розділу	60
Н	4.	.....	
		Розділ 5. Техніко-економічна оцінка проєкту.....	62
Н	5.1.	Методика встановлення економічної ефективності від впровадження ін- вести- цій.....	62
		.....	
Н	5.2.	Економічна ефективність від впровадження біогазової установки в ФГ "Перлина Турії".....	64
		Висновки до розділу	67
Н	5.	.....	
		Висно- вки.....	68
Н	Список використаних дже- рес.	.....	70
		Дода- тки.....	75

НУБІП України

НУБІП України

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з розрахунково-пояснювальної записки на 85 сторінках комп'ютерного тексту та презентації на 13 слайдах.

У пояснювальні записці наведено 7 таблиць, 8 рисунків, та 70 формул, використано 51 літературне джерело.

У першому розділі розглянуті способи та технічні засоби отримання біогазу. В другому розділі наведена характеристика ФГ "Перлина Турії" Турійського району Волинської обл., розроблена технологічна схема виробництва і використання біогазу в ФГ "Перлина Турії", визначені конструкційно-технологічні параметри ферментатора для метантенка біогазової установки.

У третьому розділі наведена схема експериментальної установки та проведено експериментальне дослідження виходу біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ з додаванням фузу. Встановлено, що максимальний вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ з додаванням 1,3% фузу становить 2,073 л/(год·кг СОР), що майже в 3 рази перевищує максимальний вихід біогазу при монозброджуванні гною ВРХ.

У четвертому розділі визначені виробничі небезпеки при експлуатації біогазових установок. Проведений розрахунок параметрів аварійної факельної установки.

У п'ятому розділі визначена техніко-економічна оцінка проекту.

У висновках узагальнені результати роботи.

Ключові слова: БІОМАСА, БІОГАЗ, КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА, МЕТАНТЕНК, НЕБЕЗПЕЧНІ ФАКТОРИ

## ВСТУП

Сучасний стан с.-г. виробництва потребує зменшення витрат енергії та пошуку її альтернатив, одержання у достатніх кількостях якісних органічних добрив для відновлення родючості ґрунтів, прийняття екологічних рішень, пов'язаних із забрудненням довкілля відходами тваринництва. В багатьох країнах існує достатньо сировини для промислового виробництва біогазу із органічних відходів с.-г. виробництва. Головним чином, це відходи рослинництва та тваринництва. Найбільш придатними для цього є гнойові стоки тваринницьких комплексів і ферм.

Є кілька напрямів утилізації і переробки відходів тваринництва. Найперспективнішим є анаеробне зброджування, яке дозволяє одержувати високоякісні органічні добрива, і біогаз.

Незважаючи на переваги і досягнення за останні роки по розробці обладнання і технологій, анаеробне зброджування активно не використовується в с.-г. виробництві України.

Широке впровадження анаеробного зброджування відходів стримується деякими причинами, в т.ч. високою складністю і матеріаломісткістю технологічного обладнання. Проте до нинішнього часу ці питання майже не вирішені. Практично не вивчений процес підготовки біомаси гною ВРХ до метанового зброджування з урахуванням параметрів процесу накопичення та видалення гною. Потребують дослідження основні параметри цього процесу та шляхи його інтенсифікації.

Важливо, що енергія, яка звільняється внаслідок метанового зброджування, не втрачається, як тепло під час компостування. Після очищення біогазу можна використовувати для отримання електроенергії, в побуті, для обігріву виробничих і житлових будівель, у т.ч. і самих тваринницьких ферм [18].

Важливо зрозуміти, що біогазові технології в наш час дотаційні. Термін окупності інвестицій досить великий (понад 10 років) і залежить від вартості обладнання, якості і кількості отриманого біогазу і дигкстату.

Для розвивання біоенергетики в Україні для отримання високоякісних добрив

і біогазу необхідно створити економічний механізм, що стимулює науково-технічні роботи в цій області, упровадження і виробництво відповідного устаткування.

Тому, можна вважати, що тема магістерської роботи є актуальною, а отримані результати роботи можна упроваджувати в ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл.

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності господарювання в ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл. шляхом обґрунтування технології та вибору обладнання для метанового зброджування тваринницьких відходів з додаванням косубстратів.

Для досягнення мети магістерської роботи необхідно провести дослідження процесу виробництва біогазу для ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл. та вирішити такі завдання:

- провести аналіз технологій анаеробного зброджування відходів та технічних засобів отримання біогазу;

- визначити конструкційно-технологічні параметри метантенка біогазової установки для ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл.;

- провести експериментальне дослідження виходу біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ з додаванням фузу;

- провести аналіз виробничих небезпек при експлуатації біогазової установки та визначити параметри факельної аварійної установки;

- встановити економічну ефективність впровадження біогазової установки в ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл.

Об'єктом дослідження виступають технології та обладнання метанового зброджування тваринницьких відходів для ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл.

Предметом дослідження є обґрунтування технології та вибір обладнання метанового зброджування тваринницьких відходів з додаванням косубстратів для ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл.

За результатами магістерської роботи :

– проведений аналіз технологій анаеробного зброджування відходів та технічних засобів отримання біогазу;

– визначені конструкційно-технологічні параметри метантенка біогазової установки для ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл.;

– проведено експериментальне дослідження виходу біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ з додаванням фузу;

– проведений аналіз виробничих небезпек при експлуатації біогазової установки та визначити параметри факельної аварійної установки;

– встановлена економічна ефективність впровадження біогазової установки в ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл.

На захист вноситься.

– обґрунтування за відомою методикою конструкційно-технологічних параметрів метантенка біогазової установки;

– визначення конструкційно-технологічних параметрів трилопатевої мішалки;

– експериментальне дослідження виходу біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ з додаванням фузу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 1. СПОСОБИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ

Біогазом вважається суміш газів, отриману в процесі анаеробного метанового зброджування біомаси, до складу якої входить метан, вуглекислий газ, сірководень, водень та домішки аміаку, оксидів азоту тощо. Анаеробне метанове бродіння – це складний мікробіологічний процес, що відбувається в анаеробних умовах (за відсутності кисню) в процесі чого органічні сполуки розкладаються під дією певних метаногених (метаноутворюючих) мікроорганізмів. Під час метанового зброджування в метантенках відходів отримуємо дигестат - органічне добриво, що розподіляється на тверду складову – дигестат, та фільтрат – рідку), значна ж частина вуглецю утворює метан – енергетичний газ, суміш якого з вуглекислим газом та іншими і є біогазом [24, 29].

Стравиною для виробництва біогазу є гній ВРХ [50], ослів [42], свиней [41], пташиний послід [48], осад олії [44], стічні води виноробних виробництв [45], сирій гліцерин [51], соапсток [49], некондиційне борошно [46], солома [47], силос кукурудзи [43] тощо.

Існують технологічні процеси метанового зброджування як твердих так і рідких відходів. Відходи в рідкому вигляді, вологість яких більша 90%, зброджують у рідкофазних ємностях, які мають назви: дайджестери, метантенки, біореактори тощо).

Біогаз часто отримують у рідкофазному апараті, який входить до складу біогазової установки (рис. 3.15). Складовими біогазової установки є також сховище для накопичення та зберігання твердого субстрату (силосу, жому, гною тощо) і ємність попереднього накопичення рідких відходів (гноївки, каналізаційного осаду тощо), система завантаження сировини, система підготовки сировини до зброджування, ферментатор і ємність для доброджування (резервуар, у якому субстрат доброджується після зброджування в ферментаторі, внаслідок процесу доброджування отримують додатково ще 20% біогазу), до складу біогазової установки входять та-

кож пристрої для забезпечення температурного режиму ферментатора та перемішуючі пристрої для субстрату. Біогаз, отриманий в метантенку і доброджувачі, направляється для зберігання до газгольдеру а потім у систему для очищення, звідти очищений від вологи та сірководню біогаз направляється до когенераційної установки, в якій перетворюється в електричну та теплову енергію. Отримана з біогазу електроенергія поступає в електромережу, а теплову енергію застосовують для забезпечення теплового режиму метантенків, її ж надлишок може використовуватися в побутових потребах. В екстримальних ситуаціях та до пуску когенераційної установки з метою швидкого спалювання отриманого біогазу використовують факельну аварійну установку.

Перевроджена сировина (дигестат) з резервуара для доброджування направляється до сепаратора, в якому відділяється тверда фракція від рідкої. Тверда фракція надходить до сховища для зберігання твердої складової дигестату, звідки транспортується на поля де використовується як органічне добриво, частина ж рідкої складової дигестату використовується для отримання свіжого субстрату, інша частина поступає в ємність для накопичення рідкої складової дигестату (фільтрату), з якої вивозиться на сільськогосподарські поля для використання в якості органічних добрив сільськогосподарських культур [25, 30].

Процес підготовки біомаси до зброджування з отриманням біогазу є важливим фактором для забезпечення її повного та ефективного використання. Цей процес включає: відокремлення сторонніх речовин та субстанцій, подрібнення, гомогенізацію, силосування сировини, зміну структури, забезпечення необхідного для проходження процесу зброджування складу субстрату. Подрібнення сировини дає змогу покращити змішування субстрату в метантенку, забезпечує кращий доступ мікроорганізмів до поживних речовин у субстраті та значно збільшує площу поверхні складових субстрату. Як наслідок - процес зброджування відбувається швидше та в повному обсязі. Вихід біологічного газу за виконання цих умов може зрости на 14-25%. Забезпечення гомогенізації (однорідності) субстрату дуже важливе для режиму стабільності процесу зброджування і недопущення накопичення твердої фази в субстраті на його поверхні та утворення газонепроникного шару (кірки), який

здатен спричинити зупинення метанового зброджування. Гомогенізацію субстрату виконують і до подачі його до метантенка і в ємності самого метантенку. До подачі сировини до метантенка процес гомогенізації проходить у спеціальних резервуарах для перемішування. Гомогенізація таким способом має перевагу, особливо в зимовий період, коли відбувається підігрів холодної сировини в ємності для перемішування. Важливий етап підготовки сировини до метанового зброджування – це зміна її структури термічним, ультразвуковим, та біологічним способами. Процес термічного гідролізу під дією тиску (дія пари при температурі 140-180°C) дає змогу відділити клітковину від лігніну і перетворити біомасу (напр., солому) у пастоподібну субстанцію, збільшивши при цьому кількість метану в біологічному газі. Процес гідролізу біомаси, що має високий вміст вологи, методом ультразвукової деструкції (дією ультразвуку частотою 20 кГц) здійснює її розкладання внаслідок процесу кавітації. Як результат - збільшення біля 40% вихіду біогазу, а необхідний для бродіння час суттєво зменшується. В результаті процесу біологічної деструкції під впливом ферментів, в біомасі зростає швидкість протікання біохімічних реакцій. Прискорювати процес бродіння можна додаванням ферментів безпосередньо в біомасу, що дозволить збільшити вихід метану до 70%. Важливим етапом підготовки субстрату до метанового бродіння є процес силосування біомаси. Ефективне виконання процесу силосування дає можливість не лише не втратити якісні показники біомаси, але і отримати вихід метану на 30% більший, у порівнянні із свіжим, в результаті додаткової ферментації біомаси з отриманням жирних кислот, що утворились в процесі силосування. Забезпечення оптимального для метанового зброджування складу субстрату має великий вплив на ефективність його проходження [25, 30]

Зброджування рідких фракцій субстрату проходить в метантенках (інші назви – ферментатор, біореактор, дайджестер). Вони класифікуються за способом розміщення: наземні, заглиблені та напівзаглиблені. За формою виконання метантенки класифікуються на циліндричної форми горизонтальні та вертикальні, з конусною

формою днища і/або верхньої частини, у вигляді резервуару яйцеподібної форми, у вигляді траншеї, що вирита в ґрунті, кубічної форми тощо. В деяких випадках метантенки сумніваються із газгольдерами, що виконані у вигляді натягнутої на ємність плівки, або у вигляді сталевого купола, плаваючого на поверхні субстрату.

Субстрат у метантенку необхідно перемішувати для недопущення певних ефектів: утворення або руйнування кірки; рівномірне розподілення тепла в метантенку; перемішування свіжого субстрату з закривочною порцією для розмноження та розподілення активної метаноутворюючої мікрофлори у свіжій сировині. Для виконання перемішування матеріалу у ємності ферментатора застосовують перемішувачі агрегати (мішалки). Вони бувають: пневматичні, гідравлічні та механічні.

Конструкція механічних перемішувачів наступна: на вал, що обертається, кріпляться змішувачі у вигляді пропелеру, турбіни або лопатей. Під час обертання валу перемішувачі призводять до руху субстрату. Механічні перемішувачі діляться на: редукторні з низькими оборотами, лопаті яких мають великий діаметр - 1,2-2,75 м, потужність двигуна - 0,5-7,5 кВт та швидкість обертання ~15-100 об/хв.; безредукторні високооборотисті, які мають прямий привод валу та високу швидкість обертання, що приблизно дорівнює 350-1500 об/хв. (залежить від

величини діаметру колеса (0,15-0,75 м) та потужності електричного двигуна (0,4-32 кВт); редукторні середньооборотисті, їх показники мають проміжне значення. У мішалках з низькими оборотами кілька лопатевих веслових конструкцій кріпляться на довгому валу, довжина якого повинна сягати половини діаметра ємності ферментатора. Вал розташовується горизонтально або похило. Привод та редуктор кріпляться за межами корпусу ферментатора. Перемішувачі агрегати з високими оборотами виконуються зануреними. Конструкція їх наступна: на короткий вал електричного двигуна (без редуктора) кріпиться за допомогою з'єднувальної муфти один перемішувачий пристрій пропелерного типу. Цей перемішувачий пристрій за допомогою

ручної лебідки може рухатись в вертикальній площині в метантенку. Деякі конструкції пристроїв мають змогу обмежено повертатися в горизонтальній площині.

Величина діаметру колеса (0,15-0,75 м) та потужності електричного двигуна (0,4-32 кВт); редукторні середньооборотисті, їх показники мають проміжне значення. У мішалках з низькими оборотами кілька лопатевих веслових конструкцій кріпляться на довгому валу, довжина якого повинна сягати половини діаметра ємності ферментатора. Вал розташовується горизонтально або похило. Привод та редуктор кріпляться за межами корпусу ферментатора. Перемішувачі агрегати з високими оборотами виконуються зануреними. Конструкція їх наступна: на короткий вал електричного двигуна (без редуктора) кріпиться за допомогою з'єднувальної муфти один перемішувачий пристрій пропелерного типу. Цей перемішувачий пристрій за допомогою

ручної лебідки може рухатись в вертикальній площині в метантенку. Деякі конструкції пристроїв мають змогу обмежено повертатися в горизонтальній площині.

щині. Гідравлічне перемішування використовують у випадку перекачування насосом крізь шар збродженого субстрату крізь сопло (мішалка струминної конструкції), або безпосередньо в ємності (мішалка циркуляційна). Спільним у установок із гідравлічним перемішуванням рідини є відбирання субстрату на поверхні та нагнітання його у глибші шари. Різняться ці способи полягає у характері нагнітання.

Найпростіший метод – це безпосереднє перекачування насосом. У пристроях з складнішою конструкцією використовують вносні циркуляційні рукави. При гідравлічному способі перемішування зазвичай на вихідний отвір напірного рукава встановлюється сопло, яке у певних перемішуючих агрегатах може рухатись і повертатись

на 300 град. по горизонталі. Під час барботажу біогазу крізь товщу рідкого субстрату відбувається пневматичне перемішування. Розрізняють системи із верхньою та нижньою подачею виробленого біогазу [25].

Для накопичення отриманого газу застосовують великі ємності, які мають назву газгольдери. За величиною тиску газгольдери розрізняють на резервуари низького тиску (4-5 кПа) та газгольдери високого тиску (до 3 МПа). Резервуари високого тиску виконуються сферичної та трубчастої форми. Вони мають порівняно незначні габарити, в їхній конструкції відсутні рухомі складові. Для отримання високого тиску потрібно використовувати компресорну установку, а для зниження – редукційну установку. До газгольдерів з високим тиском пред'являється вимоги з техніки безпеки, які поширюються на всі резервуари високого тиску. Газгольдери з низьким тиском поділяються на сухі і вологі.

Вологі газгольдери розрізняють поплавкового і дзвонового типу. Найбільш поширеним газгольдером поплавкової конструкції є плаваюча на поверхні рідкого субстрату у траншеї-метантенку кришка-поплавок з еластичного матеріалу, яка тримається на плаву за допомогою пінопластових плит. Дзвонової конструкції – плаваючий купол у субстраті циліндричного метантенку. Більш досконаліми є дзвонові газгольдери телескопічної конструкції, це наповнений водою нерухомий резервуар, у якому знаходиться рухома складова – перевернутий стакан-дзвін. Між

резервуаром та дзвоном встановлені рухомі проміжні складові – телескопи, з'єднані між собою гідрозатворами. За допомогою газовідного стояка, який розміщений на днищі резервуара, газ поступає під дзвін і піднімає його. Рідина в резервуарі виконує функцію гідравлічного ущільнення, яке запобігає витоку газу із-під дзвону, а під час випускання газу виконує роль поршня, який витискає із рухомих частин газ.

Газгольдері дзвонів конструкції розрізняються за формою направляючих – гвинтові і вертикальні. У газгольдерів із вертикальною формою направляючих дзвін піднімається вертикально вгору по вирівнювальних роликах, а у газгольдерах з направляючими гвинтової конструкції дзвін рухається по гвинтовій траєкторії. Недоліками вологих газгольдерів дзвонів конструкції є вірогідність замерзання рідини у гідравлічних затворах, що може призвести до перекошування ланок, що рухаються і складність їх технічного виконання. Сухі газгольдері простіші в експлуатації та обслуговуванні і дешеві у виготовленні, не вимагають присутності резервуара для води та засобів для підігріву води у холодний період. Розрізняють еластичні, манжетні, поршневі, а також суміщені із ферментатором. В газгольдерах поршневої конструкції біогаз нагнітається під тиском під поверхню поршня і рухає його вгору до верхнього крайнього положення; при випусканні газу, поршень витискає його в газопровід своєю масою. Для недопущення перекошування руху поршня газгольдері обладнані роликами, що розміщені у два ряди, по яких поршень переміщується по газгольдеру. Для недопущення витоку газу між корпусом і поршнем газгольдера встановлені гідрозатвори, які бувають різної конструкції. В газгольдерах манжетного типу для забезпечення сталого тиску слугує дискове кільцеве ущільнення що має вигляд гнучкої мембрани, виготовленої з прогумованої тканини, яка герметично закріплена і до рухомого диску і до ємності. Матеріалом для виготовлення еластичних газгольдерів слугує високоякісний EPDM-каучук, вони порівняно дешеві, легко транспортуються. Газгольдері, що суміщуються з метантенком отримуються при заміні кришки метантенка на газонепроникну плівку. Вони виконуються з використанням центральної опори та ковпаком із одношарової ПВХ плівки, за відсутності газу ковпак із плівки опускається на дерев'яні планки, що опираються на

центральну опору та край бетонного корпусу ферментатора. У газгольдерах з надувним верхом до складу входять два розміщених один над одним ковпаки з ПВХ плівки, між якими нагнітається повітря, при цьому верхній ковпак завжди залишається піднятим над корпусом ферментатора, тоді як нижній виконує функцію газгольдера. Суміщені газгольдери відносно дешеві, легко знімаються для виконання технічного обслуговування апарату [25].

## Висновки до розділу 1

1. Біогаом називається горючий газ, який містить 50-55% метану, приблизно 45-50% вуглекислого газу, невелику кількість сірководню та утворюється за допомогою анаеробного метанового бродіння органічних відходів метаноутворюючими бактеріями.

2. Для ефективного метанового бродіння з утворенням біогазу важливими є такі фактори: властивості субстрату, температура ферментації, рН середовища, експозиція (час) зброджування, тип метаноутворюючих бактерій, наявність анаеробних умов.

3. До складу біогазової установки входять резервуар для біошламу та сировини, метантенк з нагрівачем і перемішувачем пристроями, газгольдер, система очищення біогазу.

## РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕТАНТЕНКА БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ФГ "ПЕРЛИНА ТУРІЇ"

### 2.1. Характеристика ФГ "Перлина Турії"

Фермерське підприємство «Перлина Турії» засноване у 2006 році.

Знаходиться воно у Волинській області Турійського району в селі Сельць. Відстань від районного міста Турійськ до м. Луцьк – 77,5 км. За 12 км від фермерського господарства розташоване м. Ковель, розташована там залізнична вузлова станція поєднує Брест, Львів, Київ та Варшаву. Таке розміщення підприємства є вдалим в плані торгівлі, оскільки можлива активна співпраця не лише з вітчизняними містами та столицею, а й і з сусідніми закордонними країнами. Крім того безпосередньо ерез село Сельць проходить автомагістраль, що створює сприятливі умови для транспортування отриманої продукції.

Господарство у своїй бізнесовій діяльності орієнтоване як на рослинництво, так і на тваринництво, але основна увага направлена на молочне виробництво. Крім того господарство має статус насінневого, яке має право виробляти та реалізувати базове (елітне) та сертифіковане (репродукційне) насіння зернових, і також статус племінного господарства, що вирощує корів молочної чорно-рябої української породи. В господарстві утримується 630 корів, 650 свиней, 30 коней, 85 овець.

На цей час господарство "Перлина Турії" володіє більше 5500 га землі, основні площі орендує в навколишніх селах. Щороку в господарстві вирощують пшеницю, жито, сою, ріпак та цукрові буряки. Землі в більшості своїй піщані, карбонатні, часто заболочені, але дотримуючись сівозміни, використовуючи передові технології та за рахунок внесення органічних добрив в достатніх кількостях господарство має хороший результат. З метою підсилення родючості ґрунтів в господарстві проводять ферментацію та підживлюють землю біофермом.

Підприємство "Перлина Турії" вважається середнім підприємством, тому що

за даними 2020 року має площу сільськогосподарських земель 5484,5 га, штатних працівників – 206 осіб, з них у рослинництві працює 180 осіб, а тваринництвом займається – 26 осіб [13].

## 2.2. Методика визначення розміру метантенка при метановій ферментації гною ВРХ

На об'єм утвореної біомаси впливає кілька факторів: спосіб утримання, вид тварин та їх вік, технологія накопичення та видалення гнойової маси, тип відгодування. Об'єм отриманого за добу безпідстилкового гною є сумою екскрементів та використаної води. В випадку утримання тварин з застосуванням підстилки, додається також її кількість.

Кількість отриманого безпідстилкового гною за добу розраховується по формулі [17]:

$$Q_{доб} = (Q_e + Q_{вг}) \cdot n \quad (2.1)$$

де:  $Q_{доб}$  – кількість отриманого безпідстилкового гною, кг;  $Q_e$  – загальна кількість отриманого безпідстилкового гною з однієї тварини (сеча і кал), кг/добу;  $Q_{вг}$  – витрачена вода для видалення гною та витрачена вода для однієї тварини, яка поступає в процес гноєвидалення, враховуючи виробничі потреби (миття обладнання, підлоги, промивання каналізаційних каналів, трубопроводів, підтікання автопоїлок та кранів), м<sup>3</sup>/добу;  $n$  – число однорічних тварин та тварин однієї вікової та статевої групи.

Кількість отриманого гною прямо пропорційна поголів'ю худоби, її виду, віку та раціону годівлі. Вихід гною в середньому за добу від ряду статевозрілих видів тварин  $Q_e$  показаний в табл. А.1 і в додатку А. Для прикладу орієнтовного розрахунку маса екскрементів ВРХ за добу становить біля 8% їх маси, для свиней – біля 5% [31].

Кількість води для видалення гноївки розраховують за допомогою виразу [17]:

$$Q_{\text{вн}} = K \cdot Q_e \quad (2.2)$$

де  $K$  – значення коефіцієнту, що характеризує систему гноєвидалення.

Величина коефіцієнту  $K$  (для різних конструкцій систем гноєвидалення) представлена в [17].

За даним виразом розраховується вихід безпідстилкової гноївки за рік:

$$Q_{\text{рнч}} = Q_{\text{доб}} \cdot t \quad (2.3)$$

де  $Q_{\text{рнч}}$  – вихід гною на протязі року,  $\text{м}^3$ ;  $t$  – число днів за рік (у календарному році міститься 365 днів).

В суху гноївку як правило додають гарячу воду для отримання потрібної вологості гноївки в кількості, яка визначається по формулі:

$$Q_B = \frac{Q_{\text{М-доб}} \cdot (W_{\text{Г}}^{\text{н}} - W_{\text{Г}})}{100 - W_{\text{Г}}^{\text{н}}} \quad (2.4)$$

де  $Q_B$  – об'єм води для додавання до гною за добу,  $\text{м}^3/\text{добу}$ ;  $Q_{\text{М-доб}}$  – завантаження метантенки сировиною за добу,  $\text{м}^3/\text{добу}$ ;  $W_{\text{Г}}^{\text{н}}$  – величина відносної вологості гною, який поступає з ферми, %;  $W_{\text{Г}}$  – необхідний показник відносної вологості гною, %.

Значення вологості субстрату, що надходить до метантенку, повинно бути більшим 84% зимового часу і 92% літньої пори року. Гній в рідкому стані можна отримувати за безпідстилкового утримання тварин, в його складі присутній гній тварин, залишки кормів певного розміру, та вода, яка потрапила в систему видалення гною при змиванні підлоги та митті наявного обладнання.

За представленим виразом розраховується величина відносної вологості безпідстилкової гноївки [17]:

$$W_{\text{Г}} = \frac{W_{\text{Е}} + 100K}{1 + K} \quad (2.5)$$

де:  $W_{\text{Г}}$  – величина відносної вологості гною, %;  $W_{\text{Е}}$  – значення відносної вологості екскрементів, %;

$K$  – значення коефіцієнту, враховуючого обсяг води, яка потрапила до системи

гноєвидалення.

Величину відносної вологості екскрементів  $W_E$  можна отримати з [17]:

Добовий обсяг завантаження ферментатора гноівкою повинна відповідати виходу гною з ферми за добу, при цьому показник відносної вологості повинен бути оптимальним. Його визначають по формулі [17]:

$$Q_{M\_доб} = \frac{Q_{доб} \cdot W_{Г}^H}{W_{Г} \cdot \rho_{Г}} \quad (2.6)$$

$Q_{M\_доб}$  - обсяг завантаження метантенка за добу,  $m^3/добу$ ;  $\rho_r$  - значення густини гною в умовах необхідної вологості,  $kg/m^3$ .

Значення густина екскрементів  $\rho_r$  при встановленій вологості розраховується за виразом [17]:

$$\rho_r = 1624 - 624 \cdot W_{Г} \quad (2.7)$$

Обсяг екскрементів, необхідний для завантаження в ферментатор за добу, визначається по формулі:

$$Q_M = Q_{M\_доб} + Q_H \quad (2.8)$$

Обсяг метантенка розраховуємо по формулі [17]:

$$V_M = \frac{Q_M}{k \cdot q} \quad (2.9)$$

де  $V_M$  - обсяг ємності метантенка,  $m^3$ ;  $k$  - значення коефіцієнта спорожнення ємності,  $q$  - значення коефіцієнта заповнення ємності;  $Q_M$  - обсяг завантаження ємності сировиною.

Значення коефіцієнта заповнення ферментатора  $q$ , перебуває в межах 0,8-0,96

[11].

Величина коефіцієнта  $k$  спорожнення ферментатора вказує, скільки його обсягу потрібно звільнити для завантаження наступної порції сировини. Повне вивантаження метантенка не потрібно, оскільки в новій порції субстрату відсутня анаеробна мікрофлора в кількості, необхідній для доцільного, з погляду економіки, отримання біогазу. Частка біошламу для затравки повинна бути в межах від 1/3 до

2/3 всього об'єму субстрату. Величина коефіцієнта спорожнення біореактора  $k$  при акумулятивному та циклічному режимі дорівнює 0,35-0,8, а при проточному – 1 [26].

### 2.3. Розрахунок параметрів метантенка ФГ "Перлина Турії"

На сільськогосподарському виробництві ФГ "Перлина Турії" вихід гною в середньому за добу дорівнює: для корів - 55 кг, для свиней на відгодівлі - 6,6 кг, для коней - 32 кг, для овець - 4,2 кг [17].

Величина коефіцієнта  $K$  при використанні транспортерної системи транспортування гною дорівнює 0,15 [17]. Кількість витраченої води для видалення гною по формулі (2.2) становитиме:

- для гною свиней на відгодівлі:

$$Q_{BG} = 6,6 \cdot 0,15 = 0,99 \text{ л/добу};$$

- для гною коней:

$$Q_{BG} = 32 \cdot 0,15 = 4,8 \text{ л/добу};$$

- для гною овець:

$$Q_{BG} = 4,2 \cdot 0,15 = 0,63 \text{ л/добу};$$

- для гною корів:

$$Q_{BG} = 55 \cdot 0,15 = 8,25 \text{ л/добу}.$$

Обсяг безпідстилкового гною для різних видів тварин за добу за виразом (3.1) дорівнює:

- для свиней на відгодівлі:

$$Q_{\text{доб}} = (6,6 + 0,99) \cdot 650 = 4970 \text{ кг/доб};$$

- для коней:

$$Q_{доб} = (32 + 4,8) \cdot 30 = 1140 \text{ кг/доб};$$

- для овець:

$$Q_{доб} = (4,2 + 0,63) \cdot 85 = 390 \text{ кг/доб}.$$

- для корів:

$$Q_{доб} = (55 + 8,25) \cdot 630 = 39220 \text{ кг/доб};$$

Отже об'єм гною за добу в ФГ "Перлина Турії" становить:

$$Q_{доб} = 39220 + 4970 + 1140 + 390 = 45700 \text{ кг/доб}.$$

Об'єм безпідстилкового гною за рік згідно формули (2.3) становить:

- гною свиней на відгодівлі:

$$Q_{річ} = 4970 \cdot \text{кг/добу} \cdot 365 \cdot \text{дів} = 1815 \text{ т};$$

- гною коней:

$$Q_{річ} = 1140 \cdot \text{кг/добу} \cdot 365 \cdot \text{дів} = 415 \text{ т};$$

- гною овець:

$$Q_{річ} = 390 \cdot \text{кг/добу} \cdot 365 \cdot \text{дів} = 145 \text{ т}.$$

- гною корів :

$$Q_{річ} = 39220 \cdot \text{кг/добу} \cdot 365 \cdot \text{дів} = 14315 \text{ т};$$

Слід підкреслити, що значення відносної вологості гною ВРХ, отриманого на фермі, дорівнює 86,5%, для свиней – 87,5%, для коней – 78%, для овець – 74,5%, значення відносної вологості безпідстилкового гною по формулі (2.5) дорівнюва-

тиме:

- для гною свиней:

$$W_r = \frac{87,5 + 100 \cdot 0,15}{1 + 0,15} = 89,1\%;$$

- для гною коней:

$$W_r = \frac{78 + 100 \cdot 0,15}{1 + 0,15} = 80,4\%;$$

$$W_r = \frac{78 + 100 \cdot 0.15}{1 + 0.15} = 80.9\%;$$

- для гною овец:

$$W_r = \frac{74.5 + 100 \cdot 0.15}{1 + 0.15} = 77.6\%;$$

- для гною ВРХ:

$$W_r = \frac{86.5 + 100 \cdot 0.15}{1 + 0.15} = 88.3\%.$$

Значення густини гною згідно формулою (2.7) становить:

- для гною свиней:

$$\rho_r = 1624 - 6.24 \cdot 89.1 = 1068 \text{ кг/м}^3;$$

- для гною коней:

$$\rho_r = 1624 - 6.24 \cdot 80.9 = 1119 \text{ кг/м}^3;$$

- для гною овец:

$$\rho_r = 1624 - 6.24 \cdot 77.8 = 1138 \text{ кг/м}^3$$

- для гною ВРХ:

$$\rho_r = 1624 - 6.24 \cdot 88.3 = 1073 \text{ кг/м}^3.$$

Отже, обсяг завантаження метантанка гною за добу у відповідності до виразу (2.6) дорівнюватиме:

- для гною свиней:

$$Q_{M\_доб} = \frac{4970 \cdot 92}{89.1 \cdot 1068} = 4.9 \text{ м}^3/\text{доб};$$

- для гною коней:

$$Q_{M\_доб} = \frac{1140 \cdot 92}{80.9 \cdot 1119} = 1.1 \text{ м}^3/\text{доб};$$

- для гною овец:

$$Q_{M\_доб} = \frac{390 \cdot 92}{77.6 \cdot 1138} = 0.45 \text{ м}^3/\text{доб};$$

- для гною ВРХ:

$$Q_{M\_доб} = \frac{39220 \cdot 92}{88,3 \cdot 10^3} = 38,2 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Об'єм води, необхідний для додавання до гною для забезпечення вологості

92%, визначається по формулі (2.4):

- до гною коней:

$$Q_B = \frac{1,2 \cdot (92 - 80,9)}{100 - 92} = 1,6 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

- до гною свиней:

$$Q_B = \frac{4,8 \cdot (92 - 89,1)}{100 - 92} = 1,7 \text{ м}^3/\text{доб.};$$

- до гною овець:

$$Q_B = \frac{0,4 \cdot (92 - 77,8)}{100 - 92} = 0,7 \text{ м}^3/\text{доб.};$$

- до гною ВРХ:

$$Q_B = \frac{38,1 \cdot (92 - 88,3)}{100 - 92} = 17,8 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Величина добового об'єму гноївки, необхідна для завантаження в метантенк, по формулі (2.8) становитиме:

- добовий об'єм гноївки коней:

$$Q_M = 1,1 + 1,6 = 2,9 \text{ м}^3/\text{доб.};$$

- добовий об'єм гноївки свиней:

$$Q_M = 4,9 + 1,7 = 6,6 \text{ м}^3/\text{доб.};$$

- добовий об'єм гноївки овець:

$$Q_M = 0,45 + 0,7 = 1,15 \text{ м}^3/\text{доб.};$$

- добовий об'єм гноївки ВРХ:

$$Q_M = 38,2 + 17,8 = 56,0 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

В загальному за добу в ємність метантенка завантажуються субстрату:

$$Q_M = 56,0 + 6,6 + 2,9 + 1,2 = 66,7 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Значення коефіцієнта завантаження ємності метантенка дорівнює  $q=0,8$ , а величина коефіцієнта його спорожнення -  $k=0,35$ .

Очевидно, об'єм метантенка по формулі (2.9) дорівнюватиме:

$$V_M = \frac{66,7}{0,8 \cdot 0,35} = 238 \text{ м}^3.$$

#### 2.4. Методика визначення розмірів метантенка

Обсяг метантенка циліндричної форми отримуємо з формули [16]:

$$V_M = H \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (2.10)$$

де  $H$  – значення висоти метантенка, м;  $D$  – значення діаметра метантенка, м;

$V_M$  – обсяг метантенка, м<sup>3</sup>.

Відношення висоти ферментатора до величини його діаметра розраховують

за виразом:

$$\frac{H}{D} = q. \quad (2.11)$$

Якщо визначати висоту метантенка через значення його діаметра

$$H = a \cdot D \quad (2.12)$$

і використати із виразу (2.12) у вираз (2.10), то отримаємо:

$$V_M = a \cdot D \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}. \quad (2.13)$$

Отже діаметр ферментатора у відповідності до розрахунків становитиме:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_M}{a \cdot \pi}}. \quad (2.14)$$

По формулі (2.12) можна розрахувати висоту метантенка.

Стінки резервуарів монтують методом ролонування у випадку, коли їх площа менша 30000 м<sup>2</sup>, а коли перевищує 30000 м<sup>2</sup>, стінки виготовляють полистовим спо-

собою. Для стандартних листів 1500×6000 мм розмір рулоної стрічки повинен становити 18 або 12 м. З'єднуються листи стінки між собою встик. Ємності, що мають місткість до 4000 м<sup>3</sup> виконуються із листів однієї товщини по всій висоті резервуару, у місткостях з обсягом понад 1000 м<sup>3</sup> - товщина листів зменшується при збільшенні висоти резервуару.

Обшивку резервуара, що зазнає розтягування в радіальному напрямку, розраховують за допомогою методу безмоментної теорії. Всі тимчасово-діючі навантаження вираховуються з показником поєднання  $\chi=0,9$  [17].

Величину тиску  $P_x$  на відстані  $z$  від верхнього краю рідини визначаємо за допомогою виразу [26]:

$$P_x = \gamma_{f1} \cdot \rho_p \cdot g \cdot L + \gamma_{f2} \cdot P_{над}^n \quad (2.15)$$

де  $P_x$  – величина розрахункового тиску на відстані  $z$  від верхнього краю рідини, кН/м<sup>2</sup>;  $\rho_p$  – показник щільності рідини, кг/м<sup>3</sup>;  $P_{над}^n$  – величина нормативного надлишкового внутрішнього тиску, кН/м<sup>2</sup>;  $\gamma_{f1}$ ,  $\gamma_{f2}$  – значення коефіцієнту надійності навантаження;  $g$  – значення прискорення при вільному падінні, м/с<sup>2</sup>;  $L$  – відстань від найвищого рівня субстрату до нижньої границі поясу, м.

Величина коефіцієнту надійності при навантаженні становить:  $\gamma_{f1}=1,1$ ,  $\gamma_{f2}=1,1$ .

Як вказано в СТО-СА-03-002-2009 [32], визначення номінальної товщини стінок ємності відбувається в три етапи:

1) вибір товщини поясів. Для рулонної побудови метантенка за об'єму, меншому 30000 м<sup>3</sup>, у випадку  $D < 16$  м, конструктивно обґрунтована мінімальна товщина стінки дорівнює 4 мм, у випадку  $16 < D < 26$  – 6 мм, у випадку  $25 < D < 36$  – 8 мм, а при значенні  $D > 36$  – 10 мм;

2) при розрахунку необхідно перевіряти товщину стінки на міцність;

3) також перевіряють товщину стінки на стійкість.

Товщину стінки в поясі ємності  $\chi$  потрібно обрати такою, щоб значення різниці

х і від'ємного допуску на листопрокат  $\delta$  було більшим максимальної із цих 3 значень [26]:

$$\left. \begin{aligned} x - \delta &\geq \max(x_c + c) \\ x - \delta &\geq \max(x_g + c) \\ x - \delta &\geq \max(x_k + c) \end{aligned} \right\}, \quad (2.16)$$

де  $x$  – номінальне значення товщини поясу стінки ємності, м;  $c$  – величина допуску на корозію металу, м;  $\delta$  – значення припуску на листопрокат, м;  $x_c$  – величина мінімальної розрахункової товщини стінок в кожному поясі в умовах експлуатації ємності, м;  $x_g$  – величина мінімальної розрахункової товщини стінок в кожному поясі в умовах гідравлічних навантажень, м;  $x_k$  – значення мінімальної конструктивно необхідної товщини стінки, м.

В умовах, коли значення граничних відхилень товщин листових деталей стінки ємності не більші  $\pm 5$  мм, можемо обрати припуск на товщину прокату  $\delta$ . Величина припуску на корозію  $c$  залежна від швидкості протікання корозії металоконструкцій та ступеню агресивності сировини і дорівнює:

- в слабоагресивному середовищі - до 0,05 мм на рік;
- в середньоагресивному середовищі - 0,05-0,5 мм на рік;
- в сильноагресивному середовищі - понад 0,5 мм на рік.

Час служби покриттів для захисту повинен бути більшим 10 років [26].

У зв'язку з тим, що в середовищі присутні сірководень і метан та біогаз, середовище відноситься до сильноагресивного. Отже, значення допуску на корозію  $c$  у ферментаторів повинен перевищувати 5 мм.

Мінімальне значення розрахункової товщини стінки в умовах експлуатації ємності  $x_c$  по формулі [26] дорівнює:

$$x_c = \frac{\gamma_n \cdot D \cdot (10 \cdot \rho_p \cdot g \cdot L + P_{над}^n)}{2 \cdot \sigma_m \cdot \gamma_c}, \quad (2.17)$$

де  $\sigma_t$  – значення границі текучості, Па;  $\gamma_c$  – величина коефіцієнта для умов експлуатації,  $\gamma_n$  – значення коефіцієнта надійності;  $D$  – діаметр ємності, м.

Для смостей I класу значення коефіцієнта надійності  $\gamma$  дорівнює 1,2; для II класу – 1,1; для III класу – 1,05; для IV класу – 1,0.

Величина коефіцієнта умов роботи ус нижнього пояса дорівнює 0,7, для решти поясів – 0,8 [26].

Нормативна величина надлишкового внутрішнього тиску  $P_{над}$  дорівнює 2000 Па [22]. В [26] наведені граничні значення текучості  $\sigma_T$  для сталей.

В ферментаторі відстань від найвищої границі рідини до нижнього краю поясу  $L$ , субстрату відповідно становить:

$$V_p = q \cdot V_m, \quad (2.18)$$

де  $V_p$  – обсяг рідини в ферментаторі,  $m^3$ .

Відстань від нижнього краю поясу  $L$  до найвищого рівня рідини дорівнює:

$$L = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_p \cdot a^2}{\pi}}, \quad (2.19)$$

Отже, значення коефіцієнта  $q$  перебуває в діапазоні 0,8–0,95 [26].

Мінімальну товщина стінки поясів для гідравлічного випробування  $x_g$  визначаємо за допомогою виразу [26]:

$$x_g = \frac{1,1 \cdot D \cdot \rho_p \cdot g \cdot L}{2 \cdot \sigma_m \cdot \gamma_c}, \quad (2.20)$$

де  $\rho_p$  – показник густини води для гідравлічних випробувань,  $kg/m^3$ .

Промисловість виготовляє такі стандартні значення товщини прокатних листів: 1; 2; 3; 4; 5, а також 6–20 мм з кроком 2 мм [26].

Характеристики міцності стінок метантенка визначаються по формулі [26]:

$$\sigma_3 \leq \frac{\sigma_m \cdot \gamma}{\gamma_n}. \quad (2.21)$$

$\sigma_3$  (в Па) вираховується за допомогою виразу [22]:

$$\sigma_3 = \frac{D \cdot (1,1 \cdot \rho_p \cdot g \cdot L + P_{над}^H)}{2 \cdot x_g}, \quad (2.22)$$

де  $x_p$  – значення товщини стінки в умовах можливої корозії, враховуючи допуски на прокат, м.

По формулі [26] визначаємо товщину листа для стінки  $x_p$

$$x_p = x - \delta - c, \quad (2.23)$$

По формулі [26] проводим розрахунки стінок ферментатора на стійкість:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq \eta. \quad (2.24)$$

де  $\sigma_{cr1}$  – величина критичного нормального напруження, Н;  $\sigma_1$  – показник розрахункового меридіального напруження в поперечному перетині ємності, Н;  $\sigma_{cr2}$  – значення критичного кільцевого напруження, Н;  $\sigma_2$  – величина розрахункового кільцевого напруження в обечайці, Н.

Величину меридіального напруження  $\sigma_1$  для нижнього краю ділянки стінок визначаємо за допомогою виразу [26]:

$$\sigma_1 = \frac{1,05M_0 + 0,95(1,05M_0 + 1,05M_y)}{\pi \cdot D \cdot x_p} + \frac{D(0,95P_s + 1,14P_{вак})}{4 \cdot x_p}, \quad (2.25)$$

де  $M_0$  – маса основного обладнання, кг;  $M_y$  – маса утеплюючого матеріалу, кг;  $M_m$  – маса металевого каркасу вище розрахункової позначки (даху та верхньої частини стіни), кг;  $P_s$  – критичний розрахунковий показник навантаження снігу на поверхню споруди, Па;  $P_{вак}$  – нормативна величина вакууму, Па.

Зазначаємо, що нормативна величина вакууму  $P_{вак}$  у метантенків дорівнює 250 Па [26].

По формулі враховуємо вагу металевого каркасу вище розрахункової позначки  $M_m$ :

$$M_m = \Pi \cdot H \cdot x \cdot \rho_{ст} + S \cdot x \cdot \rho_{ст}, \quad (2.26)$$

де  $S$  – величина площі покрівлі ферментатора, м<sup>2</sup>;  $\Pi$  – довжина периметра ферментатора, м;  $\rho_{ст}$  – показник щільності сталю прокату, кг/м<sup>3</sup>.

Після поєднання виразів (3.25) і (3.26), отримуємо масу металевих конструкцій каркасу вище розрахункової позначки  $M_m$ , і вона дорівнюватиме:

$$M_m = \pi \cdot D \cdot \rho_{cm} \cdot x \cdot \left( H + \frac{D}{4} \right) \quad (2.27)$$

Показник щільності сталі дорівнює  $\rho_{cm} = 7850 \text{ кг/м}^3$ .

Маса утеплювача  $M_y$  визначається по формулі:

$$M_y = \pi \cdot D \cdot \rho_y \cdot x_y \cdot \left( H + \frac{D}{4} \right) \quad (2.28)$$

де  $\rho_y$  – щільність утеплювача,  $\text{кг/м}^3$ ;  $x_y$  – товщина утеплювача,  $\text{кг/м}^3$ .

Довідкові дані відносно щільності різних видів утеплювачів  $\rho_{cm}$  наведені в [26].

Розрахункове снігове навантаження  $P_s$  визначається за виразом [26]:

$$P_s = P_{s0} \cdot C \cdot \gamma_f \quad (2.29)$$

де  $C$  – значення коефіцієнта, що характеризує перехід від навантаження снігу на землі до навантаження снігу на покритті, враховуючи його нерівномірний розподіл в залежності від рельєфу покриття;  $P_{s0}$  – показник нормативного поверхневого снігового навантаження на  $1\text{м}^2$  площинної поверхні землі, Па;  $\gamma_f$  – значення коефіцієнта надійності за межами значення навантаження снігом. Величина нормативного поверхневого снігового навантаження на  $1\text{м}^2$  площинної поверхні землі  $P_0$  розраховується за виразом [26].

Значення коефіцієнту надійності за межами граничних розрахункових значень навантаження від снігу  $\gamma_f$  зображено в табл. 2.1

Таблиця 2.1

Значення коефіцієнту надійності за межами граничних розрахункових

значень снігового навантаження  $\gamma_f$  [26]

$T$ , років	500	300	200	150	100	80	60	50	40	20	10	5	1
$\gamma_{fm}$	1,44	1,34	1,26	1,22	1,14	1,10	1,04	1,00	0,96	0,83	0,69	0,55	0,24

Методом лінійної інтерполяції визначаємо певну кількість значень коефіцієнта  $\gamma_f$ .

Величина критичного напруження  $\sigma_{cr1}$  обирається меншою із двох величин [26]:

$$\sigma_{cr1} = \psi \cdot \sigma_m \text{ або } \sigma_{cr1} = \frac{2 \cdot a \cdot E \cdot x}{D} \quad (2.30)$$

де  $\psi$ ,  $a$  – коефіцієнти;  $E$  – значення модуля пружності для сталі, Па.

Отже, значення модуля пружності для сталі  $E$  дорівнює  $2 \cdot 10^5$  МПа.

Значення коефіцієнта  $a$  обираємо із табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Значення коефіцієнта  $a$  [22]

$D/2x$	2500	1500	1000	800	600	400	300	200	100
$A$	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,14	0,16	0,18	0,22

Значення коефіцієнта  $\psi$  при  $0 < D/2x \leq 300$  вираховуємо з виразу [26]:

$$\psi = 0,97 - \left( 0,00025 + 0,95 \cdot \frac{\sigma_m}{E} \right) \cdot \frac{D}{2 \cdot x} \quad (2.31)$$

В обечайці  $\sigma_2$  розрахункове кільцеве напруження отримується по формулі

[22]:

$$\sigma_2 = \frac{D \cdot (0,45 \cdot P_{crit} + 1,14 \cdot P_{calc})}{2 \cdot x_p} \quad (2.32)$$

де  $P_{crit}$  – критична розрахункова величина навантаження від вітру на висоті верхньої точки біореактора, Па.

По формулі [38] розраховується критична величина навантаження від вітру на висоті верхньої точки біореактора  $P_{crit}$ :

$$P_{crit} = P_{crit0} \cdot U \cdot \gamma_v \quad (2.33)$$

де  $U$  – коригуючий коефіцієнт;  $P_{crit0}$  – величина характеристичного значення тиску вітру, Па;

$\gamma_v$  – значення коефіцієнта надійності за критичним розрахунковим значенням

навантаження вітру.

Коефіцієнт, характеризуючий вітровий тиск  $R_{\text{віт } 0}$ , відповідає середньому показнику вітру на відстані 10 м від поверхні землі. Його перевищення може статися лише один раз в 50 років. Величина тиску вітру  $R_{\text{віт } 0}$  розраховується в залежності від вітрової області [26].

За критичної розрахункової величини вітрового навантаження  $\gamma_v$  значення коефіцієнта надійності  $T$  визначається в залежності від певної середньої періодичності повторень (табл. 2.3.)

Таблиця 2.3

Значення коефіцієнт надійності за критичними розрахунковими показниками від снігового навантаження  $\gamma_v$  [26]

$T$ , років	500	300	200	150	100	70	50	40	25	15	10	5
$\gamma_v$	1,45	1,35	1,28	1,22	1,14	1,07	1,00	0,96	0,87	0,77	0,69	0,55

Проміжні показники коефіцієнта  $\gamma_v$  розраховуємо за допомогою способу лінійної інтерполяції. Період повторності  $T$  приймаємо таким, який відповідає визначеному часу експлуатації конструкції.

Значення коефіцієнту  $U$  становить 1 [26].

Для резервуару циліндричної форми величина критичного кільцевого напруження  $\sigma_{\text{сГ}2}$  визначається:

1) в умовах  $0,5 < 2H/D \leq 10$

$$\sigma_{\text{сГ}2} = 0,55 \cdot E \cdot \left( \frac{D}{2 \cdot H} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot x}{D} \right)^{1,5}; \quad (2.34)$$

2) в умовах  $2H/D > 20$

$$\sigma_{\text{сГ}2} = 0,17 \cdot E \cdot \left( \frac{2 \cdot x}{D} \right)^2; \quad (2.35)$$

3) в умовах  $10 < 2H/D < 20$  величина критичного кільцевого напруження  $\sigma_{\text{сГ}2}$

встановлюється інтерполяцією.

Зазначаємо, що конструкція стінки ферментатора включає лише одне основне ребро жорсткості у вигляді кільця, яке встановлене у верхній частині ємності [26].

## 2.5. Розрахунок конструкційних параметрів метантенка

Ми обираємо метантенк циліндричної форми для біогазової установки, будівництво якої передбачається у ФГ "Перлина Турії", по причині найнижчої вартості.

Проблему з утворенням на поверхні субстрату кірки вирішимо за допомогою використання механічних мішалок. Для будівництва метантенка застосовуємо листову

сталь, покриту бітумною мастикою з середини. Ємність ферментатора буде встановлена на бетонний фундамент, матеріал для ємності надходить у вигляді зварених з листового заліза ролонів.

Проаналізувавши попередній досвід, можна зробити висновки, що немає необхідності в захисті ємності із середини в районі перебування гноїви. В районі поступання злегка кислої свіжої гноївки, де має місце кисень і в граничному районі між гноївкою та газом можливе виникнення корозійного ефекту. Для більшої гарантії можливе покриття цієї ділянки хорошої якості багатошаровою бітумнимною мастикою.

Необідна ізоляція ферментаторів, які підпадають під вплив несприятливого навколишнього середовища. Щоб ізолювати ферментатор, який будується для ФГ "Перлина Турії", застосовують обшивку з алюмінію.

Коли матеріал для ізоляції є стійким, значить листи з металопрофілю можемо монтувати без нижньої обшивки, безпосередньо на шар ізоляції. Завдяки тому, що

металопрофільні листи достатньо легко згинаються, їх кріплять горизонтально, а місця стиків з'єднуються потайними швами. Додатково стики можна укріпляти силіконкаучуковими або іншими еластичними ущільнюючими матеріалами. Приєднання трубопроводів, оглядові вікна чи інші складові повинні бути обшиті жестяним матеріалом. Газгольдер виготовляється у вигляді ковпака із еластичної плівки,

він суміщений з біореактором [40].

Накриття біореактора ковпаком із плівки, який буде виконувати функції накопичувача газу, має значні переваги. По-перше, дає можливість при необхідності повністю розкрити ємність. По-друге, ковпак з еластичної плівки відіграє роль накопичувача газу. Основний його недолік - обмеження контролю над процесом.

Установка для вироблення біогазу завдяки покриттю з полімерної плівки з центральною опорою спроможна накрити ємність діаметром біля 30 м. Скріплені між собою листи ПВХ-тканини не допускають викиди неприємних запахів в атмосферу з ємностей з гноівкою. Матеріалом для ковпаків слугують покриття з хімволокна ПВХ, переваги цього матеріалу - значна міцність, що дає можливість у накопичувачах витримувати тиск біля 0,016 атм, що дозволяє роботу атмосферних палників. Важлива перевага ковпаків із плівки середніх розмірів є можливість використовувати їх за відсутності внутрішнього тиску, отримують його від дії компресора.

Плівковий ковпак кріпиться на резервуарі натяжними ременями. Ущільнюється він на краю резервуара завдяки розміщеній всередині другої зв'язі, її пригвинчують до стінки на таку довжину, щоб вона не пропускала газ. Така конструкція газгольдерів передбачає шахту для обслуговування, виконану з нержавіючої сталі, яка має отвір для проведення ремонтно-профілактичних робіт. Зазвичай шахта оснащується оглядовим вікном, приладами для вимірювання необхідних параметрів, підключенням газу [40].

Товщина плівкового матеріалу становить 2 мм, а його щільність - 196 кг/м<sup>3</sup>, значення коефіцієнта теплопровідності дорівнює 0,048 Вт/м·К.

Для утеплення ємності задіюють жорсткі плити з мінеральної вати завтовшки 80 мм і величиною щільності 225 кг/м<sup>3</sup>, значення коефіцієнту теплопровідності його 0,053 Вт/м·К.

Відношення висоти біореактора до його довжини а становить 0,5.

Визначаємо діаметр біореактора по формулі (2.14) і це становитиме:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 238}{0,5 \cdot 3,14}} = 8,46 \text{ м.}$$

За допомогою виразу (3.12) обчислюємо висоту біореактора:

$$H = 0,5 \cdot 8,46 = 4,23 \text{ м.}$$

Визначаємо товщину стінки, базуючись на умовах необхідної конструктивної міцності. Товщину розраховуємо за допомогою виразу (2.16). Значення допуску на прокат  $\delta$  обираємо в межах  $\pm 1$  мм. Середовище в біореакторах агресивне, що означає припуск на корозію  $s$  дорівнює 0,5 мм за рік. Відомо, що стіни метантенка будуть виготовлятися з рулонної сталі, то при значенні діаметра  $D < 16$  м гранично необхідна величина товщини стінки  $x_k$  не повинна бути меншою 5 мм, - 0,005 м.

Метантенк належить до ємностей 1 класу надійності, що означає, що значення коефіцієнта надійності  $\gamma_p$  дорівнює 1,2, а величина коефіцієнта умов експлуатації  $\gamma_s$  становить 0,7. Ємність виготовляється із рулонної корозійно-стійкої товстолистової сталі 15Х5М, гранична величина текучості цієї сталі  $\sigma_t$  дорівнює 236 МПа, а величина нормативного надлишкового внутрішнього тиску  $P_{нн}$  над дорівнює 2,0 МПа. Значення коефіцієнта заповнення ферментатора  $q$  дорівнює 0,8, отже обсяг рідини в ємності  $V_p$  дорівнюватиме:

$$V_p = 0,8 \cdot 237 = 189 \text{ м}^3.$$

Віддаль від верхнього рівня субстрату до нижнього краю дорівнюватиме:

$$L = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 189 / 0,5^2}{3,14}} = 3,92 \text{ м.}$$

За допомогою виразу (2.17) розраховуємо мінімальну товщину стінки в усіх поясах в умовах використання ємності  $x_c$ . Значення густини суміші гноївки різних тварин визначається як середня величина:

$$\rho_p = \frac{(\rho_{p1} \cdot A_1 + \rho_{p2} \cdot A_2 + \rho_{p3} \cdot A_3 + \rho_{p4} \cdot A_4 + \rho_e \cdot A_e)}{\sum A}, \quad (2.36)$$

де  $\rho_{p1}, \rho_{p2}, \rho_{p3}, \rho_{p4}$  – значення густини гною тварин різних видів,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_e$  – значення густини води,  $\text{кг/м}^3$ ;  $A_1, A_2, A_3, A_4$  – частка гною різних тварин в гноївці, %;  $A_e$  –

частка води в гоївці, %.

Вміст гною коней становитиме 2%, корів – 58%, овець – 1%, свиней – 7%,  
води – 32%.

Отже, показник густини суміші гною відповідно розрахункам становитиме:

$$\rho_p = \frac{(1119 \cdot 2 + 1068 \cdot 7 + 1073 \cdot 58 + 1138 \cdot 1 + 1000 \cdot 32)}{100} = 1050 \text{ кг/м}^3.$$

Мінімальне значення товщини стінки резервуару в кожному з поясів в умовах використання резервуару  $x_c$  по формулі (2.17) дорівнюватиме:

$$x_c = \frac{1,2 \cdot 8,45 \cdot (1,1 \cdot 1050 \cdot 9,8 \cdot 3,92 + 2000)}{2 \cdot 235000000 \cdot 0,5} = 0,0014 \text{ м} = 1,4 \text{ мм}.$$

В умовах гідравлічних випробувань  $x_g$  по формулі (3.30) знаходимо мінімальну розрахункову товщину стінки в кожному з поясів. Оскільки значення густини води  $\rho_v$  дорівнює 1000 кг/м<sup>3</sup>,  $x_g$  виконуємо наступні розрахунки:

$$x_g = \frac{1,1 \cdot 8,45 \cdot 1000 \cdot 9,8 \cdot 3,92}{2 \cdot 235000000 \cdot 0,5} = 0,0011 \text{ м} = 1,1 \text{ мм}.$$

Щоб визначити товщину стінки у відповідності до умов мінімальної товщини та міцності, необхідно в вираз (2.16) підставити максимальне значення із визначених  $x_c$ ,  $x_g$  і  $x_k$ . Воно становитиме  $\epsilon x_k = 0,005 \text{ м}$ :

$$x = 0,005 + 0,001 + 0,0005 = 0,0065 \text{ м} = 6,5 \text{ мм}.$$

Обираємо із стандартного ряду лисопрокату рулони завтовшки 8 мм.

По формулі (3.21) виконуємо перевірку стінок метантенка на показник міцності.

Отже, по формулі (2.23) визначаємо товщину стінки ферментатора з допусками на прокат в умовах можливої корозії  $x_p$ :

$$x_p = 8 - 0,5 - 1 = 6,5 \text{ мм}.$$

Отже величина напруження  $\sigma_3$  по формулі (2.22) дорівнюватиме:

$$\sigma_3 = \frac{8,45 \cdot (1,1 \cdot 1050 \cdot 9,8 \cdot 4,22 + 2000)}{2 \cdot 0,0065} = 30160305 \text{ Па} \approx 30,2 \text{ МПа}.$$

Вираз по формулі (2.21)  $\sigma_m \cdot \gamma_c / \gamma_n$  матиме вигляд:

$$\frac{\sigma_m \cdot \gamma_c}{\gamma_n} = \frac{235000000 \cdot 0,5}{1,2} = 402857143 \text{ Па} \approx 403 \text{ МПа}$$

З розрахунку очевидно, що стінка метантенка міцна, так як  $\sigma_3 < \sigma_m \cdot \gamma_c / \gamma_n$ .

Підтверджуємо міцність стінки реактора і проводимо за допомогою виразу (2.24). Для визначення розрахункового меридіального напруження  $\sigma_1$  для поперечного перерізу обечайки, нам необхідно обчислити масу стаціонарного обладнання  $M_0$ , масу металоконструкції, розміщеної вище розрахункового значення  $M_m$ , критичний розрахунковий показник навантаження снігу на дах метантенка  $P_s$ , масу утеплюючого матеріалу  $M_y$  та нормативну величину вакуума  $P_{\text{нвк}}$ .

Нормативна величина вакууму  $P_{\text{нвк}}$  для ферментатора дорівнює 250 Па [35].

За допомогою виразу (2.27) визначаємо масу металоконструкції вище розрахункового значення  $M_m$  з показником густини сталі  $\rho_{\text{ст}} = 7850 \text{ кг/м}^3$ :

$$M_m = 3,14 \cdot 8,45 \cdot 7850 \cdot 0,0065 \cdot \left( 4,22 + \frac{8,45}{4} \right) = 10558 \text{ кг.}$$

Визначаємо масу основного обладнання, люків, перемішувачів пристроїв з електродвигунами, рівнеміри. Маса основного обладнання  $M_0$ , розміщеного на метантенку дорівнює 360 кг.

Для утеплення використовуємо плити з мінеральної вати з показником щільності  $225 \text{ кг/м}^3$  та з товщиною 80 мм. Вага утеплюючого матеріалу  $M_y$  по формулі (2.28) дорівнює:

$$M_y = 3,14 \cdot 8,45 \cdot 225 \cdot 0,08 \cdot \left( 4,22 + \frac{8,45}{4} \right) = 2017 \text{ кг.}$$

По формулі (2.29) розраховується критичне розрахункове навантаження снігу на поверхню ферментатора  $P_s$ .

Із [26] величина нормативного поверхневого снігового навантаження на 1 м<sup>2</sup> горизонтальної площини  $P_0$  дорівнює 1550 Па/м<sup>2</sup>. Для ферментатора з розрахунковим терміном експлуатації 20 років величина коефіцієнта надійності навантаження снігу  $\gamma_f$  з табл. 3.1 дорівнює 0,83

Значення коефіцієнту переходу від навантаження снігу на землі до навантаження снігу на покрівлю в залежності від форми покрівлі  $C$  для ферментатора з дахом, що приймає форму сфери під дією метану, встановлений кут нахилу  $\alpha = 50^\circ$  (рис. 3.1), дорівнює [26]:

$$C = \cos(1,8\alpha) = \cos\left(1,8 \cdot \frac{\pi \cdot 50}{180}\right) = 0,0008.$$

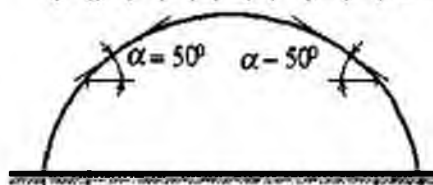


Рис. 2.1. Схема покрівлі біореактора для розрахунку коефіцієнта навантаження снігу

Критична величина розрахункового снігового навантаження на даху конструкції  $P_s$  по формулі (2.29) дорівнюватиме:

$$P_s = 1550 \cdot 0,0008 \cdot 0,83 = 1 \text{ Па.}$$

За допомогою виразу (2.25) визначаємо величину меридіального напруження  $\sigma_l$  для поперечного перетину обечайки від напружень, направлених по осі обечайки та дорівнює:

$$\sigma_l = \frac{1,05 \cdot 10558 + 0,95(1,05 \cdot 350 + 1,05 \cdot 2017) + 3,14 \cdot 8,45 \cdot 0,0065 + 8,45 \cdot (0,95 \cdot 1 + 1,14 \cdot 250)}{4 \cdot 0,0065} = 170666 \text{ Па} \approx 0,17 \text{ МПа}$$

Величина критичного нормального напруження  $\sigma_{\text{ГІ}}$  обирається меншим із двох величин, які знаходимо по формулам (2.30). В них значення модуля пружності для сталі  $E$  дорівнює 2105 МПа, а значення коефіцієнта  $a$  за  $D/2x = 680$  із табл. 2.2 дорівнює 0,105.

Значення коефіцієнта  $\psi$  по формулі (2.31) становитиме:

$$\psi = 0,97 \left( 0,00025 + 0,95 \cdot \frac{235000000}{2 \cdot 10^{11}} \right) \cdot 680 = 0,08$$

Отже, по формулі (2.30)  $\sigma_{cr1}$  дорівнюватиме:

$$\sigma_{cr1} = 0,08 \cdot 235000000 = 19272747 \text{ Па, і}$$

$$\sigma_{scr} = \frac{2 \cdot 0,105 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,008}{8,45} = 3976636 \text{ Па.}$$

Обираємо менше із отриманих значень – 19272747 Па, тобто 19 МПа.

Для знаходження розрахункового кільцевого напруження в ємності  $\sigma_2$  по формулі (2.32), необхідно знайти граничну розрахункову величину навантаження вітром на висоті даху метантенка  $P_{віт}$ . Розраховуємо його по формулі (2.33).

Характеристична величина тиску вітру  $P_{віт0}$  для Київської обл. дорівнює 370 Па. Значення коефіцієнта  $U$  обирається рівним 1, а величина коефіцієнта надійності критичного розрахункового значення для навантаження снігом  $\gamma_v$  в табл. 3.3 для ферментаторів з визначеним терміном служби 20 років дорівнює 0,82.

Отже, критичне розрахункове значення навантаження вітру на рівні даху ферментатора  $P_{віт}$  є:

$$P_{віт} = 370 \cdot 1 \cdot 0,82 = 303 \text{ Па.}$$

Величина кільцевого розрахункового напруження в оболонці ємності  $\sigma_2$  по формулі (2.32) дорівнює:

$$\sigma_2 = \frac{8,45 \cdot (0,45 \cdot 303 + 1,14 \cdot 250)}{2 \cdot 0,0065} = 273972 \text{ Па} \approx 0,27 \text{ МПа.}$$

Враховавши, що  $2H/D=1$ , величина критичного кільцевого напруження  $\sigma_{cr2}$  для метантенка циліндричної форми розраховується за допомогою виразу (2.34) і дорівнюватиме:

$$\sigma_{cr2} = 0,55 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot \left( \frac{8,45}{2 \cdot 4,22} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,008}{8,45} \right)^{1,5} = 9064472 \text{ Па} \approx 91 \text{ МПа.}$$

По формулі (2.24) перевіряємо вірність виконання умови:

НУВІП І УКРАЇНИ

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} = \frac{0,17}{19} + \frac{0,27}{91} = 0,012,$$

це менше  $\gamma_c=0,7$ , що доводить: стінка ємності стійка до навантажень.

## 2.6. Вибір перемішуючого пристрою для гомогенізації субстрату та визначення її конструкційно-технологічних параметрів

На практиці субстрат в метангенку переміщується кілька разів на добу з метою отримання наступних ефектів:

- змішування свіжої порції субстрату з затравочною для розмноження і переселення в новий матеріал активної мікрофлори;
- недопущення створення кірки на поверхні субстрату та її руйнування;
- прискорення обміну речовин мікрофлори із-за виходу бульбашок газу і подачі свіжих поживних речовин;
- рівномірний розподіл тепла для підтримання стабільного температурного режиму в субстраті.

Без використання перемішувачів в ємності відбувається хаотичне перемішування під дією конвекційних термічних течій і газових бульбашок, що піднімаються.

Зрозуміло, що такий пасивний перемішуючий режим достатній лише для досить гомогенних, текучих середовищ, наприклад, для стічних вод, що не характерно для сільського господарства. Необхідні режими перемішування обираються експериментальним шляхом для кожної установки з отримання біогазу індивідуально. Під час запуску необхідне частіше перемішування, в звичайному режимі зменшується його частота, необхідно відслідковувати утворення плаваючої кірки [40].

### 2.6.1) Методика вибору перемішуючого пристрою для ферментатора великого обсягу

В ряді випадків раціональніше застосувувати багатоприводні схеми для пере-

мішування субстрату. Характеристики руху під час перемішування рідини в ферментаторах багатопровідними перемішувачами аналогічні характеристикам руху в ферментаторах, які створює одна розташована по центру мішалка. Тому розрахунок гідродинамічних характеристик цих установок зводиться до того, що реальну сукупність перемішувачів можна замінити центрально розміщеним перемішувачем, котрий за того ж самого крутного моменту створює ідентичний характер окружної швидкості. Величина радіуса мішалки за умови рівності значень діаметрів периферійних та центральних перемішувачів дорівнює [2]:

$$d_e = 1,25 \cdot z_{цп} \cdot d_{цп} \quad (2.37)$$

де  $d_e$  – величина радіуса мішалки, м;  $z_{цп}$  – число центральних та периферійних перемішувачів, м.  $d_{цп}$ ,  $d_{пцп}$  – значення радіуса центрального і периферійного перемішувача, м.

Кількість перемішувачів  $z_{пцп}$  та значення їх діаметрів  $d_{пцп}$  розраховується як [2]:

$$z_{пцп} \cdot d_{пцп} = \frac{d_e}{1,25} \quad (2.38)$$

## 2.6.2. Вибір перемішуючого пристрою для ферментатора біогазової установки ФГ "Перлина Турії" та визначення її конструкційно-технологічних параметрів

Для перемішування виробленого в метантенку біогазу в біогазовій установці ФГ "Перлина Турії" обираємо дешеву і не складну в обслуговуванні лопатеву мішалку, оснащену трьома лопатями, які закріплені під кутом  $30^\circ$  до горизонту. Лопатеві перемішувачі використовують для дещо малого об'єму рідини, що міститься безпосередньо близько до неї, тому на валу монтуються декілька рядів перемішувачів.

### 2.6.2.1. Методика визначення конструкційних параметрів трилопатевої мішалки

За нижче вказаними формулами знаходимо геометричні характеристики трилопатевого перемішувачів [27]:

- величина діаметра мішалки:

$$d_M = (0,19 - 0,44)D, \quad (2.39)$$

де  $d_M$  – величина діаметра мішалки, м;

$D$  – величина діаметра метантенка, м;

- висота лопаті перемішувача:

$$B = 0,08D, \quad (2.40)$$

де  $b$  – висота лопаті перемішувача, м;

- віддаль від нижньої точки лопаті перемішувача до днища резервуару:

$$h_M = 0,17d_M, \quad (2.41)$$

де  $h_M$  – віддаль від нижньої точки лопаті перемішувача до днища резервуару, м;

- віддаль між мішалками, закріпленими на валу:

$$L_M = 0,9d_M, \quad (2.42)$$

де  $L_M$  – віддаль між мішалками, закріпленими на валу, м;

- кількість перемішувачів, закріплених на валу:

$$k_M = \frac{H_0 + h_M}{L_M}, \quad (2.43)$$

де  $k_M$  – кількість перемішувачів, закріплених на валу, шт;

$H_0$  – висота стовпа сировини в резервуарі, м.

Висота стовпа сировини в резервуарі  $H_0$  розраховується за допомогою виразу:

$$H_0 = \frac{4 \cdot V_p}{3,14 \cdot D^2}, \quad (2.44)$$

де  $V_p$  – обсяг субстрату в резервуарі, м<sup>3</sup>;

$V_p$  розраховується по формулі (3.18).

Величину окружної швидкості лопатевої мішалки  $\omega$  рекомендовано обирати в межах 1,6-5 м/с [27]

### 2.6.2.2. Методика встановлення потужності мішалки

Під час ламінарного руху потужність, витрачена на перемішування субстрату механічним перемішувачем, описується виразом [27]:

$$N_M = K_N \cdot \psi \cdot \text{Re}_{\text{ВЦ}} \cdot \mu_c \cdot n^2 \cdot d_M^3 \quad (2.45)$$

де  $K_N$  – значення критерія потужності;  $N_M$  – величина розрахункової потужності, яку використовує мішалка для перемішування субстрату, Вт;  $\text{Re}_{\text{ВЦ}}$  – значення відцентрового критерія Рейнольда;  $\psi$  – величина поправочного коефіцієнта, залежного від геометричних параметрів мішалки і резервуару.

В умовах турбулентного і перехідного руху значення розрахункової потужності  $N_M$ , яку споживає мішалка на виконання перемішування, розраховуються по формулі [10]:

$$N_M = K_N \cdot \psi \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_M^5 \quad (2.46)$$

де  $\rho_c$  – величина щільності субстрату, кг/м<sup>3</sup>;

Формула (2.46) характеризує випадок розміщення на валу лише однієї трилопатевої мішалки, у випадку розміщення кількох мішалок, отриману величину потужності потрібно помножити на число мішалок.

Значення відцентрового критерія Рейнольда  $\text{Re}_{\text{ВЦ}}$  знаходиться по формулі [38]:

$$\text{Re}_{\text{ВЦ}} = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_M^2}{\mu_c} \quad (2.47)$$

де  $\mu_c$  – показник динамічного коефіцієнта в'язкості сировини, Па·с;  $\text{Re}_{\text{ВЦ}}$  – значення відцентрового критерія Рейнольда.

Стійкість ламінарного режиму під час перемішування спостерігається в умо-

вах  $Re_{ВЦ} < 10$ . В умовах  $Re_{ВЦ} > 1000$  створюється стійка турбулентність перемішування [2; 10]. Перехідні умови спостерігаємо при значенні  $Re_{ВЦ} = 10-1000$  [2].

Якщо утворилася воронка, вираз (3.46) має такий вигляд [27]:

$$N_M = K_N^{0,75} \cdot \psi \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_M^5 \cdot \left( \frac{n^2 \cdot d_M}{g} \right)^{\frac{\phi - \lg Re_{ВЦ}}{p}}, \quad (2.48)$$

де  $\phi$  і  $p$  – значення параметрів.

Величина показника  $\phi$  для лопатевих перемішувачів знаходиться за виразом:

$$\phi = \begin{cases} -1,4 \cdot \frac{D}{d_M} + 6,32 \text{ при } D/d_M = 3 - 4,5 \\ -0,55 \cdot \frac{D}{d_M} + 3,76 \text{ при } D/d_M > 3 \end{cases} \quad \begin{matrix} R^2 = 0,9999 \\ R^2 = 0,9944 \end{matrix} \quad (2.49)$$

Величину критерія потужності  $KN$  трилопатєвого перемішувача знаходимо із графіка залежності  $KN(Re_{ВЦ})$ , отриманого експериментальним шляхом, представленого формулою [27].

Значення поправочного коефіцієнта  $\psi$  визначаємо як:

$$\psi = \psi_\alpha \cdot \psi_H \cdot \psi_m, \quad (2.50)$$

де  $\psi_m$  – значення поправочного коефіцієнта, що характеризує дію місцевих опорів у ферментаторі (крім відбійних ребер) на потужність під час перемішування;

$\psi_\alpha$  – значення поправочного коефіцієнта, що характеризує вплив величини кута

нахилу лопаті перемішувача на потужність під час перемішування;  $\psi_H$  – значення

поправочного коефіцієнта, що характеризує дію висоти стовпа субстрату в ємності на потужність під час перемішування.

Коефіцієнт  $\psi_\alpha$ , який характеризує вплив кута розміщення лопатей перемішувача на потужність під час перемішування, визначається по формулі [27]:

$$\psi_\alpha = (\sin \alpha)^{1,2}, \quad (2.51)$$

де  $\alpha$  – кут розміщення допатеї мішалки.

В нашому випадку  $H_0 < D$ , коефіцієнт  $\psi_H$ , що характеризує дію висоти стовпа субстрату в ємності, не враховуємо.

Значення поправочного коефіцієнта  $\psi_m$ , що характеризує дію місцевих опорів на зміну потужності під час перемішування, розраховується як добуток значень коефіцієнтів опорів даних пристроїв:

$$\psi_m = \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \dots \cdot \xi_i. \quad (2.52)$$

Значення коефіцієнтів опорів складових, які розміщені в метантенку, такі: для плоского змійовика, виготовленого із труби  $d_t = (0,03-0,05)D$ , розміщеного біля дна ємності – 2,5-3,0; змійовика, розміщеного уздовж стінок ємності – 2,0.

По формулі [20] визначаємо частоту обертання перемішувача  $n$ .

$$n = \frac{\omega}{\pi \cdot d_M}, \quad (2.53)$$

де  $\omega$  – величина окружної швидкості мішалки, м/с.

Крім втрат потужності на процес перемішування субстрату, потужність також втрачається в ущільнюючих опорах [5]:

$$N_V = 1,48 \cdot f_V \cdot n \cdot d_B^2 \cdot l_V \cdot P, \quad (2.54)$$

де  $N_V$  – величина потужності, що втрачається в ущільнюючих опорах, Вт;  $f_V$  – величина коефіцієнта тертя вала по поверхні ущільнювача;  $d_B$  – значення діаметра вала, м;  $l_V$  – довжина ущільнюючої опори, м;  $P$  – величина тиску в метантенку, Па.

Значення коефіцієнта тертя вала по поверхні ущільнювача  $f_V$  при застосуванні ущільнювача з м'якою набивкою дорівнює 0,2 [5], з фторопластовою набивкою – 0,1, з азбестопроволочною набивкою – 0,3, з азбестовою – 0,15 [5].

Тому сумарна потужність електричного двигуна, що приводить в дію мішалку в біореакторі розраховується як сума втрат потужностей на перемішування субстрату та в ущільнювачах.

В розрахунку врахована ККД електропривода та можлива втрата потужності

на пробуксовування роликів:

$$N = \frac{N_M + N_V}{\eta}, \quad (2.55)$$

де  $N$  – сумарна потужність електричного привода, Вт;  $\eta$  – ККД електричного привода.

# НУБІП України

### 2.6.2.3. Визначення конструкційно-технологічних параметрів

мішалки ферментатора біогазової установки ФГ "Черлина Турії"

# НУБІП України

По формулі (2.44) розраховуємо висоту стовпа сировини в ферментаторі, яка дорівнює:

$$H_0 = \frac{4 \cdot 189}{3,14 \cdot 8,45^2} = 3,4 \text{ м.}$$

Величину діаметра еквівалентної мішалки розраховуємо по формулі (2.39) (значення коефіцієнта - 0,3):

$$d_M = 0,3 \cdot 8,45 = 2,53 \text{ м.}$$

# НУБІП України

Значення діаметра і кількість перемішувачів для еквівалентної мішалки обираємо з співвідношення (2.37). Для цього розраховуємо значення  $1,25 \cdot d_e$ , воно дорівнює 2,03. Визначаємо величину діаметра трилопатевої мішалки - 900 мм.

Необхідно, щоб  $z_{щ} \cdot d_{щ}$  дорівнював або перевищував значення  $1,25 \cdot d_e$ . Цій вимозі задовольняє розміщення в біореакторі трьох перемішувачів, тобто

# НУБІП України

$$z_{щ} = 3.$$

Із [1] обираємо трилопатеву мішалку 01 моделі (рис. 2.2) з наступними характеристиками:

# НУБІП України

- величина діаметра перемішувача  $d_M$  – 900 мм;

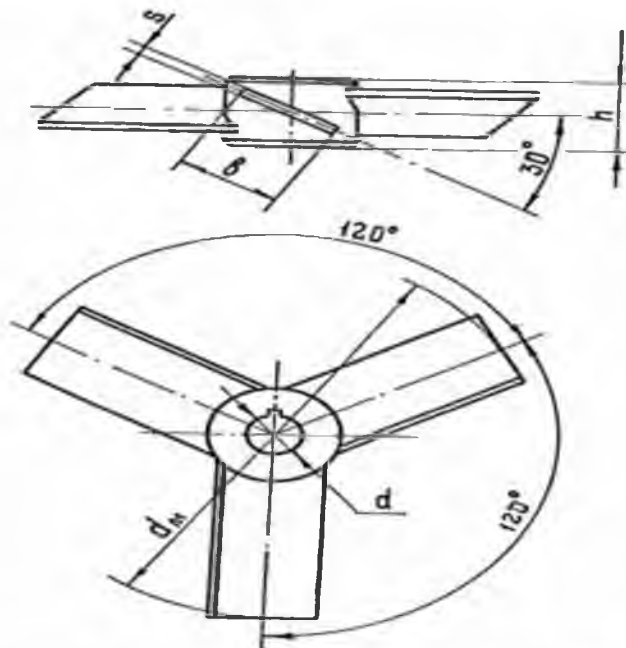
# НУБІП УКРАЇНИ

- величина діаметр вала  $d = 60$  мм;
- зачення висоти маточини перемішувача  $h = 110$  мм;
- зачення висот лопаті перемішувача  $b = 180$  мм;
- зачення товщини лопаті перемішувача  $s = 8$  мм.

Н

Віддаль від нижньої точки краю вала перемішуючого пристрою до днища металенка розрховується по формулі  $h_M = (0,1-0,3)d_M$  і дорівнює  $h_M = 0,2 \cdot 900 = 180$  мм.

Н



Н

Н

Рис. 2.2. Мішалка механічна трилопатева 01 виконання,  $d_M = 80-900$  мм [1]

Граничний крутний момент перемішуючого пристрою дорівнює 8 кН·м, вага мішалки – 19,8 кг.

Вал перемішувача консольний, основною опорою є зєднувальна муфта в корпусі мотор-редуктора, друга опора дя валу - опора ковзання, розміщена в нижній частині ємності реактора. Для здешевлення конструкції, основна опора розміщена над рівнем сировини. Вал мішалки монтований під кутом 45° (рис. 2.3).

# НУБІП УКРАЇНИ

# НУБІП України

## НУБІП України

Рис. 2.3. Схема установки мішалки в біореакторі

За допомогою лопатевих мішалок повністю можна перемішати тільки незначний об'єм рідини, яка міститься в безпосередній близькості до неї, для кращого перемішування зазвичай на кожному валу встановлюють кілька мішалок.

Для того, щоб нижній край лопати мішалки під час перемішування не опускався на рівень, менший  $h_M=180$  мм, лопать нижньої мішалки повинна бути встановлена від нижнього краю вала на віддалі не меншій 1/2 її діаметра - 450 мм, а довжина вала перемішувального пристрою повинна бути більшою або дорівнювати

ремішувального пристрою повинна бути більшою або дорівнювати

$$l \geq \frac{H_0 - h_M}{\sin \alpha} = \frac{3,4 - 0,18}{\sin 45^\circ} = 4,5 \text{ м.}$$

Для того, щоб нижній край верхньої мішалки не стикався під час перемішування із корпусом реактора, а верхній край не виходив за межі сировини, верхня мішалка встановлюється на віддалі не меншій 1/2 її діаметра від кінця вала - 450 мм. Обираємо відстані: від верхнього краю вала 1200 мм, від нижнього - 640 мм.

Відстань між двома мішалками, розміщеними на валу дорівнює:

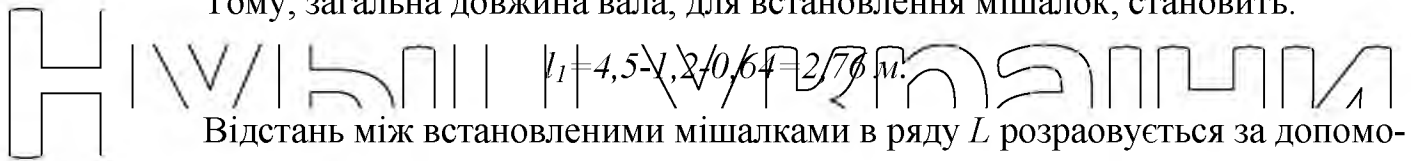
$$L_M = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81 \text{ м.}$$

Довжина вала для встановлення мішалок, розраховується як:

$$l_1 = L_1 - l_2 + l_3 \quad (2.56)$$

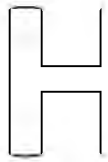
де  $l_1$  – значення довжини вала для встановлення мішалок, м;  $L_1$  – загальна довжина вала, м;  $l_2$  – відстань для встановлення нижньої мішалки до нижнього краю вала, м;  $l_3$  – відстань для встановлення верхньої мішалки до верхнього краю вала, м.

Тому, загальна довжина вала, для встановлення мішалок, становить:



Відстань між встановленими мішалками в ряду  $L$  розраховується за допомогою виразу (2.42) і дорівнює:  $L = 0,9 \cdot 900 = 810$  мм.

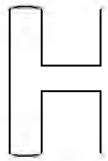
По формулі  $k_M = \frac{l_1}{L}$  розраховуємо кількість мішалок, розміщених на валу.



Вона дорівнює  $k_M = \frac{3,6}{0,81} = 4,44$  шт. Округливши результат, вважаємо, що на валу

розміщується 4 мішалки.

Маточини всіх перемішувачів роз'ємні (рис. 2.4), а їх конструктивні характеристики показані в табл. 3.4.



Таблиця 2.4

Конструктивні характеристики роз'ємних маточин перемішувачів [1]

$h$ , мм	$d$ , мм	$d_{Mat}$ , мм	$d_9$ , мм	$d_8$ , мм	$d_7$ , мм	$d_6$ , мм	$d_5$ , мм	$c$ , мм	$c_1$ , мм	$h_2$ , мм	$s_2$ , мм
		Роз'ємна									
110	60	120	32	13	50	M8	80	80	70	25	10

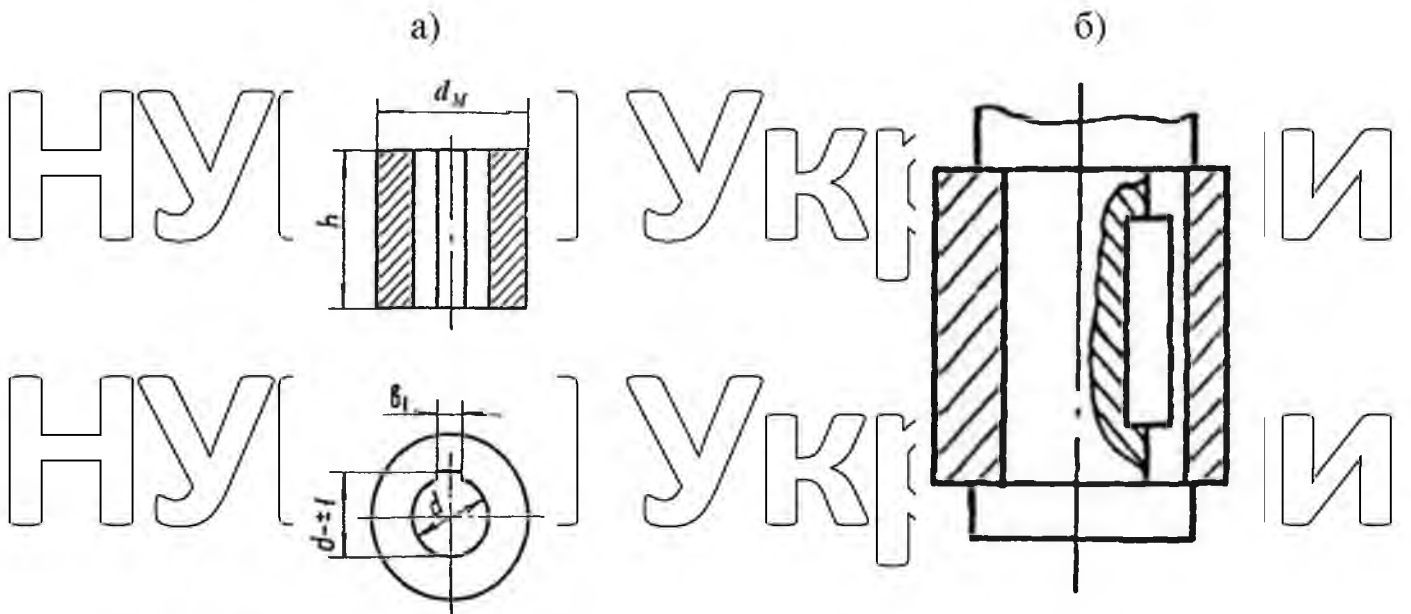


Рис. 2.4. Нероз'ємні маточини мішалки (а) та спосіб їх кріплення на вал (б)

[11]

Визначаємо, що швидкість обертання трилопатевої мішалки для перемішування субстрату дорівнює  $0,58 \text{ с}^{-1}$ , отже частота обертання мішалки по формулі (2.53) дорівнюватиме:

$$n = \frac{0,58}{3,14 \cdot 0,9} = 0,21 \text{ об/с} = 12,3 \text{ об/хв.}$$

По формулі (2.47) розраховуємо значення відцентрового числа Рейнольда, воно за умов в'язкості субстрату  $0,21 \text{ Па}\cdot\text{с}$  та густини  $1050 \text{ кг/м}^3$  дорівнює:

$$Re_{вц} = \frac{1050 \cdot 0,21 \cdot 0,9^2}{0,21} = 831.$$

З [27] встановлюємо, що значення критерію потужності  $K_N$  дорівнює 100 (опи-сється відношенням  $D/d_M=9,4$ ,  $d_M/D=0,11$ ). Перемішування має турбулентний харак-тер, так як  $Re_{вц}$  перевищує 80.

За умов турбулентного перемішування необхідна потужність розраховується за допомогою виразу (2.46).

Величина поправочного коефіцієнту  $\psi$ , який описує висоту рідини в ємності, кут розміщення лопатей перемішуючого пристрою та місцеві опори у ємності, визна-чаються по формулі (2.50).

Величина поправочного коефіцієнту  $\psi_\alpha$ , при значенні кута розташування лопа-тей  $\alpha=30^\circ$  по формулі (2.51) дорівнює:

$$\psi_\alpha = (\sin 30^\circ)^{1,2} = \left( \sin \left( \frac{\pi \cdot 30^\circ}{180^\circ} \right) \right)^{1,2} = (\sin 0,52)^{1,2} = 0,5.$$

В умовах, коли  $H_0 < D$ , значення поправочного коефіцієнту  $\psi_H$  дорівнює 1.

В ферментаторі місцевим опором виступає змійовик, встановлений по пери-метру стінок.

Отже, для цього випадку,  $\zeta_1=1$ ,  $\zeta_2=2$ ,  $\zeta_3=1$ ,  $\zeta_4=1$ ,  $\zeta_5=1$ ,  $\zeta_6=1$ .

Тому значення поправочного коефіцієнту  $\psi_m$  по формулі (2.52) дорівнюватиме:

$$\psi_m = 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2.$$

Значення поправочного коефіцієнту  $\psi_m$  по формулі (2.50) дорівнюватиме:

$$\psi = 1 \cdot 1 \cdot 2 = 2.$$

В цих умовах величина потужності на перемішування з турбулентним режимом по формулі (2.46) становитиме:

$$M_M = 100 \cdot 2 \cdot 1050 \cdot 0,21^6 \cdot 0,9^5 \cdot 4 = 1866 \text{ Вт}.$$

Втрати потужності двигуна в ущільнювачах розраховуємо по формулі (2.54).

В ферментаторі встановлені ущільнювачі з м'яким паровненням. Величина коефіцієнту тертя  $f_y$  для вала дорівнює 0,2. Величина тиску біогазу в реакторі  $P$  не досягає 0,15 кПа. Довжина ущільнення – 50 см.

Отже величина тиску, втраченого в ущільнювачі, по формулі (2.54) дорівнює:

$$N_y = 1,48 \cdot 0,2 \cdot 0,21 \cdot 0,045^2 \cdot 0,05 \cdot 150 = 0,0016 \text{ Вт}.$$

З характеристик електродвигуна ККД дорівнює 0,645, а ККД редуктора – 0,95, отже, сумарна потужність перемішуючого пристрою по формулі (3.55) становитиме:

$$N = \frac{1866 + 0,0016}{0,645 \cdot 0,95} = 2817 \text{ Вт} \approx 2,82 \text{ кВт}.$$

#### 2.6.2.4. Вибір елементів приводу перемішуючого пристрою

Зазначимо: для приводу в дію перемішуючого пристрою обираємо триступеневий планетарний фланцевий мотор-редуктору ЗМП-80, частота обертання вала на виході дорівнює 12,5 об/хв, номінальний крутний момент - 2224 Н·м, ККД обраного мотор-редуктора 96%, маса 150 кг. До комплекту мотор-редуктора входить електричний двигун, потужність якого 3,0 кВт, частота обертання 3000 об/хв., ККД двигуна

дорівнює 75,0%, вага – 25,6 кг, монтажні та габаритні параметри мотор-редуктора планетарного типу ЗМП-80 показані на рис. 2.5 та в табл. 2.5.

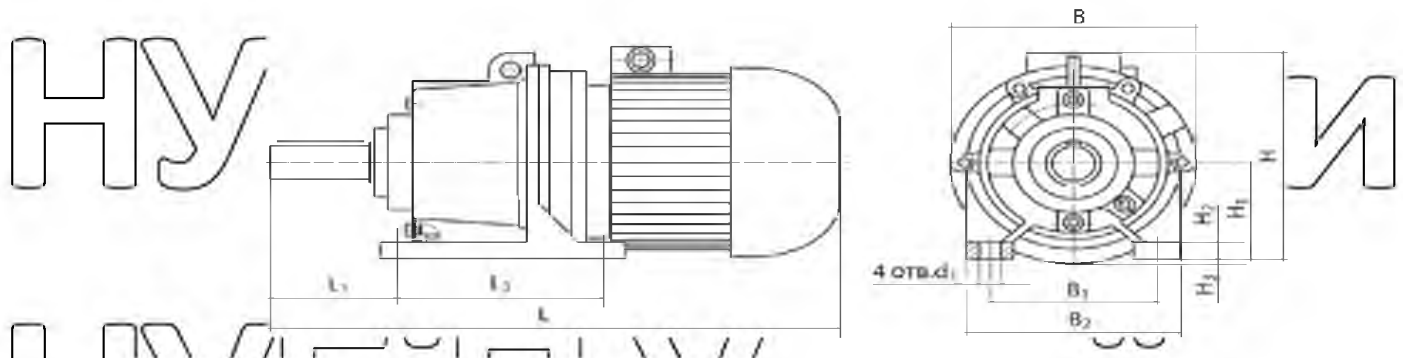


Рис. 2.5. Габаритні та монтажні параметри мотор-редукторів планетарного типу ЗМП-80 на лапах [27]

Таблиця 2.5

Габаритні та монтажні параметри мотор-редукторів планетарного типу ЗМП-80 на лапах (в мм) [27]

Позначення	$d_1$	$n_2$ , об/хв	L	B	H	$L_1$	$L_2$	$B_1$	$B_2$	$H_1$
ЗМП – 80	35	3,55-16	810	380	400	175	325	320	380	200

Монтажні параметри циліндричних валів мотор-редукторів планетарного типу ЗМП-80 показані на рис. 2.6. та в табл. 2.6.

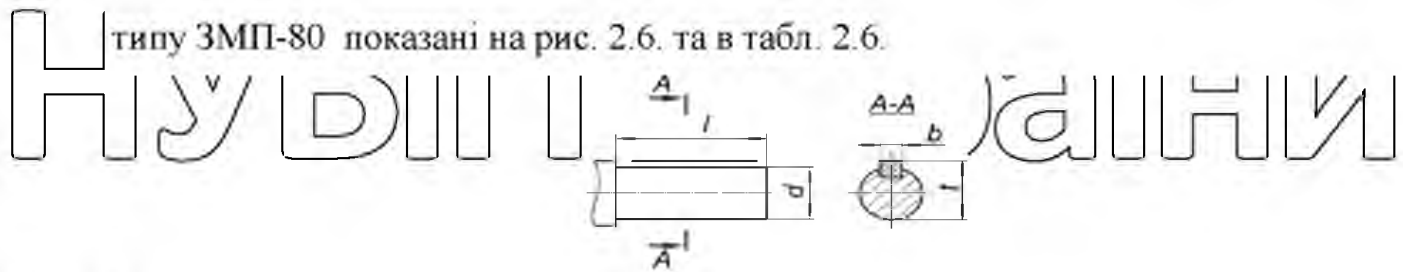


Рис. 2.6. Монтажні параметри циліндричних валів мотор-редукторів планетарного типу ЗМП-80 [27]

Таблиця 2.6

Монтажні параметри циліндричних валів мотор-редукторів планетарного типу ЗМП-80 (в мм) [27]

Мотор-редуктор	L	L1	B	T	d	d1
ЗМП-80	140	105	13	36.33	70	M48x3.0

## Висновки до розділу 2

м<sup>3</sup>, його діаметр – 8,45 м; висота – 4,22 м. Дах метантенка, який одночасно є газгольдером, виготовлений із еластичної ПВХ плівки товщиною 2 мм, яка у разі наповнення біогазом розтягується, утворюючи газовий купол.

2. Для гомогенізації субстрату використовуються три трилопатеві перемішувачі діаметром 900 мм із висотою лопаті 180 мм, кут нахилу лопатей 30°.

Вал мішалки діаметром 60 мм. На одному валу встановлено по 4 мішалки.

3. Привід мішалки здійснюється від планетарного мотор-редуктора ЗМП-80 з потужністю 3,0 кВт і з частотою обертання вихідного валу 12,4 об/хв.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 3.

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИХОДУ БІОГАЗУ ПРИ МЕТАНОВОМУ ЗБРОДЖУВАННІ ГНОЮ ВРХ З ДОДАВАННЯМ ФУЗУ

### 3.1. Конструкція експериментальної біогазової установки

До складу біогазової установки входять: метантенк, в якому проходить метанове збродження, і газгольдер, призначення якого - зберігання біогазу.

До складових метантенка I відносяться: зовнішнє 1 і внутрішнє 2 корпуси (рис.

1), між ними розміщена водяна рубашка 3 – резервуар, до якого поступає вода по трубі 9 і який передає тепло від нагрівача 20 до сировини-субстрату, яка знаходиться в активній зоні біореактора 4, він же виконує функцію теплоізоляції активної зони ферментатора від впливу зовнішнього середовища. Значення температури води в системі керування температурним режимом електронагрівачем 20 підтримується в межах 35-45оС. Це оптимальна температура за умовами технології протікання процесу метанового збродження та енергозатрат установки. Під час заливання води до водяної рубашки, стравлення повітря проходить крізь вентиль 16 та трубу 10. Для забезпечення герметичності в активній зоні ферментатора 4, на нього зверху встановлюють кришку 5 із ущільнюючою прокладкою.

Крізь трубу 6 до активної зони ферментатора 4 поступає сировина в напіврідкому стані (наприклад, рідкий гній, суміш харчових залишків, трава з водою тощо). Труба 6 сягає дна в активній зоні ферментатора 4, з цієї причини свіжа порція біомаси подається до нижньої частини активної зони ферментатора, витісняючи при цьому біомасу, яка вже перебродила (шлам), крізь трубу 7. Для забезпечення сталості мікрофлори комплексу метаноутворюючих мікроорганізмів під час заправки біореактора необхідна присутність в ньому не менше як 1/3 старого субстрату, що забезпечить швидке розмноження мікрофлори. Для випорожнення всієї біомаси під час технічного обслуговування метантенка використовується труба 8. За герметичність метантенка відповідають вентиля 16. У ємності під час створення оптимальних показників температури

та кислотності в анаеробних умовах проходить метанове бродиння, в результаті чого виділяється біогаз та залишається органічна речовина, що має цінність як добриво. Для руйнування утвореної кірки, недопущення її створення, підтримання однорідності біомаси, використовуються мішалка 19, котра перемішує субстрат у зоні активного збродження біореактора.

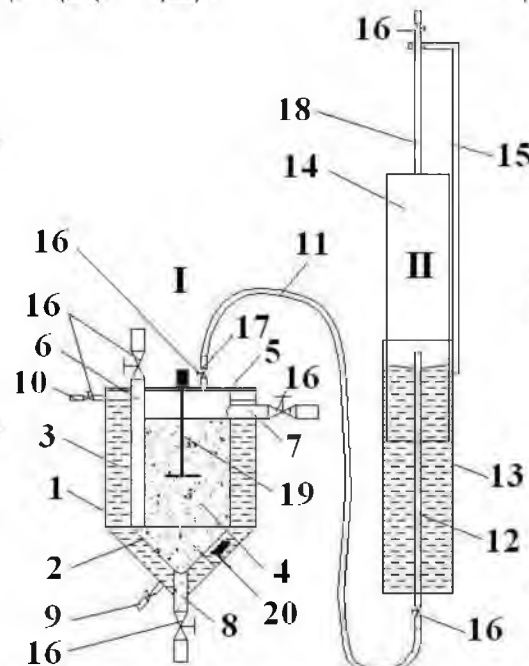


Рис. 3.1. Принципова схема установки з виробництва біогазу: I – ферментатор; II – місткість для накопичення біогазу; 1 – зовнішній корпус ферментатора; 2 – внутрішній корпус ферментатора; 3 – водяна сорочка; 4 – активна зона ферментатора; 5 – кришка; 6 – трубка для подачі субстрату; 7 – трубка для зливання дигестату; 8 – трубка для видалення дигестату; 9 – трубка для подавання води; 10 – перемикаюча трубка водяної сорочки; 11 – шланг для подачі біогазу; 12 – трубка для подачі біогазу; 13 – корпус місткості для накопичення біогазу; 14 – циліндр-рівнемір; 15 – направляюча; 16 – кран; 17 – трубка для відведення біогазу з ферментатора; 18 – трубка для відбирання біогазу із газгольдера; 19 – мішалка; 20 – ТЕН

Біогаз через трубопровод 17 рухається із ферментатора по газопроводу 11, потім по трубопроводу 12 надходить на зберігання в газгольдер II. В даній схемі задіяний "мокрый" газгольдер до складу якого входять дві порожнисті циліндричні місткості:

корпус 13 і циліндр-рівнемір 14, крім того направляюча 15. В корпусі газгольдера 13, наповненому водою, в вигляді поплавка плаває порожній циліндр-рівнемір 14. Далі біогаз по трубі 12 надходить до порожнини циліндра-рівнеміра 14 і наповнює його біогазом. Рівнемір 14 по направляючій 15 рухається у корпусі газгольдера і дає змогу виявити наявність та обсяг метану в газгольдері II. Із газгольдера метан надходить через кран 16 і видавлюється по трубі 18 вагою циліндра-рівнеміра 14.

Субстрат у вигляді суспензії (наприклад, суміш гною з водою, харчові відходи, рослинні рештки з водою тощо) потрапляє через трубопровід 6 до активної зони метантенка 4. Трубопровід 6 дістає майже до днища активної зони ферментатора 4, тому субстрат потрапляє в нижню частину активної зони ферментатора, витісняючи переброджену масу (шлам), через трубопровід 7. При загрузці, для підтримання необхідної мікрофлори для утворення метану, необхідно лишати в резервуарі не менше третини відпрацьованої сировини, що забезпечує швидке розмноження бактерій. Під час проведення технічного обслуговування ферментатора біошлам зливають через трубопровід 8. Герметичність ємності гарантують вентиля 16. Для недопущення утворення в субстраті кірки та гарантування однорідності сировини її періодично перемішують, для цього в активній зоні бродіння використовується мішалка 19.

В умовах необхідної кислотності та показника температури та за відсутності кисню в реакторі проходить метанове зброджування, в результаті якого утворюється біологічний газ та біошлам - органічне добриво високої ефективності. Метан із реактора крізь трубопровід 17 через газопровід 11 і потім по трубопроводу 12 поступає у газгольдер II, там він і зберігається. В нашій схемі задіяний "мокрый" газгольдер, до складу якого входять дві порожні циліндричні місткості: корпус 13 і циліндр-рівнемір 14, крім того направляюча 15. Ємність газгольдера 13 заповнена водою, на її поверхні плаває порожній циліндр-рівнемір 14. Біогаз через трубопровід 12 надходить в середину циліндра-рівнеміра 14, який по направляючій 15 піднімається на поверхню газгольдера, тим самим дає можливість виявити об'єм та присутність газу в ємності газгольдера. Із ємності газгольдера біогаз рухається через кран 16 по трубі 18, витіснений циліндром-рівнеміром 14 [28].

### 3.2. Результати експериментальних досліджень виходу біогазу при анаеробному зброджуванні гною ВРХ з додаванням фузу

Під час експериментальних досліджень виходу біогазу від зброджування гною ВРХ з субстрату, до складу якого входить 2,25 кг води і 1,5 кг гною ВРХ додавали 50 мл фузу. Ферментатор з корисним обсягом 30 л наполовину завантажували субстратом (величина коефіцієнта завантаження – 0,5, завантажений обсяг ємності становив 15 л). Після додавання наступної порції сировини переброджена рідина змінювалася наполовину (величина коефіцієнта спорожнення – 0,5). Температура у метантенку під час проведення дослідження становила 40°C.

Вага сухого органічного залишку (СОР) субстрату, отриманого з гною ВРХ, після додавання фузу дорівнює 0,24 кг, значення відносної вологості – 92,6%. Вміст фузу в розчині при цьому становив 1,3%. З метою порівняння використовувались дані при зброджуванні гною ВРХ без додавання косубстратів.

Результати досліджень представлені на рис. 3.1.

На рис. 3.1 показано, що для процесу зброджування гною ВРХ при додаванні фузу має місце діауксія. Перший максимум виходу біологічного газу порівняно незначний та співвідносний із максимумом виходу біогазу під час зброджування гною ВРХ в суміші з сирым гліцерином. Другий максимум виходу біогазу перевищує перший в два рази і значно розтягується у часі. Однак настання другого максимуму виходу біогазу відбувається аж на 20 добу зброджування, в той час, використовуючи інші косубстрати, як у нашому випадку, сирий гліцерин, зброджування уже припиняється.

Максимальна кількість виходу біогазу дорівнює 2,073 л/(год·кг СОР), цей вихід наступає лише на 20 добу зброджування.

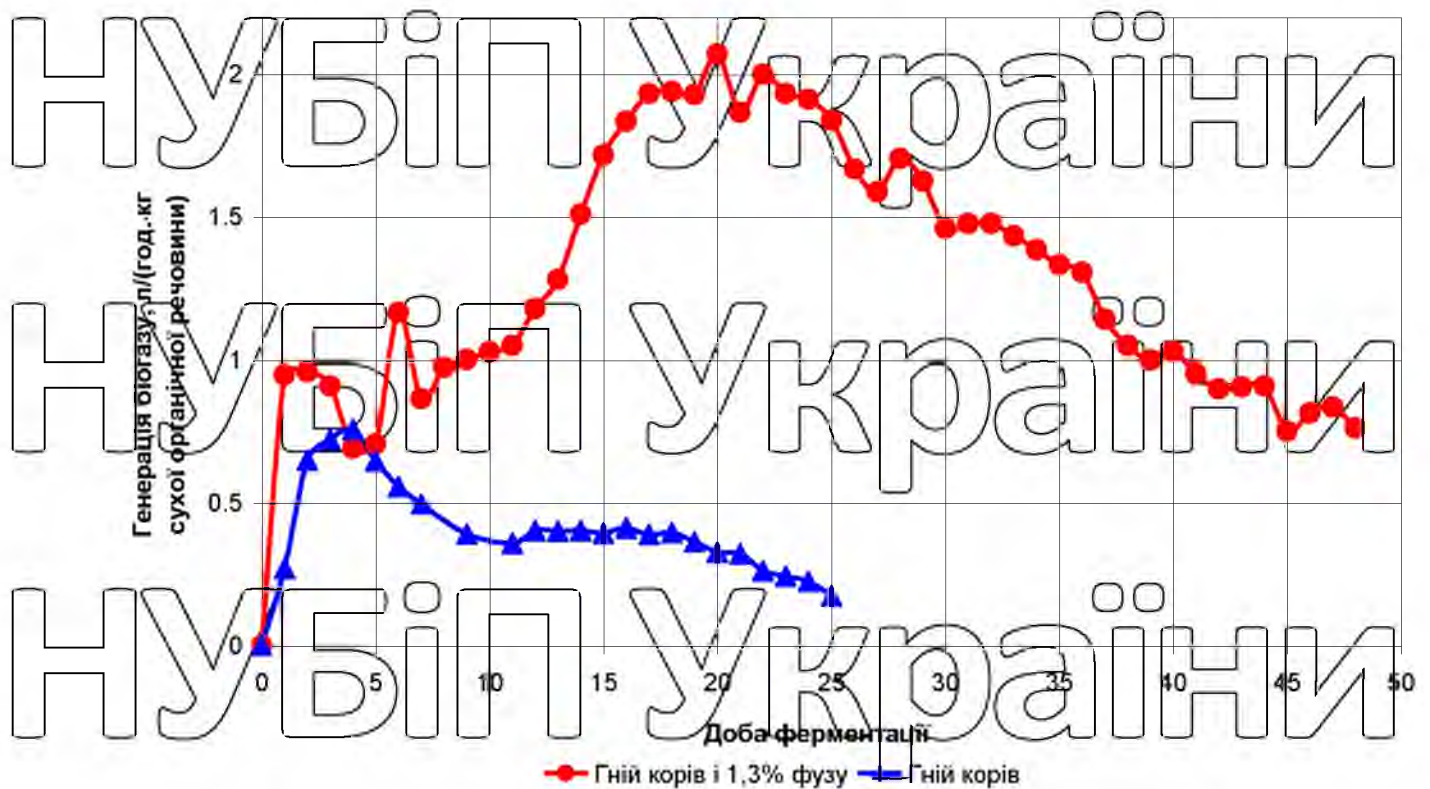


Рис. 3.2. Порівняння виходу біогазу під час бродіння гною ВРХ з включенням фузу і без додавання ко-субстратів при температурному режимі 40°C

Біогаз, вироблений під час зброджування гною ВРХ з включенням фузу, протягом перших чотирьох діб зброджування не горів, газ, отриманий в наступні дві доби, характеризувався теплотою згоряння 11-12 МДж/м<sup>3</sup>, після цього горіння біогазу стало стабільним і теплота його згоряння становила 14-16 МДж/м<sup>3</sup> в результаті дослідження експрес-методом.

### Висновки до розділу 3

Максимальний вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ з додаванням 1,3% фузу становить 2,073 л/(год·кг СОР), що майже в 3 рази перевищує максимальний вихід біогазу при монозброджуванні гною ВРХ.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Визначення виробничих небезпек при експлуатації біогазових установок

В процесі зброджування ми отримуємо біогаз - легкозаймисту та вибухонебезпечну речовину. Тому для гарантування безпечної роботи необхідно ретельно дотримуватися заданого режиму, безперервно відслідковувати роботу обладнання та апаратури, не залишати її без контролю.

Біогаз складається з суміші газів: сірководню ( $H_2S$ ), вуглекислого газу ( $CO_2$ ) і метану. Метан, який знаходиться в складі біологічного газу, майже не має отруйних властивостей, легший від повітря, легко займається. Витікаючи, при хорошій вентиляції, він зникає без будь-яких наслідків, тоді як сірководень небезпечний для здоров'я людини.

Відомо, що сірководень важчий за повітря, отже необхідно зауважувати те, що при витіканні він може осідати в поглибленнях. При накопиченні високих концентрацій він спроможний притупити відчуття запаху, ускладнюючи тим його виявлення, що спроможне викликати смертельне отруєння. Вуглекислий газ ( $CO_2$ ), який міститься в складі біогазу, теж спроможний накопичуватися в приямках та заглибинах, можливе його витікання з нещільностей в корпусі установки що спричиняє небезпеку задихи [9].

Основні можливі виробничі небезпеки під час експлуатації біогазової установки а також способи їх усунення показані в табл. 4.1.

Біогазові установки нового покоління спроможні у певних випадках виступати як джерело підвищеної небезпеки. Під час експлуатації найбільшу увагу необхідно приділяти наступному: присутній в біологічному газі сірководень досить отруйний. Його вдихання людиною в значних кількостях на протязі тривалого часу спроможне призвести до отруєння. Запах неочищеного біогазу нагадує тухлі яйця, але в результаті очищення запах зникає. З цієї причини всі споруди, де знаходяться побутові прилади,

в яких використовується біогаз, вимагають регулярного провітрювання. Необхідна регулярна перевірка газових труб на герметичність, крім того вони повинні бути захищені від пошкоджень. Витоки газу виявляються за допомогою спеціальних приладів або використанням мильної емульсії. Використання відкритого вогню з метою виявлення витоків газу заборонено.

Таблиця 4.1.

Основні можливі виробничі небезпеки під час використання біогазової установки та способи їх усунення

Найменування технологічного процесу	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	небезпечна умова (НУ)	небезпечна дія (НД)	небезпечна ситуація (НС)		
Метанове зброджування гною ВРХ з виробництвом біогазу	1. Вибухонебезпечність біогазу (НУ1)	1. Працівник знаходиться в небезпечній зоні (НД1) 2. Перед початком роботи працівник не слідкує за технічним станом агрегату (НД2)	1. Витік біогазу (НС1) 2. Контакт тіла працівника із струмопровідними елементами (НС2)	1. Травми, каліцтва, опіки (МН1) 2. Електро-травма (МН2) 3. Травма (МН3) 4. Електро-травма (МН4) 5. Отруєння (МН5)	1. Встановити сигналізатор метану, факельний аварійний пристрій (ЗЗНС1) 2. Перевіряти цілісність наявності заземлення, ізоляції (ЗЗНС2) 3. Навчання роботи з апаратами, які працюють під тиском (ЗЗНС3) 4. Відновлення заземлення (ЗЗНС4) 5. Встановлення сигналізатора сірководню (ЗЗНС5)
	2. Пошкодження електричної ізоляції проводів (НУ2)	3. Працівник відкриває кришку ферментатора (НД3) 4. Працівник доторкається до металевих частин ферментатора (НД4) 5. Працівник знаходиться в приміщенні, в яке потрапив біогаз (НД5)	3. Кришка металенка під тиском ударяє працівника (НС3) 4. Електричний потенціал з'являється на корпусі установки (НС4) 5. Отруєння сірководнем (НС5)		
	3. Високий тиск в ферментаторі (НУ3)				
	4. Пошкодження заземлення (НУ4)				
	5. Великий вміст сірководню (НУ5)				

## 4.2. Методика визначення параметрів факельної аварійної установки

За допомогою виразу [19] визначимо об'ємну витрату  $W_v$  та швидкість  $U$  (м/с), з якою витікає біогаз, який потім згорає у факельній установці.

$$W_v = 0,785 \cdot U \cdot d_0^2, \quad (4.1)$$

де  $W_v$  – величина об'ємної витрати біогазу під час спалювання у факельній установці, м<sup>3</sup>/с;  $U$  – швидкість, з якою біогаз витікає з сопла у факельній установці, м/с (встановлюється вимірюванням);  $d_0$  – величина діаметру вихідного сопла, м (з проектних документів факельної установки).

В умовах неможливості прямого вимірювання швидкості, з якою біогаз витікає з ємності  $U$ , її визначають:

– в умовах постійних скидів [19]:

$$U = 0,2 \cdot U_{зв}, \quad (4.2)$$

– в умовах періодичних та аварійних скидів [19]:

$$U = 0,5 \cdot U_{зв}, \quad (4.3)$$

де  $U_{зв}$  – величина швидкості поширення звуку в середовищі біогазу.

Величина швидкості поширення звуку в середовищі біогазу  $U_{зв}$  розраховується за допомогою виразу [19]:

$$U_{зв} = 91,5 \cdot \left[ K \cdot \frac{T_0 + 273}{\mu_r} \right], \quad (4.4)$$

де  $T_0$  – температурний показник біогазу, °С;  $\mu_r$  – значення умовної молекулярної маси біогазу, кг/моль;  $K$  – значення показника адіабати.

По формулі [19] визначається значення умовної молекулярної маси біогазу  $\mu_r$ :

$$\mu_r = 0,01 \cdot \sum V_i \cdot \mu_i, \quad (4.5)$$

де  $V_i$  – обсяг суміші горючих газів у середовищі біогазу, %;  $\mu_i$  – величина молекулярної маси горючих газів, кг/моль.

Браhuуавши показник адіабати  $K_i$  для складових, [19] вираховуємо середньозважене значення показника адіабати для біологічного газу:

$$K = 0,01 \cdot \sum V_i \cdot K_i, \quad (4.6)$$

де  $K_i$  – значення показника адіабати для горючих газів.

### 4.3. Розрахунок параметрів факельної аварійної установки

Частка метану в обсязі біогазу дорівнює 50%. Значення молекулярної маси біологічного газу  $\mu_r = 16,043$  кг/моль [19]

Отже, величина умовної молекулярної маси біогазу  $\mu_r$  по даній формулі (4.5) становитиме:

$$\mu_r = 0,01 \cdot 52 \cdot 16,033 = 8,022 \text{ кг/моль.}$$

Значення адіабати для метану  $K_i = 1,32$  [19]. Отже величина середньозваженого показника адіабати для біологічного газу по формулі (4.6) дорівнюватиме:

$$K = 0,01 \cdot 52 \cdot 1,32 = 0,656.$$

Оскільки значення температури зброджування в метантенку дорівнює 40°C, то швидкість поширення в біогазі звуку  $U_{зв}$  по формулі (4.4) становитиме:

$$U_{зв} = 91,5 \cdot \left[ 0,656 \cdot \frac{40 + 273}{8,021} \right] = 2341 \text{ м/с.}$$

Швидкість витікання біологічного газу у випадках аварійних скидів з виразу (4.3) дорівнюватиме:

$$U = 0,5 \cdot 2341 = 1171 \text{ м/с}$$

Величина об'ємної витрати  $W_v$  при значенні діаметра сопла в аварійному факі 100 мм по формулі (4.1) дорівнює:

$$W_v = 0,786 \cdot 1171 \cdot 0,1^2 = 9,25 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Отже, в метантенку на протязі доби накопичується 740 м<sup>3</sup> біологічного газу,

ня кількість в умовах аварійної ситуації може бути спалена за  $740/9,25=78$  с=1,32 хв.

# НУБІП України

## Висновки до розділу 4

1. До небезпечних виробничих факторів при експлуатації біогазових установок належать отруйність сірководню і вибухонебезпечність метану, які входять до складу біогазу, наявність яєць гельмінтів і небезпечної мікрофлори в субстраті, наявність надлишкового тиску, можливість падіння з висоти, можливість ураження електрострумом тощо.

2. Для захисту від вибуху біогазу при аварійній ситуації на біогазовій установці ФП "Перлина Турії" використовують аварійну факельну установку, яка має діаметр сопла 100 мм. Вона уможливорює повне спалення виробленого біогазу протягом 1,32 хв.

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

### 5.1. Методика встановлення економічної ефективності від впровадження інвестицій

Витратами вважається сума поточних і змінних витрат, приведених до одного розміру введенням нормативного коефіцієнту економічної ефективності [21].

До головних показників ефективності впровадження інвестицій відносяться:

- річний економічний ефект від впровадження інвестицій;
- ефективність одноразових витрат на створення інвестицій;
- термін окупності інвестицій.

Витрати на впровадження інвестицій за показником приведених витрат визначаються за формулою:

$$Z_n = C + E_n \cdot K, \quad (5.1)$$

де  $Z_n$  – приведені затрати, грн.;  $C$  – собівартість, грн.;  $E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності інвестицій;  $K$  – капітальні вкладення, грн.

Собівартість визначається за формулою:

$$C = C_a + C_p + C_{\text{мост}} + C_{\text{ел}} + C_o + C_c \quad (5.2)$$

де  $C_a$  – затрати на амортизаційні відрахування, грн.;  $C_p$  – затрати на технічне обслуговування і ремонт, грн.;  $C_{\text{ел}}$  – затрати на електроенергію, грн.;  $C_o$  – затрати на оплату праці, грн.;  $C_c$  – затрати на сировину, грн.

Затрати на амортизаційні відрахування розраховуються формулою [15]:

$$C_a = \frac{K}{c_a}, \quad (5.3)$$

де  $K$  – розмір капіталовкладень, грн.;  $c_a$  – час прибуткового використання обладнання, років.

За капіталовкладеннями біогазової установки визначаються відрахування на ремонт і технічне обслуговування:

$$C_p = \frac{C_m \cdot H_p}{100} \quad (5.4)$$

де  $H_p$  – норма витрат на ремонт і технічне обслуговування (до 5% від сукупної балансової вартості [33]).

Оскільки сировиною для виробництва біогазу є гній ВРХ, який отримується в даному господарстві, затрати на сировину не враховуються. Не враховується також і прибуток від використання дигестату, який вноситься на поля для покращення родючості ґрунту замість гною ВРХ.

Затрати на електроенергію розраховуються за виразом [35]:

$$C_{el} = C_{el} \cdot N_{el} \cdot T_1 \cdot T_2 \quad (5.5)$$

де  $C_{el}$  – вартість електроенергії, грн./кВт год.,  $N_{el}$  – потужність обладнання, кВт;  $T_1$  – час роботи обладнання, днів;  $T_2$  – час роботи обладнання, год.

Затрати на заробітну плату визначаються за виразом:

$$C_o = TC \cdot n_{роб} \cdot T_3, \quad (5.6)$$

де  $TC$  – тарифна ставка згідно із тарифним розрядом, грн./міс.;  $n_{роб}$  – к-сть працівників, чол.;  $T_3$  – час роботи працівника на протязі року, міс.

Грошові надходження від реалізації електроенергії за "зеленим" тарифом визначається за формулою:

$$\Gamma = T_3 \cdot E_6, \quad (5.7)$$

де  $\Gamma$  – грошові надходження від реалізації електроенергії, грн./рік;  $E_6$  – обсяг отриманої електричної енергії з біогазу, кВт·год./рік.

Прибуток від реалізації електроенергії, отриманої з біогазу, визначається з виразу:

$$\Pi = \Gamma - C, \quad (5.8)$$

Термін окупності інвестицій встановлюється за формулою:

$$P = \frac{K}{\Pi}, \quad (5.9)$$

де  $P$  – термін окупності інвестицій, років.

## 5.2. Економічна ефективність від впровадження біогазової установки в ФГ "Перлина Турії"

Біогазова установка, що побудована в ФГ "Перлина Турії", складається із метантенка об'ємом  $237 \text{ м}^3$ , суміщеного з газгольдером, системи механічної підготовки субстрату і системи завантаження. Її вартість становить  $\$98300$ , або при курсі  $36,6 - 3597780$  грн [37].

Розрахований термін корисного використання метантенка становить 20 років.

Тому амортизаційні відрахування за формулою (5.3) будуть становити:

$$C_d = \frac{3597780}{20} = 179889 \text{ грн.}$$

Норма реновації  $H_p$  становить 5% [33]. Тому витрати на ремонт і технічне обслуговування біогазової установки за формулою (5.4) будуть становити:

$$C_{p \text{ ст}} = \frac{3597780 \cdot 5}{100} = 179889 \text{ грн}$$

Для гомогенізації субстрату в метантенку і його перемішування використовують 3 мішалки з електричними двигунами потужністю 3 тис. Вт кожен. Ціна електричної енергії для підприємств 2 класу Волинської області з урахуванням ПДВ з 1 січня 2022 р. становить  $1102,19$  грн./кВт·год. [39]. Біогазова установка працює протягом року 350 календарних днів (15 робочих днів відводиться на поточний та капітальний ремонт обладнання) [4]. Кожен перемішувач протягом доби працює 2 год. Тому витрати на електроенергію для гомогенізації субстрату в біореакторі за виразом (5.5) будуть становити:

$$C_{en} = 1,102 \cdot 3,0 \cdot 3 \cdot 350 \cdot 2 = 6943 \text{ грн.}$$

Під час роботи біогазової установки подача субстрату відбувається поступово, тому для його обслуговування задіяні три робітники 4 кваліфікаційного розряду, які працюють з 12-годинним робочим днем. Із 1 жовтня 2022 р. оклад працівника 4 тарифного розряду становить  $3787$  грн. [23].

Разом із тим, з 1 жовтня 2022 р. встановлена мінімальна заробітна плата в розмірі 6700 грн./міс. [7]. Працівнику доплачують різницю між мінімальною заробітною платою і ставкою за тарифним розрядом.

Також на заробітну плату нараховується:

– військовий податок – 1,5% від розміру заробітної плати;

– податок на доходи – 18%;

– єдиний соціальний податок – 22% [34].

Отже, нарахування на зарплату становитимуть: військовий податок:

$6700 \cdot 1,5/100 = 100,5$  грн.; податок на доходи:  $6700 \cdot 18/100 = 1206$  грн.; єдиний соці-

льний податок:  $6700 \cdot 22/100 = 1474$  грн.

Нарахування на заробітну плату одного оператора біогазової установки щомісяця становлять:  $6700 + 101 + 1206 + 1474 = 9481$  грн.

Отже, затрати на заробітну плату операторів біогазового комплексу за виразом

(5.6) становлять:

$$C_p = 9481 \cdot 12 \cdot 3 = 341316 \text{ грн.}$$

Собівартість виробництва біогазу за формулою (5.2) буде становити:

$$C = 179889 + 179889 + 6943 + 341316 = 708037 \text{ грн.}$$

Вихід біогазу з використанням кросубстрату згідно проведених досліджень становить 0,173 л/(год·кг СОР). У твердій фракції гною ВРХ міститься 16,4% сухої речовини (СР) [14], з якої близько 80% є органічною речовиною (СОР) [3]. Тому вихід біогазу з біогазової установки становить

$0,173 \cdot 100/80 = 0,218$  л/(год·кг СР), або

$0,218 \cdot 100/16,4 = 1,327$  л/(год·кг), або 31,838 л/(добу·кг) гною, або 31,838 л/(добу·кг) гною, який завантажується в метантенк ФВ "Перщина Турія", становить 45700 кг, з нього отримується біогазу

$31,838 \cdot 45700 = 1455000$  або 1455 м<sup>3</sup>/добу, або при річному часі роботи метантенка 350 діб:  $525 \cdot 350 = 187750$  м<sup>3</sup>/рік.

Отриманий біогаз планується спалювати в когенераційній установці, при цьому

половина енергії буде перетворена в електроенергію, яку продаватимуть за "зеленим" тарифом, інша половина буде перетворена в теплову енергію, котра забезпечить тепловий баланс метантенка.

Для отримання електроенергії використовується біогазу:  $509250/2 = 254625$

м<sup>3</sup>/рік.

Держав, як правило, енергопостачальні компанії купувати електроенергію поновлюваних джерел за «зеленим» тарифом [8].

Теплова цінність біогазу становить 23,79 МДж/м<sup>3</sup>. З врахуванням цього, вироблена при спалюванні біогазу електроенергія буде становити  $91875 \cdot 23,79 = 6057529$

МДж/рік, або  $6057529 \cdot 0,278 = 1873923$  кВт·год/рік.

Для електроенергії, виробленої з біогазу, величина "зеленого" тарифу встановить 134,46 коп./кВт·год. [8].

Грошові надходження за рік внаслідок реалізації виробленої електроенергії за «зеленим» тарифом, розраховані за формулою (5.7), становлять:

$$Г = 1,3436 \cdot 1683993 = 2264297 \text{ грн./рік.}$$

Прибуток від реалізації виробленої із біогазу електроенергії за виразом (5.8) становить:

$$П = 2264297 - 708037 = 1556260 \text{ грн.}$$

Термін окупності інвестицій за виразом (5.9) становить:

$$P = \frac{3597780}{1556260} = 2,3 \text{ роки.}$$

Економічна ефективність від інвестицій у впровадження біогазової установки в ФГ «Перлина Турії» наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Економічна ефективність впровадження біогазової установки в ФГ «Перлина Турії»

№	Показник	Вартість
1	2	3

1	Вартість біогазової установки, грн.	3597780
2	Капіталовкладення, грн.	3597780

Продовження табл. 5.1

1	2	3
3	Витрати на амортизацію, грн.	179889
4	Витрати на ремонт і технічне обслуговування, грн.	179889
5	Витрати на електроенергію, грн.	6943
6	Витрати на оплату праці, грн.	341316
7	Обсяг біогазу на виробництво електроенергії, м <sup>3</sup> /рік	509250
8	Собівартість отримання біогазу, грн. грн./м <sup>3</sup>	708 037 1,39
9	"Зелений" тариф на електроенергію із біогазу, грн./кВт·год	1,3446
10	Грошові надходження від реалізації електроенергії за "зеленим" тарифом, грн./рік	2264297
11	Прибуток від реалізації виробленої електроенергії, грн./рік	1556260
12	Термін окупності інвестицій, роки.	2,3

### Висновки до розділу 5

Собівартість виробленого на спроектованій в ФГ «Перлина Турії» установці для виробництва біогазу становить 1,39 грн/м<sup>3</sup>. При вартості "зеленого" тарифу на електроенергію, що виробляється із біогазу, річний прибуток від його продажу становитиме 1556260 грн., термін окупності інвестицій при цьому становитиме 2,3 роки.

## ВИСНОВКИ

# НУБІП України

1. Біогазом називається горючий газ, який містить 50-55% метану, приблизно 45-50% вуглекислого газу, невелику кількість сірководню та утворюється за допомогою анаеробного метанового бродіння органічних відходів метаноутворюючими бактеріями.

# НУБІП України

2. Для ефективного метанового бродіння з утворенням біогазу важливими є такі фактори: властивості субстрату, температура ферментації, рН середовища, експозиція (час) зброджування, тип метаноутворюючих бактерій, наявність анаеробних умов.

# НУБІП України

3. До складу біогазової установки входять резервуар для біошламу та сировини, метантенк з нагрівачем і перемішувачем, газгольдер, система очищення біогазу.

# НУБІП України

4. Об'єм метантенка біогазової установки ФГ "Перлина Турії" становить 237 м<sup>3</sup>, його діаметр – 8,45 м; висота – 4,22 м. Дах метантенка, який одночасно є газгольдером, виготовлений із еластичної ПВХ плівки товщиною 2 мм, яка у разі наповнення біогазом розтягується, утворюючи газовий купол.

# НУБІП України

5. Для гомогенізації субстрату використовуються три трилопатеві перемішувачі пристрої діаметром 900 мм із висотою лопаті 180 мм, кутом нахилу лопатей 30°. Вал мішалки діаметром 60 мм. На одному валу встановлено по 4 мішалки.

# НУБІП України

6. Привід мішалки здійснюється від планетарного мотор-редуктора ЗМПГ-80 з потужністю 3,0 кВт і з частотою обертання вихідного валу 12,4 об/хв.

# НУБІП України

7. Максимальний вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ з додаванням 1,3% фузу становить 2,073 л/(год·кг СОР), що майже в 3 рази перевищує максимальний вихід біогазу при монозброджуванні гною ВРХ.

# НУБІП України

8. До небезпечних виробничих факторів при експлуатації біогазових установок належать отруйність сірководню і вибухонебезпечність метану, які входять до

# НУБІП України

складу біогазу, наявність яєць гельмінтів і небезпечної мікрофлори в субстраті, наявність надлишкового тиску, можливість падіння з висоти, можливість ураження електрострумом тощо.

9. Для захисту від вибуху біогазу при аварійній ситуації на біогазовій установці ФГ "Перлина Турії" використовують аварійну факельну установку, яка має діаметр сопла 100 мм. Вона уможлиблює повне спалення виробленого біогазу протягом 1,32 хв.

10. Собівартість виробленого на спроектованій в ФГ «Перлина Турії» установці для виробництва біогазу становить 1,39 грн/м<sup>3</sup>. При вартості "зеленого" тарифу на електроенергію, що виробляється із біогазу, річний прибуток від його продажу становитиме 1556260 грн., термін окупності інвестицій при цьому становитиме 2,3 роки.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. АТК 24, 201.17-90. Мешалки: типы, параметры, конструкция, основные размеры и технические требования: альбом типовых конструкций. 34 с.
2. Брагинский Л. Н., Бегачев В. И., Барабаш В. М. Перемешивание в жидких средах. Ленинград: Химия, 1984. 336 с.
3. Васильев В. А., Филиппова Н. В. Справочник по органическим удобрениям: справочное издание. Москва: Росагропромиздат, 1988. 258 с.
4. ВНТП-53-91. Москва: ГНПУ по строительству, 1991. 36 с.
5. Генкин А. Э. Оборудование химических заводов: Москва: Высш. шк., 1970. 352 с.
6. ДСТУ 2423:94. Олії рослинні. Виробництво. Терміни та визначення. Дійсний від 01.01.1995. Київ: Держспоживстандарт України, 1994. 29 с.
7. 31 жовтня змінюється розмір мінімальної зарплати. Матеріали із сайту Бухгалтер бюджетної установи [Електронний ресурс]. URL: <https://bukhalter.com.ua/news/trudovi-vidnosini/z-1-zhovtnya-zminuyetsya-rozmir-minimalnoyi-zarplati-zgaduyemo-na/> (дата звернення: 04.10.2020).
8. Зелений тариф. Матеріали із сайту Вікіпедія [Електронний ресурс]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%84> (дата звернення: 01.10.2022).
9. Калмыкова Ю., Герман А., Жирков В. Основы производства биогаза. ЭСКО. №12. 2010.
10. Карпушкин С. В., Краснянский М. Н., Борисенко А. Б. Расчет и выбор механических перемешивающих устройств вертикальных емкостных аппаратов. Тамбов: ГСТУ, 2009. 158 с.
11. Колосова Н. В., Чеботарева О. В., Сербин В. А. Анализ технологических особенностей сбраживания био-массы в метантенках для получения биогаза. *Вісник*

12. Малащенко Ю. Р., Хайер Ю., Бергер У., Романовская В. А., Мучник Ф. В.

Биология метанообразующих и метаноокисляющих микроорганизмов. Київ: Наукова думка, 1993. 256 с.

13. Малиновська Т.О. Облік і аудит основних засобів та аналіз ефективності їх використання у сільськогосподарських підприємствах: автореф. маг. дипл. роботи: спец. 071. Київ. Одеса. ОДАУ, 2020. 25 с.

14. Мамченков И. П., Поташов А. И., Чернавин А. С. Справочник по удобрениям: справочное издание. Москва: Колос, 1964. 718 с.

15. Мельник В. І., Ревенко Ю. І., Карабинош С. С. Амортизація основних засобів. Київ: Тонар, 2012. 26 с.

16. Мельничук М. Д., Дубровін В. О., Мироненко В. Г. та ін. Альтернативна енергетика. Київ: Аграр Медіа Груп, 2012. 244 с.

17. Мельничук М. Д., Дубровін В. О., Мироненко В. Г. Технології виробництва біогазу в АПК. Київ: НУБіП України, 2012. 60 с.

18. Мироненко В. Г., Дубровін В. О., Поліщук В. М. та ін. Технології виробництва біогазу. Київ: Холтех, 2010. 84 с.

19. Методика расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках. Санкт-Петербург, 1997. 82 с.

20. Муфты. Материалы из сайта ГОУ СПО Волгоградский технологический колледж [Электронный ресурс]. URL:

[http://vtk34.narod.ru/detalimashin\\_lek/book/book102.htm](http://vtk34.narod.ru/detalimashin_lek/book/book102.htm) (дата обращения: 17.09.2022).

21. Непомящий Е. Г. Экономика и управление предприятием. Таганрог: ТРТУ, 1997. 374 с.

22. Нехаев Г. А. Расчет и проектирование стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления. Москва: АСВ, 2005. 216 с.

23. Оклади за ЄТС у 2021 році. Матеріали із сайту Бухгалтер бюджетної установи [Електронний ресурс]. URL: <https://bukhalter.ua/news/trudovi-vidnosini/okladi-za-yets-u-2021-rotsi/> (дата звернення: 01.10.2022).

24. Поліщук В. М., Войтюк В. Д. Процеси, машини та обладнання виробництва твердих і рідких біопалив: монографія. Київ: НУБіП України, 2018. 588 с.

25. Поліщук В. М., Войтюк В. Д., Тарасенко С.Є. Процеси, системи та обладнання для виробництва біопалива: монографія. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2020. 548 с.

26. Поліщук В. М., Дубровін В. О., Драгнєв С. В. Конструктивно-технологічний розрахунок метантенка. Київ: Аграр Медіа Груп, 2013. 88 с.

27. Поліщук В. М., Дубровін В. О., Драгнєв С. В. Конструктивно-технологічний розрахунок механічних мішалок. Київ: Аграр Медіа Груп, 2013. 160 с.

28. Поліщук В.М., Дубровін В.О., Драгнєв С.В., Лободко М.М., Дубровіна О.В.. Установа для одержання біогазу. Київ: АграрМедіаГруп, 2013. 16 с.

29. Поліщук В. М., Тарасенко С. Є. Біопалива. Виробництво і використання. Ч. 2. Біогаз і біоводень: навч. посібник. К.: Компринт, 2018. 416 с.

30. Поліщук В. М., Шворов С. А., Войтюк В. Д., Мірошник В. О. Процеси, системи та обладнання виробництва біогазу: монографія. Київ: НУБіП України, 2019. 556 с.

31. Пособие к ВНТП 01-98 "Оросительные системы с использованием стоковых вод и животноводческих стоков". Москва: МСХиН РФ, 1998. 168 с.

32. Правила проектирования вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефтепродуктов. Москва: Ростехнадзор, 2009.

33. Про затвердження положення про порядок визначення амортизації та віднесення амортизаційних відрахувань на витрати виробництва (обігу). Постанова Кабінету Міністрів України №1075 від 6.09.1996 р.

34. Расчет заработной платы в 2022 году. Материалы из сайта [Электронный ресурс]. URL: <https://smartfin.ua/ru/page/rozrakhunok-zarobitnoyi-platy-v-2022-rotsi> (дата обращения: 08.10.2022).

35. Ратушняк Г. С., Анохіна К. В. Тепловтрати в біогазових установках при різних температурних режимах анаеробного бродіння. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2008. № 5. С. 20-24.

36. Редукторы, мотор-редукторы цилиндрические вертикальные: каталог. Санкт Петербург: НТЦ Редуктор, 2005. 114 с.

37. Стоимость биогазовых установок. Материалы из сайта Флюид [Электронный ресурс]. URL: [http://www.fluid-biogas.com/?page\\_id=185](http://www.fluid-biogas.com/?page_id=185) (дата обращения: 15.09.2022).

38. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Ленинград: Химия, 1975. 384 с.

39. Тарифи на електроенергію для підприємств. Матеріали із сайту Мінфін [Електронний ресурс]. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/> (дата звернення: 19.09.2022).

40. Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки. Москва: Колос, 2006. 240 с.

41. Chen, F., Yu, G., Li, W., Liu, F.W., Zhang, W.P., Bu, Y.S., Li, X.M. Maximal methane potential of different animal manures collected in northwest region of China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2017, Vol. 10. Iss. 1, P. 202-208. doi: 10.3965/j.ijabe.20171001.2469.

42. Mukumba, P., Makaka, G., Mamphweli, S. Anaerobic digestion of donkey dung for biogas production. *South African Journal of Science*. 2016, Vol. 112. Iss. 7-8. P. 136-139. doi: 10.17159/sajs.2016/20160013.

43. Lijo, L., Gonzalez-Garcia, S., Bacenetti, J., Moreira, M.T. The environmental effect of substituting energy crops for food waste as feedstock for biogas production. *Energy*. 2017, Vol. 137, P. 1130-1143.

44. Polishchuk V. M., Titova L. L., Shvorov S. A., Gunchenko Y. A. Estimation of Biogas Yield and Electricity Output during Cattle Manure Fermentation and Adding Vegetable Oil Sediment as a Co-substrate. *Problemele Energeticii regionale*. 2019. Vol. 2, Iss. 43. P. 117-132. doi: 10.5281/zenodo.3367054.

45. Polishchuk V. M., Shvorov S. A., Krusir G. V., Davidenko T. S. Increase of the

Biogas Output during Fermentation of Manure of Cattle with Winemaking Waste in Biogas Plants. *Problemele Energeticii regionale*. 2020. Vol. 2, Iss. 46. P. 123–134. doi: 10.5281/zenodo.3898326.

46. Shvorov, S. A., Tarasenko, S. Ye., and Antypov, I. O. Increasing the Biogas Release During the Cattle Manure Fermentation by Means of Rational Addition of Substandard Flour as a Cosubstrate. *Science and innovation*. 2020. Vol. 16, no. 4. P. 25–35. doi: <https://doi.org/10.15407/scin16.04.025>.

47. Polishchuk V. M., Shvorov S. A., Flonts I. V., Davidenko T. S., Dvornyk Ye. O. Increasing the Yield of Biogas and Electricity during Manure Fermentation Cattle by Optimally Adding Lime to Extruded Straw. *Problemele Energeticii Regionale*. 2021. Vol. 1, Iss. 49. P. 73–85. doi: 10.52254/1857-0070.2021.1-49.02.

48. Polishchuk V. M., Shvorov S. A., Zablodskiy M. M., Kucheruk P. P., Davidenko T. S., Dvornyk Ye. O. Effectiveness of Adding Extruded Wheat Straw to Poultry Manure to Increase the Rate of Biogas Yield. *Problemele Energeticii regionale*. 2021. Vol. 3, Iss. 51. P. 111–124. doi: 10.52254/1857-0070.2021.3-51.10.

49. Polishchuk V. M., Shvorov S. A., Krusir G. V., Didur V. V., Witaszek K., Pasichnyk N. A., Dvornyk Ye. O., Davidenko T. S. Using soap waste from biodiesel production to intensify biogas generation during anaerobic digestion of cow dung. *Problemele Energeticii regionale*. 2022. Vol. 1, Iss. 53. P. 97–107. doi: 10.52254/1857-0070.2022.1-53.08

50. Rogovskii I. L., Polishchuk V. M., Titova L. L., Sivak I. M., Vyhovskyi A. Yu., Drahnev S. V., Voinash S. A. Study of Biogas During Fermentation of Cattle Manure Using A Stimulating Additive In Form Of Vegetable Oil Sediment. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020. Vol. 15, no. 22. P. 2652–2663.

51. Romaniuk, W., Rogovskii, I., Polishchuk, V., Titova, L., Borek, K., Wardal, W., Shvorov, S., Dvornyk, Ye., Sivak I., Drahnev, S., Derevjanko, D., Roman, K. Study Of Methane Fermentation Of Cattle Manure In Meso-philic Regime With Addition Of Crude Glycerine. *Energies*. 2022. Vol. 15, Iss. 9. AN 3439. doi: 10.3390/en15093439.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП **ДОДАТКИ** України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Додаток А

# НУБІП УКРАЇНИ

Порівняння виходу біогазу під час бродіння гною ВРХ з включенням фузу і без додавання косубстратів при температурному режимі 40°C

Таблиця А.1

# НУБІП УКРАЇНИ

Результати експериментальних досліджень виходу біогазу при метановому збро-  
джуванні гною ВРХ за температури бродіння 40°C

Доба	Час, год.		Висота підняття циліндру, см	Об'єм біогазу,				
	зняття показника	бродіння		см <sup>3</sup>	см <sup>3</sup> /год.	см <sup>3</sup> /год. · кг СОР	л/год. · кг СОР	л/ кг СОР
0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	13.0	-	-	-	-	-	0	-
1	11.5	22.5	9.0	2826	126.0	272.0	0.272	6.1
2	10.5	23.0	22.0	6908	300.0	650.0	0.650	15.0
3	10.0	23.5	25.0	7850	334.0	723.0	0.723	17.0
4	12.0	26.0	29.0	9106	350.0	758.0	0.758	19.7
5	9.0	21.0	20.0	6280	299.0	647.0	0.647	13.6
6	10.0	25.0	20.5	6437	257.0	557.0	0.557	13.9
7	12.0	26.0	19.0	5966	229.0	497.0	0.497	12.9
9	10.0	46.0	26.5	8321	181.0	392.0	0.392	18.0
11	13.0	51.0	27.0	8478	166.0	360.0	0.360	18.4
12	10.0	21.0	12.5	3925	187.0	405.0	0.405	8.5
13	14.0	28.0	16.5	5181	185.0	401.0	0.401	11.2
14	13.5	23.5	14.0	4396	187.0	405.0	0.405	9.5
15	11.0	21.5	12.5	3925	183.0	395.0	0.395	8.5
16	12.5	25.5	15.5	4867	191.0	413.0	0.413	10.5
17	13.0	24.5	14.0	4396	179.0	388.0	0.388	9.5
18	13.0	24.0	14.0	4396	183.0	396.0	0.396	9.5
19	9.5	20.5	11.0	3454	168.0	365.0	0.365	7.5
20	14.5	29.0	14.0	4396	152.0	328.0	0.328	9.5

Продовження табл. А.1

0	1	2	3	4	5	6	7	8
21	10.5	20.0	9.5	2983	49.0	323.0	0.323	6.5
22	11.0	24.5	9.5	2983	22.0	264.0	0.264	6.5
23	12.0	25.0	9.0	2826	113.0	245.0	0.245	6.1
24	12.0	24.0	8.0	2512	105.0	227.0	0.227	5.4
25	17.0	29.0	7.5	2353	81.0	176.0	0.176	5.1

Таблиця А.2

Результати експериментальних досліджень виходу біогазу при метановому збро-  
джуванні гною ВРХ з додаванням 1,3% фузу за температури бродіння 40°C

Доба	Час, год.		Висота підняття циліндру, см	Об'єм біогазу, см <sup>3</sup>				
	зняття показника	бродіння		см <sup>3</sup>	см <sup>3</sup> /год.	см <sup>3</sup> /год. кг СОР	л/год. кг СОР	л/кг СОР
0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	13.0							
1	14.5	25.5	18.5	5809	228.0	949.0	0.949	24.2
2	13.0	22.5	16.5	5181	230.0	959.0	0.959	21.6
3	17.0	28.0	19.5	6123	219.0	911.0	0.911	25.5
4	10.0	17.0	9.0	2826	166.0	692.0	0.692	11.8
5	16.5	30.5	16.5	5181	70.0	708.0	0.708	21.6
6	11.0	18.5	16.5	5181	280.0	1167.0	1.167	21.6
7	11.5	24.5	16.2	5086.8	208.0	865.0	0.865	21.2
8	13.0	25.5	19.0	5966	234.0	975.0	0.975	24.9
9	12.5	23.5	18.0	5652	241.0	1002.0	1.002	23.5
10	12.0	23.5	18.5	5809	247.0	1030.0	1.030	24.2
11	16.0	28.0	22.5	7065	252.0	1051.0	1.051	29.4
12	12.5	20.5	18.5	5809	283.0	1180.0	1.180	24.2
13	13.5	25.0	24.5	7693	308.0	1282.0	1.282	32.0
14	12.0	22.5	26.0	8164	363.0	1511.0	1.511	34.0
15	13.5	25.5	33.5	10519	418.0	1718.0	1.718	43.8

0	1	2	3	4	5	6	7	8
16	10.5	21.0	29.5	9263	441.0	1837.0	1.837	38.6
17	9.5	23.0	34.0	10676	464.0	1933.0	1.933	44.5
18	15.0	29.5	43.8	13753	466.0	1942.0	1.942	57.3
19	12.0	21.0	31.0	9734	464.0	1931.0	1.931	40.5
20	14.5	26.5	42.0	13188	498.0	2073.0	2.073	54.9
21	11.5	21.0	30.0	9420	449.0	1868.0	1.868	39.2
22	12.0	24.5	37.5	11775	481.0	2002.0	2.002	49.0
23	12.0	24.0	35.5	11147	464.0	1935.0	1.935	46.4
24	8.5	20.5	30.0	9420	460.0	1914.0	1.914	39.2
25	11.5	27.0	38.0	11932	442.0	1841.0	1.841	49.7
26	11.0	23.5	30.0	9420	401.0	1670.0	1.670	39.2
27	12.5	25.5	31.0	9734	382.0	1590.0	1.590	40.5
28	11.5	23.0	30.0	9420	410.0	1706.0	1.706	39.2
29	10.0	22.5	28.0	8792	391.0	1628.0	1.628	36.6
30	11.5	25.5	28.5	8949	351.0	1462.0	1.462	37.3
31	10.5	23.0	26.0	8164	355.0	1479.0	1.479	34.0
32	9.5	23.0	26.0	8164	355.0	1479.0	1.479	34.0
33	11.0	25.5	28.0	8792	345.0	1436.0	1.436	36.6
34	12.0	25.0	26.5	8321	333.0	1386.0	1.386	34.7
35	12.0	24.0	24.5	7693	321.0	1335.0	1.335	32.0
36	12.0	24.0	24.0	7536	314.0	1308.0	1.308	31.4
37	12.0	24.0	21.0	6594	275.0	1144.0	1.144	27.5
38	11.0	23.0	18.5	5809	253.0	1052.0	1.052	24.2
39	12.5	25.5	19.5	6123	240.0	1000.0	1.000	25.5
40	14.5	26.0	20.5	6437	248.0	1031.0	1.031	26.8
41	12.5	22.0	16.0	5024	228.0	951.0	0.951	20.9
42	12.5	24.0	16.5	5181	216.0	899.0	0.899	21.6
43	13.0	24.5	17.0	5338	218.0	908.0	0.908	22.2
44	12.0	23.0	16.0	5024	218.0	910.0	0.910	20.9
45	11.5	23.5	13.5	4239	180.0	751.0	0.751	17.7
46	18.0	30.5	19.0	5966	196.0	815.0	0.815	24.9
47	12.0	18.0	11.5	3611	201.0	836.0	0.836	15.0

48	12.0	24.0	14.0	4396	183.0	763.0	0.763	18.3
----	------	------	------	------	-------	-------	-------	------

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

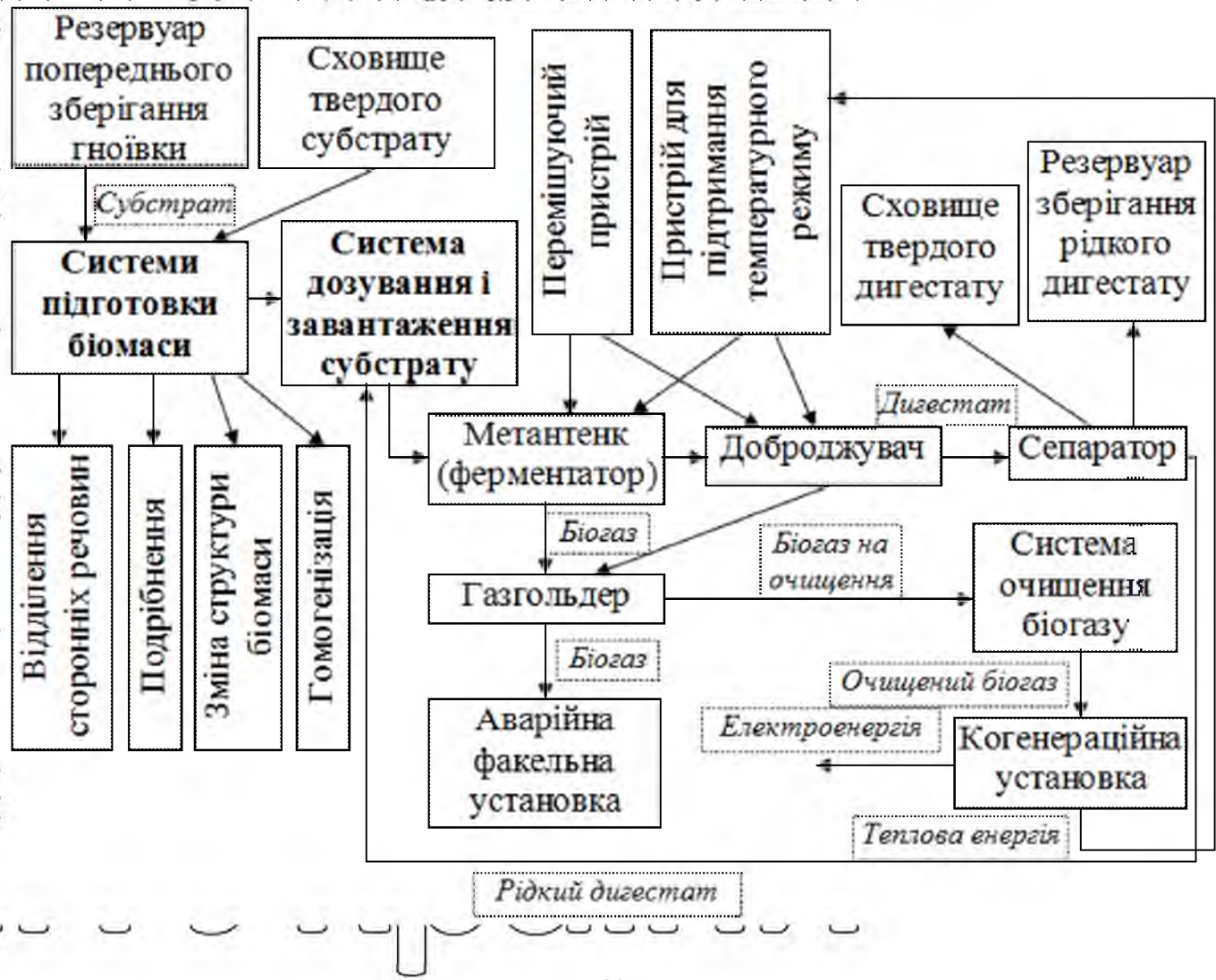
НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

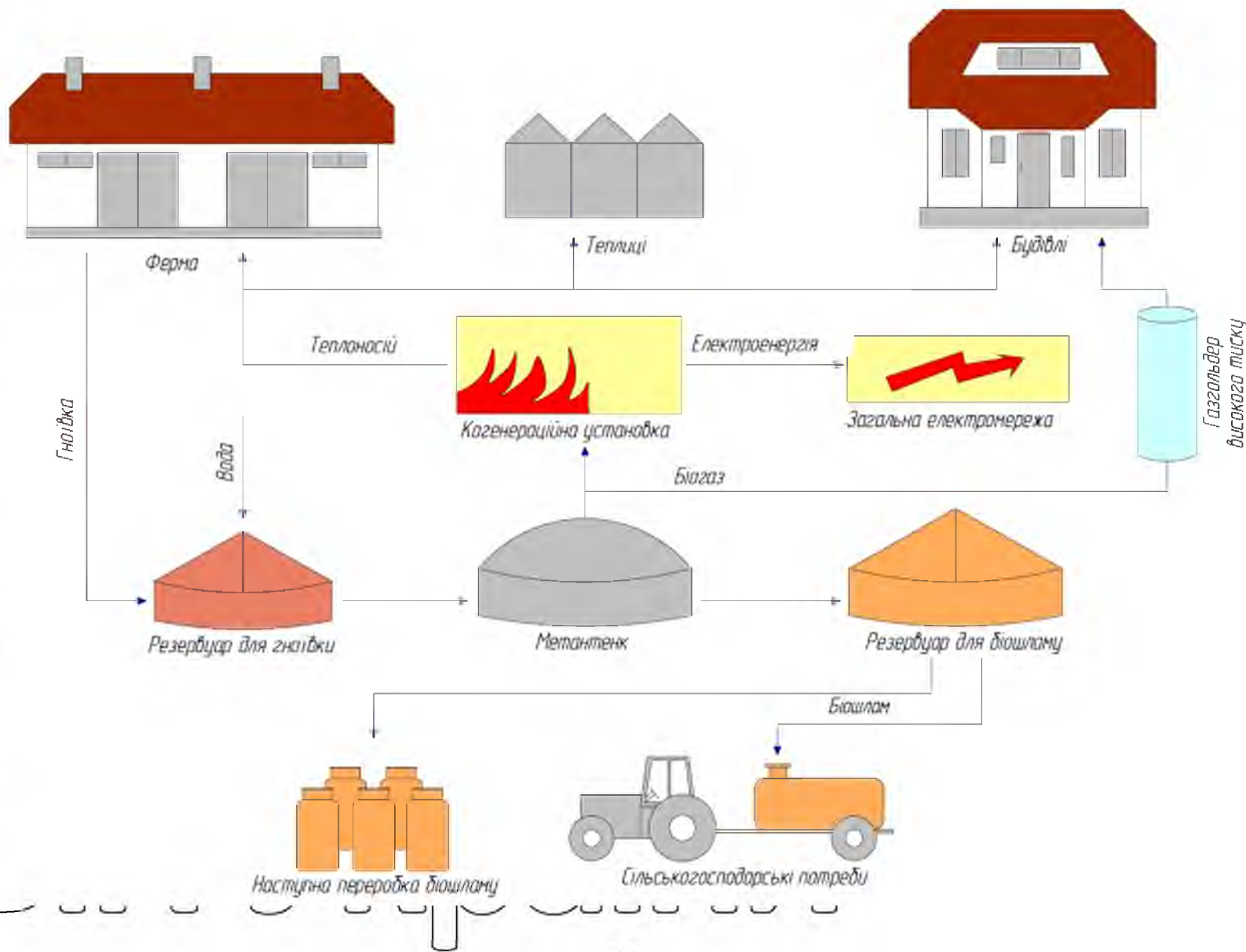
НУБІП УКРАЇНИ

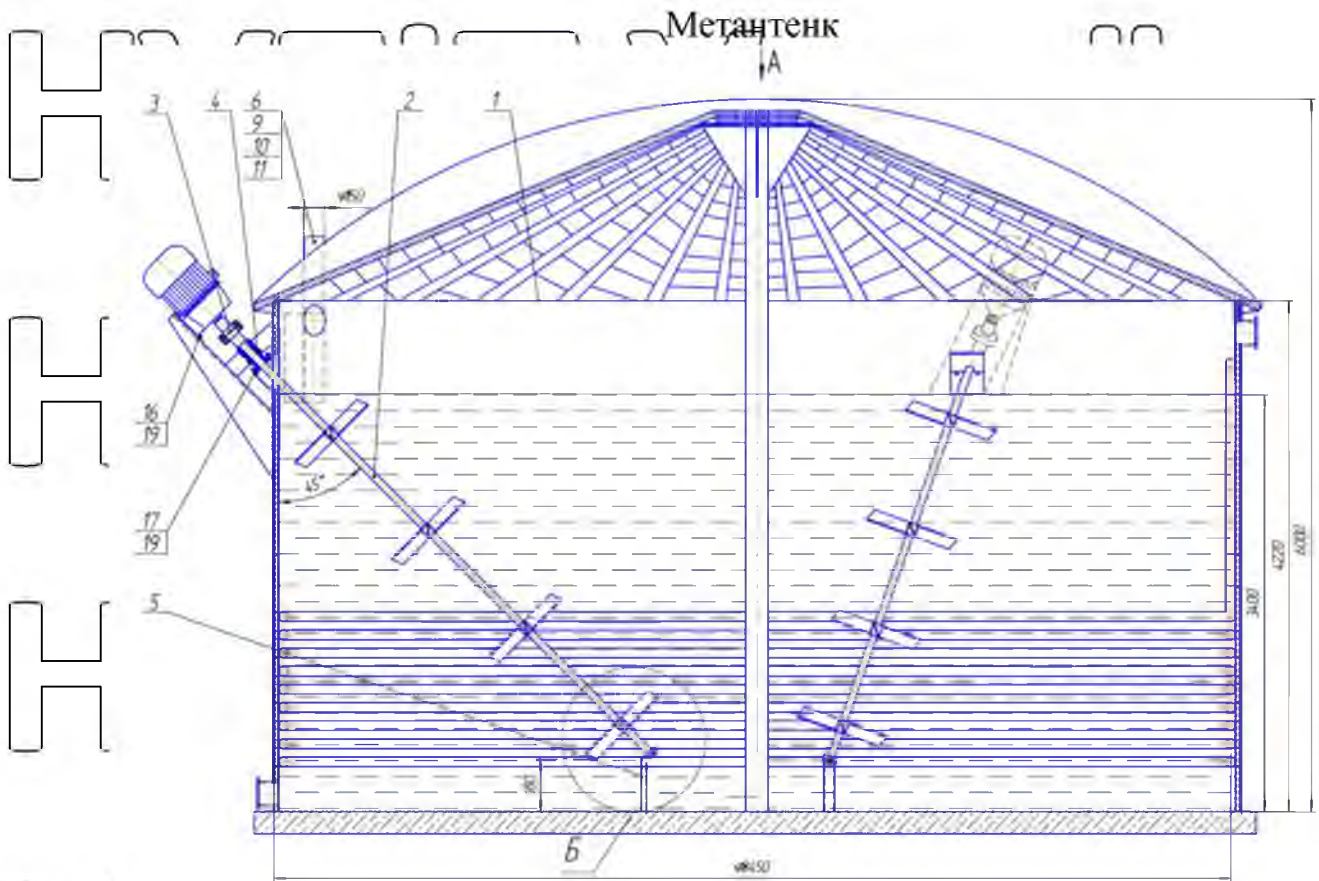
## Додаток Б

Креслення складових частин біогазової установки  
Структура біогазової установки

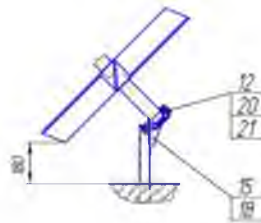


Технологічна схема виробництва і використання біогазу в ФГ "Перлина Турії" Турійського р-ну Волинської обл.

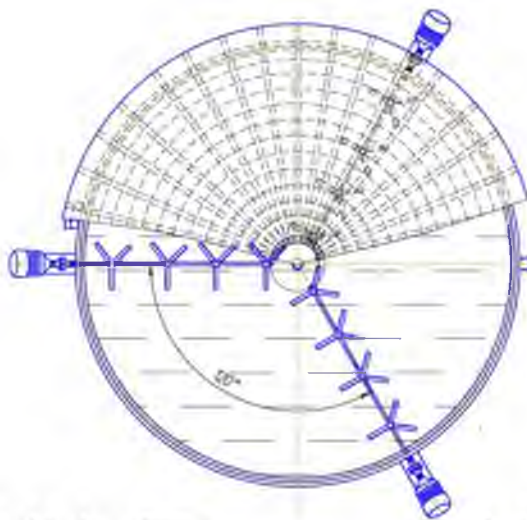




Б(110)



А (140)



Технічні характеристики

- 1.Об'єм метантенку - 237 м<sup>3</sup>.
- 2.Діаметр - 0,45 м.
- 3.Висота - 4,22 м.
- 4.Кількість установок для перемишування, шт - 3.
- 5.Метантенк виготовлений із рулонних листів сталі, покритий антикорозійною фарбою, з внутрішнім утепленням мінеральними вати товщиною 80 мм. Для метантенку одноступінчаста газозольдерка висотою із електричною паливною горілкою паливної товщиною 2 мм яко при наповненні беззаступно розпадається утворюючи газодові курки.

№	Позначення	Найменування	Кільк	Відм
		Покриття		
1	0103 - МР 2218 °С 010001021.3В	Загальний вигляд		
		Корпусна одиниця		
2		Корпус метантенку		
		Вал з мішалкою		
3	0103 - МР 2218 °С 010001021.3В	Мундшт прорізна		
4	0103 - МР 2218 °С 010001021.3В	Сольнік для щільнення		
5	0103 - МР 2218 °С 010001021.3В	Огнезащитна прокладка		
6	0103 - МР 2218 °С 010001021.3В	Газопровід		
		Деталі		
9	0103 - МР 2218 °С 010001021.3В	Фланець		
10	0103 - МР 2218 °С 010001021.3В	Підкладка		
11	0103 - МР 2218 °С 010001021.3В	Підкладка		
12	0103 - МР 2218 °С 010001021.3В	Корпус підкладки		
		І матеріали виготовлення		
13		Сталь		
14		Вал МР 20/016 ГОСТ 1738-70	24	
15		Вал МР 40/016 ГОСТ 1738-70	12	
16		Гайка МР 20/016 ГОСТ 595-70	1	
17		Гайка МР 20/016 ГОСТ 595-70	36	
18		Підкладка 6718 ГОСТ 333-71		
19		Кільця 55 ГОСТ 1390-86		
20		Мундшт редуктор 311-80		

НУДІІ УКРАЇНИ

Формат		Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Зона	Лист						
<u>Документація</u>							
A1				01.03 - МР. 2218 "С" 01.000.023.3В	Загальний вигляд		
<u>Складальні одиниці</u>							
A4	1			01.03 - МР. 2218 "С" 01.100.023	Корпус метантенку	1	
A4	2			01.03 - МР. 2218 "С" 01.200.023	Вал з мішалками	3	
A4	3			01.03 - МР. 2218 "С" 01.300.023	Муфта пружна	3	
A4	4			01.03 - МР. 2218 "С" 01.400.023	Сальникове ущільнення	3	
A4	5			01.03 - МР. 2218 "С" 01.500.023	Опора підшипникова	3	
A4	6			01.03 - МР. 2218 "С" 01.600.023	Газопровід	1	
<u>Деталі</u>							
A4	9			01.03 - МР. 2218 "С" 01.001.023	Фланець	1	
A4	10			01.03 - МР. 2218 "С" 01.002.023	Прокладка	1	
A4	11			01.03 - МР. 2218 "С" 01.003.023	Патрубок	1	
A4	12			01.03 - МР. 2218 "С" 01.004.023	Корпус підшипника	3	
<u>Стандартні вироби</u>							
		15			Болт М10х20.48.016 ГОСТ 7798-70	6	
		16			Болт М16х30.48.016 ГОСТ 7798-70	24	
				01.03 - МР. 2218 "С" 01.000.023			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.	Холод				Лит.	Лист	Листов
Проб.	Полищук						1
Н.контр.	Еременко				<b>Метантенк</b>		
Утв.					НУБІП України		

Копировал

Формат А4



