

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Кузьмінський Є.В.  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня магістра**  
**за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»**  
**зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»,**  
(код і назва)

на тему: “Біотехнологія отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів”

Виконала: студентка II курсу, групи БЕ-91мп  
(шифр групи)

Діденко Оксана Сергіївна \_\_\_\_\_ (підпис)  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник к.т.н, асистент Зубченко Л.С. \_\_\_\_\_ (підпис)  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант Технологічна частина д.т.н проф. Саблій Л.А. \_\_\_\_\_ (підпис)  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали)

Консультант Економічна частина к.е.н. доц. Ткаченко Т.П. \_\_\_\_\_ (підпис)  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали)

Рецензент к.т.н доц. Трус І.М \_\_\_\_\_ (підпис)  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ (підпис)

Київ – 2020року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут**  
**імені Ігоря Сікорського»**  
Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Освітньо-професійна програма «Біотехнології»

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»,

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студентці**  
**Діденко Оксані Сергіївні**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Біотехнологія отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів»,

науковий керівник дисертації Зубченко Людмила Сергіївна, к.т.н, асист. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження: технологія отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів.

4. Предмет дослідження: біотехнологічне отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів з подальшим його очищенням для використання як моторного палива та переробкою відходів в рідкі та тверді добрива.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: навести характеристику органічної фракції ТПВ; обґрунтувати вибір технології отримання біогазу з органічної фракції ТПВ; охарактеризувати мікробне угруповання, яке здійснює зброджування органічних відходів в біогаз; проаналізувати біохімічні перетворення, що відбуваються в процесі зброджування органічних відходів; навести характеристику кінцевої продукції; розробити технологічну та апаратурну схему процесу отримання біогазу з органічної фракції ТПВ; провести технологічні розрахунки, на основі яких обрати метантенк та газгольдер та скласти матеріальний баланс процесу; розробити схему

автоматизації стадії зброджування; розробити стартап-проект, сформулювати перелік заходів з охорони праці і охорони довкілля на підприємстві з виробництва біогазу.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу креслення технологічної схеми (A1), креслення апаратурної схеми (A1), креслення метантенка (A1), креслення схеми автоматизації стадії технологічного процесу (A1), розрахунок собівартості стартап-проекту (A1) \_\_\_\_\_.

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

#### 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина	Саблій Л.А. д. т. н., проф.		
Економічна частина	Ткаченко Т. П. к.е.н, доц.		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Обґрунтування вибору технології та способу переробки твердих побутових відходів. Обґрунтування способів очищення біогазу.		
2	Опис хімічних і біохімічних перетворень, що відбуваються в процесі біотрансформації сировини та умови за яких здійснюється процес.		
3	Опис характеру мікробного угруповання, що бере участь в процесі метаногенезу. Характер мікроорганізмів, які беруть участь на різних етапах		
4	Розробка технологічної схеми. Розробка апаратурної схеми		
5	Опис технології переробки твердих побутових відходів послідовно за стадіями, згідно з технологічною схемою виробництва.		
6	Розрахунок основних споруд і обладнань.		
7	Розробка стартап-проекту		
8	Оформлення магістерської дисертації		

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Оксана ДІДЕНКО

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Людмила ЗУБЧЕНКО

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 119с. , 4 рис., 48 табл., 34 посилань.

Для переробки органічної фракції ТПВ обрано технологію зброджування з отриманням біогазу. Для зброджування органічної фракції ТПВ обрано мезофільний режим зброджування, вологий тип ферментації та одноступінчасте зброджування. Режим роботи метантенка – безперервний. Обрано споруду для виробництва біогазу – метантенк об'ємом 1000 м<sup>3</sup> та діаметром 12,5м.

Технологія отримання біогазу з органічної фракції ТПВ включає подрібнення, розбавлення водою до вологості 95%, метанове збродження. Для очищення біогазу обрано двоступінчасте очищення методом абсорбції на першому ступені з 10% розчином NaOH та розчином H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> к. на другому ступені з подальшим зневодненням.

Розраховано матеріальний баланс процесу, наведено і описано технологічну та апаратурну схеми виробництва біогазу, розроблено схему автоматизації стадії зброджування, вказано точки і параметри контролю етапів процесу, які необхідні для забезпечення якості кінцевої продукції, розроблено стартап-проект, а також розглянуто заходи з охорони праці і довкілля.

Також передбачена схема переробки збродженого осаду в тверді гранульовані та рідкі добрива.

**БІОГАЗ, ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ, МЕТАНОГЕНЕЗ, МЕТАНТЕНК, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА, ЗБРОДЖУВАННЯ.**

## Abstract

Explanatory note: 119p. , 4 figs., 36 tables, 48 references.

For the processing of the organic fraction of solid waste, the technology of fermentation with the production of biogas was chosen. The mesophilic fermentation regime, wet type of fermentation and single-stage fermentation were chosen for fermentation of the organic fraction of MSW. The mode of operation of the methane tank is continuous. A facility for biogas production was selected - a methane tank with a volume of 1000 m<sup>3</sup> and a diameter of 12.5 m.

The technology of biogas from the organic fraction of solid waste includes grinding, dilution with water to a moisture content of 95%, methane fermentation. For biogas purification, two-stage purification by the method of absorption in the first stage with 10% NaOH solution and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>c solution in the second stage with subsequent dehydration was chosen.

The material balance of the process is calculated, the technological and equipment schemes of biogas production are given and described, the scheme of automation of the fermentation stage is developed, the points and parameters of process stages control necessary for quality assurance of final products are indicated.

There is also a scheme for processing the fermented substrate into solid granular and liquid fertilizers.

BIOGAS, SOLID WASTE, METHANOGENESIS, METANTENK, BIOGAS INSTALLATION, FERTILIZATION.

## ЗМІСТ

Вступ.....	9
<b>РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ, ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ .....</b>	<b>12</b>
1.1 Основні характеристики твердих побутових відходів.....	12
1.2 Морфологічний склад твердих побутових відходів.....	15
1.3 Характеристика органічної фракції твердих побутових відходів .....	17
1.4 Обґрунтування вибору технології виробництва біогазу з твердих побутових відходів.....	20
1.4.1 Обґрунтування вибору способу переробки органічної фракції твердих побутових відходів .....	20
1.4.2 Обґрунтування вибору технології зброджування органічної фракції твердих побутових відходів.....	23
1.4.3 Вибір типу метантенка.....	26
1.4.4 Вибір способу очищення біогазу від домішок .....	28
1.5 Характеристика асоціації мікроорганізмів, яка здійснює метанове зброджування органічної фракції твердих побутових відходів .....	32
<b>РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ. ХАРАКТЕРИСТИКА КІНЦЕВОГО ПРОДУКТУ ПРОЦЕСУ ЗБРОДЖУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ .....</b>	<b>39</b>
2.1 Характеристика процесу метаногенезу.....	39
2.2 Характеристика кінцевого продукту процесу зброджування органічної фракції твердих побутових відходів.....	43

*ЕКБ.БЕ9103.ПЗ*

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>										
<i>Розроб.</i>		<i>Діденко О.С.</i>			<b>ЗМІСТ</b>									
<i>Перевір.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>												
<i>Керів.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>												
<i>Затверд.</i>														
					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"><i>Стадія</i></td> <td style="width: 15%;"><i>Арк.</i></td> <td style="width: 15%;"><i>Акрушів</i></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">118</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ</i></td> </tr> </table>	<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>		6	118	<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ</i>		
<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>												
	6	118												
<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ</i>														

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ОРГАНІЧНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....	45
3.1 Характеристика сировини матеріалів та напівпродуктів для виробництва біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів .....	45
3.2 Опис технологічного процесу отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів.....	47
3.3 Контроль виробництва біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів .....	56
3.4 Матеріальний баланс процесу отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів.....	59
РОЗДІЛ 4 АВТОМАТИЗАЦІЯ СТАДІЇ ЗБРОДЖУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ БІОГАЗУ З ОРГАНІЧНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ .....	61
4.1 Основні рішення з автоматизації стадії зброджування органічної фракції твердих побутових відходів.....	61
4.2. Дистанційне управління.....	63
4.3 Автоматичне регулювання процесу зброджування органічної фракції твердих побутових відходів.....	65
4.4 Технологічна сигналізація та захист.....	67
РОЗДІЛ 5 ВИБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ З ОРГАНІЧНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ .....	72
5.1. Визначення добової витрати відходів та води .....	72
5.2. Визначення об'єму метантенка.....	73
5.3. Визначення ступеня розкладання органічних речовин .....	74
5.4. Визначення виходу біогазу та об'єму газгольдерів .....	74
5.4.1 Визначення виходу біогазу.....	74
5.4.2 Розрахунок процесу очищення біогазу .....	75
5.5. Тепловий розрахунок.....	76
5.5.1 Розрахунок необхідної температури води для розбавлення субстрату .....	76

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.5.2	Визначення кількості теплоти, необхідної для підтримання оптимальної температури зброджування у метантенку та витрати теплоносія .....	77
5. 6.	Розрахунок виходу твердих і рідких добрив .....	80
5.6.2	Визначення маси твердих добрив після сушіння .....	80
5. 6.3	Визначення об'єму рідких добрив.....	80
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....		82
6.1.	Резюме.....	82
6. 2.	Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу .....	84
6. 3.	Визначення ключових факторів успіху проекту .....	88
6 4.	Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів .....	99
РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....		105
7.1	Загальні вимоги щодо охорони праці та техніки безпеки на підприємстві з виробництва біогазу .....	105
7.2	Охорона довкілля.....	107
ВИСНОВКИ.....		110
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....		112
ДОДАТОК А .....		117

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

**Актуальність теми:** Однією з найбільш невирішених екологічних проблем України є проблема поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ).

На сьогодні на кожного жителя України щорічно утворюється в середньому 270-300 кг твердих побутових відходів. І, відповідно до прогнозів, у міру зростання добробуту населення і споживання продуктів і товарів кількість побутового сміття буде збільшуватися [1].

В Україні переробляється лише 2,5% всіх зібраних відходів, тому кожного року існує потреба у виділенні значних території землі для організації додаткових полігонів, оскільки існуючі переповнені понад межі.

За підрахунками фахівців, на даний момент, на звалищах накопичено понад 65 млрд.т побутових відходів. Це - величезна потенційна екологічна небезпека для міст [2].

Проблема поводження з ТПВ, на жаль, не пріоритетною ні на рівні держави, ні на місцевому рівні, тому будівництво спеціальних підприємств з переробки ТПВ відкладається на невизначений час [1].

Домінуючим способом поводження з побутовими відходами в Україні залишається їхнє вивезення та захоронення на полігонах та сміттєзвалищах. У 2016 році лише 5,8 відсотка утворених побутових відходів було перероблено, в тому числі 2,71 відсотка (1,3 млн. куб. метрів) утилізовано (спалено), 3,09 відсотка (1,53 млн. куб. метрів) спрямовано на сміттєпереробні комплекси та близько 0,003 відсотка (2000 куб. метрів) – на компостування.

Решту (близько 94 %) розміщено на полігонах та сміттєзвалищах, яких станом на 2016 рік в Україні налічувалося 5470, з них 305 (5,6 %) перевантажені, а 1646 (30 %) не відповідають нормам екологічної безпеки. За експертними оцінками більше 99 % функціонуючих полігонів не відповідають

ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Діденко О.С.			<b>ВСТУП</b>	Стадія	Арк.	Акрушів
Перевір.		Зубченко Л.С.						
							9	118
Керів.		Зубченко Л.С.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ		
Затверд.								

європейським вимогам [3].

У той же час тверді побутові відходи – це багатий енергією продукт, який можна використовувати як паливо. Наразі, світові запаси викопних палив виснажуються, а наші витрати енергії стрімко зростають, і першочерговим завданням стає як виявлення різних нетрадиційних та поновлюваних паливних ресурсів, так і забезпечення ефективного їх використання [2].

Використовувати ТПВ для отримання енергії можливо різними способами, зокрема, за рахунок спалювання та виробництва енергоносіїв (біогаз, піролізний газ). При цьому виробництво біогазу з органічної фракції ТПВ є досить перспективним з огляду на те, що воно дозволяє повністю використовувати потенціал органічної складової за рахунок виробництва енергоносія (біогазу) та органічного добрива [2].

Наразі для зменшення залежності України від імпортованих енергоносіїв актуальним завданням є пошук альтернативних джерел енергії та розробка енергозберігаючих технологій, які сприятимуть зменшенню використання природного газу. Використання відновлюваних джерел енергії, таких як біомаса, є перспективним напрямом для підвищення енергетичної безпеки країни.

Енергія, що отримується при спалюванні біогазу, може досягати 60 – 90 % від енергетичного потенціалу вихідного матеріалу. Серед усіх відновлюваних джерел енергії біогаз має особливий статус, оскільки він має широкий спектр напрямків використання, як у сфері енергетики, так і в транспорті, а в умовах України його виробництво може бути дешевшим ніж в інших країнах [4].

Біогаз є CO<sub>2</sub>-нейтральним паливом з точки зору збільшення емісії вуглекислого газу в атмосферу, оскільки виробляється з відновлювальної сировини.

Зважаючи на вищесказане та ряд інших безсумнівних переваг розробка та удосконалення технологій переробки органічної фракції ТПВ в біогаз та їх впровадження є актуальним для України.

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою дипломного проекту є обґрунтування та вибір технології виробництва біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів.

Предмет: біотехнологічне отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів з подальшим його очищенням для використання як моторного палива та переробкою відходів в рідкі та тверді добрива.

Об'єкт: технологія отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів.

Для досягнення мети поставлено наступні задачі:

- дати характеристику органічної фракції ТПВ, як сировині для отримання біогазу та біологічному агенту; обрати та обґрунтувати технологічну схему виробництва біогазу з органічної фракції ТПВ;

- розглянути основні біохімічні процеси, які відбуваються при зброджуванні органічних відходів;

- розробити технологічну та апаратурну схеми процесу отримання біогазу з органічної фракції ТПВ; визначити контрольні точки; розрахувати матеріальний баланс виробництва;

- на основі розрахунків обрати метантенк для зброджування органічної фракції ТПВ та розробити креслення обраного метантенка;

- розробити схему автоматизації стадії зброджування органічної фракції ТПВ;

- розробити стартап-проект;

- навести перелік заходів щодо охорони праці та охорони довкілля.

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ, ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

## 1.1 Основні характеристики твердих побутових відходів

Існують спеціальні методики, відповідно до яких визначають властивості і склад побутових відходів, які створені на основі вимог нормативно–правової документації та Закону України «Про відходи».

Фракційний склад ТПВ характеризують як вміст в суміші відходів шматків відповідного розміру. Фракційний склад має дуже важливе значення для переробки та транспортування ТПВ, оскільки від нього залежить вибір обладнання як для первинних процесів обробки відходів, таких як сепарація, розділення, так і для власне переробки – компостування, переробки вторсировини.

З проведених досліджень було встановлено, що до 2 % загальної маси ТПВ складають шматки з розміром більше 350 мм 98 % відходів мають менший розмір шматків [5].

Також важливе значення для переробки ТПВ мають фізико-хімічні властивості – вологість, щільність, зв'язаність, абразивні та корозійні властивості [6].

*Вологість* ТПВ, як правило коливається в дуже широких межах і залежить від сезону, місцевості (сільська чи міська), організації житлово-комунального фонду. Загальну вологість можна визначити за вмістом вологи в окремих складових відходів. Папір, картон, деревина в своєму природному стані мають вологість не більше 20 – 50 %, натомість вологість харчових відходів рідко буває нижчою 60 %, а в окремих випадках сягає 95 % і більше.

ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Діденко О.С.			<b>РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ, ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ</b>	Стадія	Арк.	Аркушів
Перевір.		Зубченко Л.С.					12	118
Керів.		Зубченко Л.С.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ		
Затверд.								

*Щільність* ТПВ також досить нестабільна характеристика, оскільки в значній мірі залежить від морфологічного та фракційного складу. Для України щільність ТПВ може коливатися в межах 0,18-0,6 т/м<sup>3</sup>. Найбільшу щільність мають відходи на територіях з пічним опаленням. Найменшу щільність, з централізованою системою опалення.

Дуже сильно щільність відходів залежить від вмісту паперу, картону та пластику, що пов'язано з тим, що щільність ТПВ залежить від процесу обробки відходів після збирання. Наприклад, пресування дозволяє збільшити щільність відходів з 140 – 180 кг/м<sup>3</sup> до 600-800 інколи 900-1000 кг/м<sup>3</sup> завдяки чому значно зменшуються витрати на транспортування та збільшується періоди експлуатації полігонів [6].

*Зв'язність* залежить від морфологічного складу ТПВ, а саме, наявності та кількості паперу, картону, текстилю, дроту, пластикової плівки.

Збільшення зв'язності призводить до ускладнення процесів перевантаження та пересипання відходів, оскільки вони втрачають здатність проходити через решітку з розміром комірки 30x30 см та утворюють аркоподібні куполи.

*Зчеплюваність* відходів – це властивість пов'язана з присутністю липких та вологих компонентів. надають відходам властивості зчеплюваності.

Зв'язність і зчеплюваність ТПВ сприяють зводоутворенню і зависанню компонентів відходів на стінках бункерів і прутах ґрат. Тому ці властивості важливо враховувати при проектуванні систем та обладнання для збору та переробки відходів.

*Абразивність* ТПВ призводить до часткового руйнування або пошкодження поверхонь, з яким контактують відходи в процесі їх переробки та сортування. Абразивність пов'язана з вмістом в ТПВ твердих компонентів з гострими краями: шматків металів, скла, кераміки, кісток. Абразивність відходів потребує використання стійких до механічних пошкоджень матеріалів при проектуванні систем переробки а сортування відходів [6].

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наявність органічних речовин у ТПВ, висока вологість та висока щільність призводять до розкладу відходів з утворенням різних кислот, які можуть спричиняти корозію обладнання.

При зберіганні ТПВ змінюються їхні фізичні властивості, зокрема відбувається злежування, самоущільнення та втрата сипучості [5].

Для транспортування ТПВ піддають примусовому пресуванню для зменшення об'єму. При цьому важливу роль відграють їх компресійні властивості. Використання обладнання, яке створює тиск 0,1 МПа дозволяє в 3 – 4 рази зменшити об'єм ТПВ та відповідно збільшити щільність до 0,7 – 0,9 т/м<sup>3</sup>. Використання тиску до 0,3 – 0,5 МПа дозволяє зменшити початковий об'єм відходів в 5 – 8 разів та збільшити щільність до 1 т/м<sup>3</sup> і більше. Завдяки стисненню витісняється зовнішня вода, відбувається зминання пустотілих компонентів відходів та ущільнення. Видалення 80 – 90 % вологи з ТПВ спостерігається при тисках в 10 – 20 МПа, при цьому їх об'єм зменшується ще в 2 – 2,5 рази із збільшенням щільності в 1,3 - 1,7 рази [6].

Хімічний склад ТПВ також варіює в широких межах (таблиця 1.1). Основним елементом ТПВ є вуглець. Також відносно велику частку складають кальцій, фосфор, азот, сірка, кисень. Високий вміст в ТПВ органічних речовин дозволяє компостувати органічну фракцію і отримувати на виході продукт з високими агрохімічними показниками.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад твердих побутових відходів [7]

Показник	Кліматична зона		
	середня	південна	північна
Зольність	28-44	20-44	21-35
Азот	0,9-1,9	1,2-2,7	1,2-1,6
Кальцій	2-3	4-5,7	2,1-4,8
Вуглець	30-35	28- 39	28-30
Фосфор	0,5-0,8	0,5-0,8	0,4-0,5
Калій	0,5-1	0,5-1,1	0,4-0,5



- кольорові метали;
- текстиль;
- дерево;
- небезпечні відходи (батареї, сухі та електролітичні акумулятори, тара від розчинників, фарб, ртутні лампи, телевізійні кінескопи тощо);
- кістки, шкіра, гума;
- залишок твердих побутових відходів після вилучення компонентів (дрібне будівельне сміття, каміння, вуличний змет тощо)[1].

Орієнтовний морфологічний склад ТПВ у відсотках для різних кліматичних зон наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Морфологічний склад ТПВ[1]

Компонент	Склад ТВП, % по кліматичних зонах		
	Середня	Південна	Північна
Папір, картон	33-35,6	27-30,9	29-33
Харчові відходи	30-38	40-46	28-36
Дерево	1,5-3,0	1-2	3,6-5,6
Метал чорний	4-6	4-5,2	4-6
Метал кольоровий	0,2- 0,3	0,2-0,3	0,2-0,3
Текстиль	4-7	4-7	5-7
Кістки	0,5-2	1-2	2-4
Скло	5-8	3-6	6-10
Шкіра, гума	1,6-1,8	1-2	1,2-2
Каміння, буд. матеріал	1-3	1-2	1-2
Пластмаса	1,7-2	1,5-1,8	1,1-1,8
Полімери	2,1-2,5	2,3-2,6	2-3
Інші	2,1-4,1	2,1-4,1	2,1-4,1

Також ТПВ класифікують за фракційним складом – відсотковим вмістом відходів певного розміру. У складі ТПВ виділяють компоненти мінерального та органічного, природного та штучного, рослинного походження [5].

Варто зауважити, що в залежності від сезону року також спостерігається зміна складу ТПВ: збільшується вміст харчових відходів з 20-25% навесні, до 40-55% восени. Це пов'язано зі збільшенням споживання сезонних овочів та фруктів. Дослідження показує, що в складі ТПВ постійно збільшується кількість паперу та полімерних матеріалів [6].

### 1.3 Характеристика органічної фракції твердих побутових відходів

Органічними відходами називають відходи, до складу яких входять вуглецеві сполуки, отримані з матеріалів тваринного або рослинного походження. До органічних відходів відносять харчові відходи, залишки овочів та фруктів, опале листя, садово-паркові відходи, різноманітні відходи рослинництва і тваринництва. Всі ці відходи легко піддаються біодеструкції в навколишньому середовищі та створюють санітарну небезпеку, тому що можуть стати джерелом розповсюдження небезпечних мікроорганізмів. Проте, після відповідної обробки, органічні відходи можуть бути високоефективним добривом [9].

Органічні відходи, які накопичуються на полігонах разом з іншими (пластик, папір, металеві відходи) становлять велику небезпеку для навколишнього середовища. Розміщення органічних відходів на звалищах призводить до бактеріологічного забруднення водних джерел, ґрунтів, а також утворення шкідливих газів, які мають неприємний запах і підсилюють парниковий ефект, є вибухо- і пожежонебезпечними.

Під дією продуктів розкладання органіки відбувається часткове розкладання інших відходів, при цьому виділяються токсичні продукти, які потрапляють у повітря та просочуються у ґрунт разом з фільтратом та опадами. В разі стихійного загоряння полігонів, в атмосферу потрапляють особливо токсичні речовини – діоксини та фурані [9]. В товщі полігонів утворюються анаеробні зони, в яких внаслідок анаеробних процесів розкладання органічних

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовин виділяється велика кількість метану, який посилює парниковий ефект.

Проблема утилізації органічної фракції ТПВ має ряд аспектів, які визначають методи її здійснення:

- ці відходи мають здатність до швидкого псування, при температурі 15-30 °C закисають;
- морфологічний склад таких відходів дуже мінливий.

На основі світового досвіду можна стверджувати, що органічні відходи можуть бути не лише забруднювачами довкілля, але і джерелами біодобрив та біогазу. Для отримання цінних продуктів необхідно застосовувати біологічні методи утилізації органічних відходів. До таких методів належить компостування, яке може бути аеробним та анаеробним, та зброджування [9].

Аеробне компостування здійснюється в присутності повітря на відкритих ділянках або в аеробних біореакторах (біобарабанах) і застосовується для переробки відходів органічного походження, переважно рослинного, такого як листя, гілки, тирса і скошена трава [9].

В побуті та промисловості утворюється велика кількість саме харчових відходів: харчових решток, зіпсованих продуктів та відходів цукрової та масложирової промисловості, тому існують технології компостування суто для харчових відходів. В процесі компостування відбувається часткова мінералізація та стабілізація органічних речовин, тому компост, що утворюється є високоякісним органічним добривом, яке легко засвоюється ґрунтовими організмами та рослинами, не має неприємного запаху та не становить санітарно-епідеміологічної небезпеки для людей та навколишнього середовища. Компост можна застосовувати в міському та сільському господарстві [10].

Нині в Україні основний метод поводження з відходами – це захоронення. За даними Національного Реєстру [11], компостується лише 0,03% від загальної кількості ТПВ в Україні. При захороненні компонентів ТПВ, що містять біодоступний вуглець, вони стають джерелом утворення парникових

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	18

газів внаслідок анаеробної деструкції в тілі полігону [12].

Варто зауважити, що парникові гази також утворюються при компостуванні, однак суміш газів, що виділяється при компостуванні має інший склад (практично не містить метану), весь газ виділяється за значно коротший термін (6-9 міс.) і в меншій загальній кількості. При використанні компостування у біобарабанах газ, який виділяється можливо піддавати очищенню перед скиданням в атмосферу. Так само і при виробництві біогазу з відходів – домішкові гази не скидають в атмосферу, а вилучають з метою переробки чи утилізації. Натомість, емісія парникових газів від місць захоронення ТПВ триватиме понад 50 років [12].

Незважаючи на те, що існують технології збору газу, який утворюється на звалищах, збір і утилізація біогазу є доцільними лише на великих полігонах. Станом на 2017 р., установки зі збору біогазу працювали на 13 полігонах ТПВ України [10, 12], а біогаз, зібраний таким чином, спалювався, частково з генерацією електричної енергії. Загалом завдяки системам збору вилучають лише 2% від загального обсягу метану, утвореного у місцях захоронення ТПВ. На сьогодні емісія метану від місць захоронення ТПВ складає 66,57% від загальної емісії парникових газів у секторі «Відходи» та має тенденцію до зростання: наприклад, за період 1990-2016 рр. Емісія метану зросла на 25,96% [12].

Умовно класифікувати органічні відходи можна за вмістом:

- вуглеводовмісні відходи (до них відносять овочі та фрукти, рослини, а також відходи харчової промисловості);
- перегній (сюди входять продукти життєдіяльності та переробки продуктів харчування рогатої худоби, птахів та інших тварин);
- целюлозовмісні (такі відходи містять продукти текстильної галузі, підприємств, які займаються переробкою зерна та рослинні відходи сільського господарства);
- відходи, отримані в процесі біологічного очищення забруднених вод.

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **1.4 Обґрунтування вибору технології виробництва біогазу з твердих побутових відходів**

### **1.4.1 Обґрунтування вибору способу переробки органічної фракції твердих побутових відходів**

Існує цілий ряд способів поводження з відходами, які дозволяють в тій чи іншій мірі вилучити корисні матеріальні та енергетичні ресурси з відходів. Зокрема органічна фракція ТПВ може як перероблятися чи утилізуватися разом з іншими компонентами так і перероблятися окремо з отриманням цінних продуктів. Загалом методи знешкодження та утилізації відходів можна розділити на [7, 8, 9, 12, 13]:

- захоронення на полігонах ТПВ з подальшим отриманням метану з тіла полігону;
- спалювання;
- інші термічні методи переробки відходів – піроліз та газифікація;
- компостування;
- анаеробна обробка з отриманням біогазу.

Захоронення на звалищах є технологічно найпростішим методом утилізації відходів, проте, хоч правильне влаштування полігонів ТПВ частково і вирішує проблему забруднення довкілля і дозволяє отримати енергію з відходів, цей метод потребує тривалого вилучення великих площ земель, які ще довгий час залишаються не придатними для господарського користування. При такому методі поводження з відходами велика частка матеріальних ресурсів, що містяться у відходах залишається.

Технології термічного знешкодження включають спалювання, газифікацію, піроліз і плазмову газифікацію [13]. Звичайне спалювання включає масове спалювання, яке може проводитися в одну чи дві стадії, та спалювання в киплячому шарі, що використовують тепер у всьому світі. Найбільш поширеним масовим спалюванням є одностадійне спалювання на похилих або рухомих колошникових решітках.

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	20

Двостадійне спалювання полягає в доспалюванні на другій стадії відхідних газів в середовищі з надлишком кисню і подаванні тепла в котел утилізатор [13].

Піроліз і газифікація відрізняються досить складними технологічними процесами і меншою мірою придатні для використання в промисловому масштабі. Для всіх процесів термічного знешкодження відходів характерні три стадії, які перекриваються, але можуть бути розділені в просторі і часі [13]:

- сушіння і дегазація (видалення летких речовин при 100-300°C);
- піроліз і газифікація (розклад органічних речовин без доступу кисню при 250-700°C з утворенням синтез-газу ( $H_2$  і  $CO$ ), смол і обвугленого залишку);
- окиснення горючих газів (синтез-газу) при 800-1450°C.

Високотемпературний піроліз вважається одним з найперспективніших напрямів переробки твердих побутових відходів як з погляду екологічної безпеки, так і отримання вторинних корисних продуктів: синтез-газу, рідкого палива, металів та інших матеріалів, які можна широко застосовувати в енергетиці, хімічній промисловості та інших галузях [13].

Газ, який отримують в процесі піролізу, має переваги над природним, тому що не містить сполук сірки й азоту. Однак у зв'язку з низькою теплотою згоряння, труднощами акумуляції і збереження піролізного газу його неможливо збирати і транспортувати на значну відстань, внаслідок чого споживач газу повинний знаходитися не далі 3 км від піролізної установки [13].

За допомогою високотемпературної газифікації економічно вигідно і технічно відносно просто переробляти тверді побутові відходи. При цьому немає потреби в попередньому сортуванні, сушінні та інших видах підготовки.

Значно доцільніше проводити сортування ТПВ з подальшою переробкою ресурс оцінних компонентів та утилізацією тих фракцій відходів, які не підлягають переробці. Таким методом поводження з відходами не тільки дозволяє максимально вилучити енергію і ресурси з відходів, але і є найбільш безпечним для довкілля.

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ідеальним методом сортування є сортування на рівні населення, адже при цьому не відбувається забруднення сировини, що далі буде перероблятися (паперу, пластику, скла) залишками харчових відходів, а органічна фракція не забруднюється дрібними компонентами відходів, що не піддаються біодеструкції.

Відсортовану органічну фракцію ТПВ можна переробляти наступними методами:

- компостування;
- анаеробна обробка (зброджування);
- вермикомпостування.

Більшого поширення для переробки органічної фракції міських ТПВ набули компостування та анаеробне зброджування. Відповідно до [14] рекомендується переробляти ТПВ одним цих двох методів.

Обидва методи дозволяють ефективно знешкодити відходи та отримати цінне добриво, яке використовується для підвищення родючості ґрунтів. При сортуванні відходів на місцях (населенням) добриво, що отримують цим шляхом не містить шкідливих для довкілля та токсичних для людини та інших живих організмів компонентів.

Анаеробне зброджування, хоч і потребує складнішого обладнання проте дозволяє ще й вилучити частину енергії, акумульованої у відходах. Біогаз, що отримують шляхом анаеробного зброджування можна використовувати різними шляхами: спалювати в когенераційних установках з отриманням електроенергії, очищати та використовувати як заміників природного газу, використовувати як моторне паливо тощо.

Перевагами методу анаеробного зброджування перед компостуванням також є менша тривалість процесу (7-20 діб в порівнянні з 2-7 місяців), відсутність потреби у великій площі для розміщення буртів.

Ще одним перспективний напрямом у компостуванні є вермикультура – використання спеціальних культур дощових черв'яків, а саме каліфорнійських

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
										22

ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ

червоних (*Eisenia foetida*). Черви в процесі життєдіяльності перетворюють субстрат (відходи) в повноцінний білок і екологічно чисте добриво – біогумус. Вихід готового продукту, в залежності від виду субстрату і умов життєдіяльності черв'яків досягає 40–60 %, тобто з однієї тони органічних відходів можна отримати 400-600 кг біогумусу – цінного органічного добрива, а також 100 кг білкової маси, яку можна використати для годівлі тварин, птахів чи риби [9, 15].

З огляду на вищесказане, враховуючи задані витрати відходів, вважаємо доцільним вибір анаеробного зброджування для переробки органічної фракції ТПВ.

#### **1.4.2 Обґрунтування вибору технології зброджування органічної фракції твердих побутових відходів**

На відміну від фізичних та хімічних методів, окрім отримання енергії, яка в даному випадку отримується за рахунок спалювання біогазу, при біологічній конверсії органічної фракції ТПВ в біогаз отримують ще побічні продукти, які можуть бути використані в різних галузях промисловості.

При метановому бродінні виділяється біогаз і утворюється осад, який містить у своєму складі залишки поживного середовища та бактеріальну біомасу, який може бути використаний в якості біодобрива в сільському господарстві [16].

Існує велика різноманітність методів отримання біогазу, проте всі їх можна звести до декількох варіантів з огляду на технічні характеристики процесу.

Принципова відмінність в роботі метантенків різних видів полягає в способі подачі сировини (методи порційної подачі, проточний), типі змішування маси, що зброджується (повне змішування або пробкове проштовхування), кількості ступенів процесу (одно- або багатоступінчата система) і по

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- стабільним виходом біогазу в часі;
- профілактика і ремонт наповненого ферментатора можливі не в повному об'ємі [18].

### ***Метод повного змішування***

На практиці часто використовують метаногенні реактори, в яких субстрат, що подається повністю переміщується з вмістом метантенка. Завдяки цьому відпадає необхідність в рециркуляції частини зброженої суміші і процес починається безпосередньо після внесення нової порції субстрату.

Зрозуміло, що в проточних установках час бродіння субстрату тоді відповідає розрахованому середньому часу бродіння, оскільки внаслідок змішування частина свіжого матеріалу покидає метантенк. При плануванні цьому чиннику необхідно також приділити увагу [17].

### ***Метод пробкового проитовхування субстрату***

В установках, що використовують пробкове проитовхування, субстрат просувається як пробка в повздовжньому напрямі по ферментатору. Діаметр такого резервуару повинен бути набагато меншим ніж його довжина, слід розраховувати співвідношення діаметру до довжини як мінімум 1:4 [17].

Мішалку необхідно встановити впоперек до напрямку течії, вона може також підігрівати течію. Перемішування переважно відбувається в поперечному напрямі. При певних обставинах може виникнути потреба в затравці (додаванні переродженого субстрату) з метою якнайшвидшого приведення процесу в дію. Важливо відзначити, що така конструкція займає багато місця [19].

Залежно від виконання мішалки, установки такого типу можна завантажувати істотно вище ніж установки повного змішування. На практиці відоме завантаження 5-10 кг органічної сухої речовини на м<sup>3</sup> об'єму ферментатора в день. Як правило після описаного типу ферментатора встановлюють великий доброджувач, який робить можливим тривале бродіння.

### ***Одно- або багатоступінчатий метод***

Бродіння субстрату з метою отримання біогазу може проходити з

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використанням одно або багатоступінчатого методу ведення процесу.

При використанні одноступінчатого методу процес бродіння проходить 3 етапи в одному і тому ж резервуарі. Тому, для систем повного перемішування всі етапи метанового бродіння відбуваються паралельно в часі і просторі. Для установок системи періодичного режиму роботи ці процеси відбуваються послідовно в часі один за іншим [17]. У установках пробкового руху спостерігається певне часове зміщення.

При багатоступінчатому методі різні етапи процесу метанового зброджування розділять по різних реакторах або за допомогою влаштування кількох камер у одному ферментаторі.

Враховуючи, що для мікроорганізмів різних етапів метанового зброджування необхідні різні умови середовища, цей метод, хоч і є дорожчим через необхідність влаштування двох реакторів, але часто дозволяє досягнути більшої ефективності процесу.

Багатоступінчаті методи використовуються:

- якщо субстрат повинен обов'язково пройти гігієнізацію;
- якщо об'єм бродильної камери невеликий, а необхідно підвищити ступінь гідролізу або розкладання;
- якщо субстрати важко перемішувати з технічної точки зору і при дуже великому завантаженні ферментатора, якщо планується пробковий рух субстрату [19]

Для зброджування органічної фракції ТПВ обираємо мезофільний режим зброджування, вологий тип ферментації та одноступінчасте зброджування. Режим роботи метантенка – безперервний.

### 1.4.3 Вибір типу метантенка

За типом розташування та площиною руху сировини в реакторі метантенки поділяють на вертикальні та горизонтальні.

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Горизонтальне розташування має певні переваги перед вертикальним особливо при використанні сухого способу зброджування. В горизонтальних конструкціях можна застосовувати потужні, надійні в експлуатації і енергоощадні механічні перемішуючі пристрої, завдяки яким досягається хороший ефект перемішування, направлений перпендикулярно до течії. При цьому значного перемішування у напрямі течії не відбувається. Завдяки цьому складаються сприятливі умови з погляду біохімічних процесів біосинтезу метану [20]. Для горизонтальних метантенків характерні високі навантаження за органічною речовиною, які можуть досягати до 7-10 кг/м<sup>3</sup>[20].

Недоліком горизонтальних метантенків є велика потреба в площі для розміщення. Велика площа поверхні, в порівнянні з об'ємом (і як наслідок – високі тепловтрати) та необхідність додавати інокулят (зброджений субстрат) з кінця метантенка на початок також є значними недоліками. У зв'язку цим вертикальні метантенки, як правило будують об'ємом до 1000 м<sup>3</sup>.

Горизонтальні ферментатори виготовляються переважно у вигляді циліндричних металевих баків і розміщуються над поверхнею ґрунту. Бетонні метантенки можуть мати також квадратну або прямокутну форму поперечного перерізу і частково бути розміщені нижче рівня поверхні ґрунту [17].

Вертикальні метантенки переважно мають круглу форму поперечного перерізу. В порівнянні з горизонтальним варіантом вони мають ту перевагу, що вони компактніші, мають вигідніше співвідношення площі поверхні до об'єму, що зменшує витрати матеріалів і тепловтрати. Вони не обмежені в своїх об'ємах, на сьогоднішній день існують типові конструкції вертикальних метантенків об'ємом до 6000 м<sup>3</sup>[17]. Днище вертикальних метантенків може бути у вигляді півсфери або конусу. Для метантенків великих об'ємів рекомендовано використовувати конічні днища.

Досягнути умов пробкового проштовхування в вертикальних метантенках неможливо, тому всі вони працюють за принципом повного або часткового змішування. Вимоги до перемішуючого пристрою в вертикальних метантенках

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значно вищі, оскільки потрібно забезпечити створення умов для практично повної гомогенізації та вертикального перемішування.

Для нормального протікання процесу збродження навантаження вертикальних метантенків за органічною речовиною має бути 4 кг органічної речовини на м<sup>3</sup> резервуару. І залежить від розмірів метантенка, типу мішалок і їх потужності, а також від властивостей субстрату, який зброджується [20].

Наземне або підземне розміщення метантенка.

Наземне розміщення обирають, як правило, при високому рівні ґрунтових вод та невеликих об'ємах самого метантенка. У разі використання наземного розміщення обов'язковим є використання зовнішньої теплоізоляції.

Неповне занурення, надземне або підземне розміщення вертикальних резервуарів обирають залежно від рівня ґрунтових вод.

Повністю підземні метантенки більш енергоефективні через низькі тепловтрати, не міняють загального виду ландшафту, не займають місце над поверхнею землі, але потребують виконання земляних робіт на етапі спорудження. Варто враховувати, що більшість допоміжних комунікацій в разі підземного розміщення метантенків теж знаходяться під землею, що ускладнює їх ремонт та обслуговування [17]. Підземне розміщення – це ідеальний варіант для метантенків великого об'єму.

Зважаючи на необхідні об'єми виробництва та характеристику сировини для зброджування органічної фракції ТПВ обираємо вертикальний метантенк з підземним розміщенням з конічним днищем.

#### **1.4.4 Вибір способу очищення біогазу від домішок**

Відповідно до завдання необхідно очистити біогаз для використання в якості моторного палива. Тому для очищеного біогазу важлива повна відсутність аміаку, низький вміст сірководню (до 0,02 %), низький вміст води (до 0,2 %), відсутність оксидів сірки.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	28

Виробництво та використання біогазу не тільки як палива, а й у вигляді основних чистих компонентів (метану й діоксиду вуглецю), значно підвищує економічну цінність цього нетрадиційного джерела енергії й сировини, поліпшує екологічну ситуацію та дозволяє отримати цінні органічні добрива.

Метан може використовуватися як паливо, а діоксид вуглецю – як інертний газ для зварювальних робіт, для заправлення вогнегасників, у харчовій промисловості, як холодоагент у вигляді сухого льоду, у тепличних господарствах тощо.

Діоксид вуглецю( $\text{CO}_2$ ) та сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) – це найпоширеніші шкідливі домішки в біогазі. Кількість  $\text{H}_2\text{S}$  варіює від відсотків до десятих часток відсотка. Діючи в Україні технічні умови на біогаз метантенків вимагають зниження вмісту  $\text{H}_2\text{S}$  до  $0,2 \text{ г/м}^3$ [21].

Для грубого очищення біогазу від домішок застосовуються такі способи [21]:

- абсорбція водою під тиском;
- етаноламінове очищення;
- абсорбція гарячим розчином поташу.

Для тонкого очищення газу застосовуються такі способи:

- абсорбція  $\text{CO}_2$  розчинами лугів  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;
- низькотемпературна абсорбція метанолом для очищення біогазу від  $\text{CO}_2$ ;
- технологія очищення біогазу від  $\text{H}_2\text{S}$  і  $\text{NH}_3$  на біофільтрах;
- окисно-адсорбційний метод очищення газів від сірководню [22].
- адсорбція  $\text{H}_2\text{S}$  на оксидах алюмінію і цеолітах [22]

Абсорбційні методи базуються на різній розчинності сірководню та інших компонентів газів у водних розчинах чи органічних розчинниках.

Розчинність сірководню у воді становить  $0,378 \text{ г}$ , вуглекислого газу  $0,169 \text{ г}$ , а метану  $0,00236 \text{ г}$  на  $100 \text{ г}$  води ( $20^\circ$ ). Крім сірководню, абсорбційні методи дають змогу поглинати з газів й інші домішки такі як:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{COS}$ ,  $\text{CS}$ ,  $\text{RSH}$ , а інколи навіть осушити біогаз [22].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ					29

Очищення біогазу абсорбцією водою ґрунтується на різній розчинності у воді діоксиду вуглецю, сірководню, аміаку і метану. При невисоких парціальних тисках розчинність  $\text{CO}_2$  у воді невелика, але зі збільшенням тиску вона зростає.

Регенерацію води проводять шляхом зниження тиску при цьому абсорбовані гази виділяються з розчину.

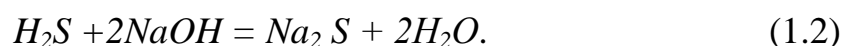
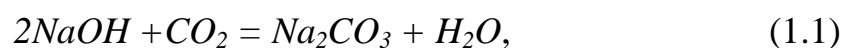
Цей спосіб очищення доволі простий і дозволяє багаторазово використовувати оборотну воду, проте у технічній оборотній воді, що використовується для водного очищення від  $\text{CO}_2$ , містяться розчинені солі, що знижують розчинність  $\text{CO}_2$  у технічній воді порівняно з чистою. Суттєве значення для економічності процесу водяного очищення має витрата води на очищення і витрата енергії на подачу цієї води [21]. При використанні цього методу отримують суміш газів, які потрібно далі розділяти для того, щоб використати.

Для очищення газу від  $\text{CO}_2$  та сірководню застосовують розчини етаноламінів (аміноспиртів), що мають лужні властивості і при взаємодії з кислотами утворюють солі [21].

При етаноламіновому очищенні біогазу від  $\text{CO}_2$  протікають побічні реакції, внаслідок яких відбуваються необоротні зміни складу розчину, що знижують його поглинальну здатність і призводять до втрат аміну. Розчини етаноламінів викликають корозію обладнання, особливо при високих ступенях насичення кислими газами.

Економічність процесу очищення визначається, в основному, витратою тепла на регенерацію розчину етаноламіну, які залежать від схеми регенерації [21].

Очищення газів від  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{S}$  водним розчином гідроксиду натрію  $\text{NaOH}$  засновані на необоротній реакції:



Парціальний тиск  $\text{CO}_2$  над розчином їдкого натрію  $\text{NaOH}$  у процесі поглинання дорівнює нулю доти, доки весь луг не перейде в карбонат.

									30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ				

Поглинання  $\text{CO}_2$  розчином карбонату натрію протікає з утворенням бікарбонату:



Швидкість абсорбції  $\text{CO}_2$  лугом зростає з підвищенням температури. Збільшення концентрації карбонату в розчині сприяє зниженню швидкості абсорбції.

Регенерація відпрацьованого розчину лугу здійснюється вапном:



Проте регенерацію відпрацьованого лугу передбачають тільки при значній витраті лугу. Як правило, відпрацьований розчин лугу використовують для нейтралізації середовища при закисленні. На очищення  $1000 \text{ м}^3$  газу витрачається  $0,15 - 1,6 \text{ кг}$   $92\%$  - і каустичної соди (залежно від концентрації  $\text{CO}_2$  у вихідному газі). На регенерацію відпрацьованого розчину лугу витрачається  $9 \text{ кг}$   $\text{CaO}$  і  $30 \text{ кг}$  пари при тиску  $0,5 \text{ МПа}$  [21].

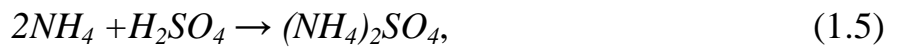
Адсорбційні методи очищення від сірководню базуються на поглинанні сірководню твердими речовинами – сорбентами [22]. Як сорбенти використовують метали та оксиди металів у вигляді порошку, стружки, цеоліти тощо. Регенерація цих матеріалів можлива, проте часто досить високовартісна та потребує спеціального обладнання. Враховуючи досить низький вміст сірководню в біогазі використовувати такі методи часто нерентабельно.

Ефективність застосування абсорбентів головним чином залежить від фізико-хімічних властивостей, (питома поверхня, об'єм, величина та розташування пор). Розміри молекули сірководню відносно невеликі, тому для його уловлення використовують абсорбенти з високою мікропористістю [22].

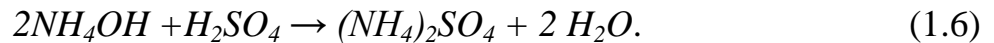
Адсорбційні методи очищення газів від сірководню дають змогу досягти високого ступеня очищення, однак через невисоку сорбційну ємність абсорбентів їх доцільно використовувати для очищення газів з невисоким вмістом сірководню до  $0,5-1,0\%$  [22].

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для очищення біогазу від аміаку запропоновано використовувати абсорбцію кислотою [23]. Поглинання аміаку з утворенням солей амонію буде відбуватися зокрема при взаємодії з сульфатною кислотою відповідно до реакції:



або при використанні розчину аміаку:



Сульфат амонію, що утворюється містить 21 % Нітрогену і 24 % Сульфуру. Заміну абсорбента здійснюють при досягненні нейтрального значення рН[23].

Для очищення біогазу, що утворюється в процесі зброджування органічної фракції ТПВ потрібно обрати технологію, яка дозволить очистити біогаз до показників, які задовольняють вимоги до використання біогазу як моторного палива. Важливо, щоб біогаз після очищення не містив аміаку та сульфовмісних продуктів, а також мав низький вміст CO<sub>2</sub>.

Тому очищення біогазу, що утворюється в процесі зброджування органічної фракції ТПВ обираємо двостадійне очищення в абсорберах з розчином гідроксиду натрію і сірчаною кислотою.

Після очищення біогаз підлягає обов'язковому зневодненню на механічному фільтрі осушувачі.

### **1.5 Характеристика асоціації мікроорганізмів, яка здійснює метанове зброджування органічної фракції твердих побутових відходів**

В процесі метанового зброджування органічних відходів беруть участь багато видів мікроорганізмів, однак, основними біологічними в агентами, які сприяють руйнуванню органічних речовин є бактерії.

З точки оптимальної температури для протікання ферментативних реакцій процесу зброджування виділяють два основних види мікроорганізмів – термофільні – активні при температурі 45 – 70 °С, і мезофільні – активні при температурі 20 – 40 °С .

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ферментативний гідроліз і кислотоутворення здійснюються ферментативними бактеріями, які представлені родами *Bacillus*, *Clostridium*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* та ін. На стадії кислотоутворення джерелом живлення для гетерогенних мікроорганізмів є вуглець [24].

Друга група – облігатні ацетогенні бактерії синтезують водень і оцтову кислоту, а іноді і вуглекислий газ з кінцевих продуктів першої стадії [16].

Ацетогенна стадія здійснюється двома групами бактерій. Перша група утворює ацетат з виділенням водню. Друга група бактерій забезпечує виділення оцтової кислоти і використовує при цьому водень для відновлення вуглекислого газу [24].

На третій стадії метаногени використовують водень, утворений на попередніх стадіях і відновлюють вуглекислий газ до метану, а оцтову кислоту розщепляють до метану та вуглекислого газу.

Саме метаногени відіграють значну роль в процесі анаеробного розкладання органічних речовин, оскільки вони є єдиними мікроорганізмами, які здатні здійснювати катаболізм оцтової кислоти і водню з утворенням газоподібних продуктів без використання сонячної енергії або екзогенних акцепторів електронів (кисню, сульфатів, нітратів) [25].

Взаємозв'язок між мікроорганізмами різних стадій досить тісний. Розвиток метаногенів не можливий без трофічних зв'язків з бактеріями попередніх стадій через їхню високу субстратну специфічність. В свою чергу, метаногенні бактерії, використовуючи речовини, синтезовані анаеробними мікроорганізмами на першій та другій стадіях, визначають швидкість реакцій, які здійснюють ці бактерії [26].

Без участі метаногенів ефективно розщеплення складних органічних сполук практично стає неможливим через накопичення відновлених жирних кислот і спиртів, які містять майже таку саму кількість енергії, яка міститься в вихідному субстраті [25].

На метаногенній стадії в процесі беруть участь групи бактерій, які

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розщеплюють ацетат, і група бактерій, яка відновлює вуглекислий газ воднем. Це бактерії *Methanococcus*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanofrix* і *Methanosarcina* [24].

Розклад ацетату з утворенням метану і вуглекислого газу здатні здійснювати представники тільки двох родів метаногенних бактерій *Methanofrix* і *Methanosarcina*. *Methanosarcina* потребують більш високих концентрацій ацетату, і, як правило, зустрічаються в метантенках з високою швидкістю процесу, але не з глибоким зброджуванням субстрату. *Methanofrix* мають більшу спорідненість до ацетату і здатні його використовувати в концентраціях до п'яти разів нижчих, ніж метаносарцина.

Ацетат, так само як і водень відіграє важливу регуляторну роль в угрупованні.

Метаногенне угруповання функціонує з найбільшою швидкістю при збалансованій чисельності бактерій в кожній групі. Найбільша швидкість досягається коли кількість метанових бактерій достатня для підтримання низької концентрації водню і ацетату. Швидкість росту метаногенів на порядки нижча ніж первинних анаеробних бактерій. Особливо повільно ростуть *Methanofrix*, які метаболізують ацетат [26].

Метанові бактерії строго анаеробні. Оптимальний режим утворення метану протікає при рН 7,0 – 7,5 [24].

Метаногени складають обмежену, але різноманітну групу і мають дуже віддалене відношення до інших мікроорганізмів. Вони являють собою групу бактерій, яка включає різноманітні види з різною формою і структурою клітин. Метаногени відрізняються від інших мікроорганізмів тим, що в стінках їх клітин не міститься мурамова кислота, а в ліпідах замість звичайних гліколіпідів і фосфоліпідів, зв'язаних у складні ефіри, містяться гліцеринові ефіри фітанілу  $C_{20}$  і дифітанілу  $C_{40}$ . Для росту метаногенів необхідні строго анаеробні умови: мікроорганізми можуть рости тільки за відсутності кисню при окисно-відновному потенціалі середовища нижче 300 мВ [25].

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



бактерій нижча ніж кислотоутворюючих, при збільшенні кількості органічних речовин, які утворюються в процесі життєдіяльності кислотоутворюючих бактерій, може утворюватись надлишок летких кислот, які сприяють зниженню рН середовища нижче 6,5, що призводить пригнічення росту і розмноження метанових бактерій. Проте, зазвичай величина рН підтримується на постійному рівні завдяки буферним властивостям субстрату [18].

При стабільному процесі утворення біогазу потреба в органічних кислотах (їх також називають еквівалентами оцтової кислоти) нижче 2000 мг/дм<sup>3</sup>[17].

Оптимальними значеннями для росту таких угруповань є:

- лужність 1500 – 5000 мг СаСО<sub>3</sub> на 1 дм<sup>3</sup> субстрату;
- рН 6,5 – 7,5;
- вміст летких кислот 600 – 1500 мг на 1 дм<sup>3</sup> субстрату.

Ознаками порушення процесу анаеробного зброджування є: зниження лужності, зменшення величини значення рН, збільшення вмісту летких кислот, збільшення частки СО<sub>2</sub> в газі, що виділяється, зниження виходу газу [18].

Вимоги до поживних речовин для метаногенних бактерій прості – ріст більшості видів проходить в середовищі мінеральних солей, СО<sub>2</sub>, аміаку та сульфідів, які відповідно слугують основними джерелами вуглецю, азоту і сірки [25], мінеральних речовин і мікроелементів [17]. Аміак має важливе значення для росту, і жоден з відомих видів метаногенів не використовує в якості джерела азоту амінокислоти або пептиди [25]. Активність мікробної асоціації, все-таки значною мірою визначається співвідношенням вуглецю і азоту. Найбільш сприятливі умови відповідають значенням  $C/N = 10 - 16$  [18].

Принциповим є, що чим менше субстрату, тим краще. Чим більше площа взаємодії для бактерій і чим більш волокнистий субстрат, тим легше і швидше бактеріям розкладати субстрат. Крім того, його простіше перемішувати, змішувати і підігрівати без утворення плаваючої кірки або осаду. Ступінь подрібнення сировини впливає на кількість виділеного газу за певний період бродіння. Чим коротший період бродіння, тим краще повинен

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бути подрібнений матеріал. При достатньо тривалому періоді бродіння кількість виробленого газу буде досить високою навіть за відсутності подрібнення [17].

Перемішування важливе не тільки щоб уникнути кірки і осаду, але і для відведення утвореного газу. Чим густіший субстрат, тим частіше треба його перемішувати [17].

Інгібіторами процесу анаеробного зброджування є перш за все важкі метали та їх солі, лужні метали та аміак (в великих кількостях), нітрати сульфідів, детергенти, органічні розчинники, антибіотики [18].

Деякі речовини ушкоджують оболонку клітин або структуру бактерій, інші речовини руйнують ензими обміну речовин клітини (важкі метали і т.д.).

У таблиці 1.3 наведено дані щодо впливу важких металів на процес метаногенезу [18].

Токсичність важких металів залежить від їх розчинності у воді, яка у свою чергу залежить від рівня рН. Важкі метали діють на ензими клітинного обміну речовин і можуть негативно впливати на життєдіяльність бактерій. При цьому немає чіткої межі між стримуючою і токсичною дією. Це пов'язано з високою здатністю бактерій пристосовуватися до змін у складі субстрату.

Таблиця 1.3 – Вплив важких металів на процес метаногенезу [18]

Метал	Сповільнююча дія, мг/дм <sup>3</sup>	Токсична дія, мг/дм <sup>3</sup>	Необхідна концентрація, мг/дм <sup>3</sup>	Допустима концентрація, мг/дм <sup>3</sup>
Мідь (Cu)	40-250	170-300	–	10
Цинк (Zn)	150-600	250-600	–	32
Нікель (Ni)	10-300	30-1000	0,006-0,5	4
Свинець (Pb)	300-340	340	0,02-200	12
Хром III (Cr)	120-300	260-500	0,005-50	8
Хром VI (Cr)	100-110	200-420	–	–
Молибден (Mb)	–	–	0,005-0,05	–
Селен (Se)	–	–	0,008	–
Марганець (Mn)	–	–	0,005-50	–
Ртуть (Hg)	–	–	–	0,08
Залізо (Fe 2+)	–	–	1-10	–

Іони важких металів не чинять інгібуючого впливу на мікроорганізми, коли вони утворюють важкорозчинні сульфідні метали з  $H_2S$  і випадають в осад [17].

Антибіотики, хіміотерапевтичні і дезінфікуючі засоби можуть стримувати процес бродіння і привести до його повної зупинки, особливо при їх високій концентрації.

Стимулюючий вплив чинить також накопичення органічних кислот, через підвищення кислотності, як було зазначено вище.

В природних умовах мікроорганізми, які беруть участь у метановому бродінні присутні в відходах тваринництва оскільки ці бактерії є симбіотичними мікроорганізмами, за допомогою яких жуйні тварини перетравлюють їжу, яка містить складні органічні речовини [25].

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ. ХАРАКТЕРИСТИКА КІНЦЕВОГО ПРОДУКТУ ПРОЦЕСУ ЗБРОДЖУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

### 2.1 Характеристика процесу метаногенезу

Метанове бродіння – давно відомий процес розкладання складних органічних речовин мікроорганізмами в анаеробних умовах. Він широко поширений в природі (розкладання органіки в болотах, ґрунті, рубці тварин).

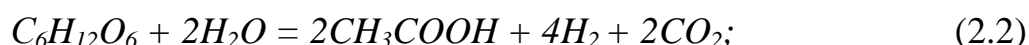
Процеси деструкції органічних речовин до метану відбуваються також в осадових відкладеннях, в результаті чого утворюються промислові родовища природного газу. Кінцевим продуктом метанового бродіння є біогаз, що складається в середньому з 65-70% метану і 25-30% діоксиду вуглецю з невеликими домішками сірководню, водню, азоту [4].

Процес утворення біогазу (метаногенез) проходить у три стадії [4]:

I стадія – розкладання органічної маси(гідроліз):



II стадія – розмноження ісло утворюючих бактерій (ацетогенез):



III стадія – розмноження метанотворюючих бактерій (метаногенез):



На першій стадії метаногенезу шляхом гідролізу відбувається розкладання високомолекулярних сполук (вуглеводів, особливо клітковини (целюлози), жирів, жироподібних речовин (фосфогліцеринів, гліколіпідів, воску, стероїдів тощо) та білків на низькомолекулярні органічні сполуки, а саме, моно- та олігосахариди, амінокислоти і пептиди, пуринові піримідинові азотисті основи, гліцерин, карбонові кислоти, діоксид вуглецю і водню [4].

					<b>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Діденко О.С.</i>			<b>РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ. ХАРАКТЕРИСТИКА КІНЦЕВОГО ПРОДУКТУ ПРОЦЕСУ ЗБРОДЖУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ</b>	<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>						
<i>Керів.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>					39	118
<i>Затверд.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ</i>		

Перша стадія ферментації полісахаридів багато чим нагадує ферментацію складних органічних сполук в рубці і проходить по шляху Емдера – Мейєрхофа – Парнаса з утворенням електронів пірвіноградної кислоти, які відновлюються в нікотинамід-аденін-динуклеотид, характер продуктів, які утворилися залежить від того наскільки глибоко проходить катаболізм пірвіноградної кислоти. Схеми можливих шляхів метаболізму глюкози наведені на рисунках 2.1 та 2.2 [27].

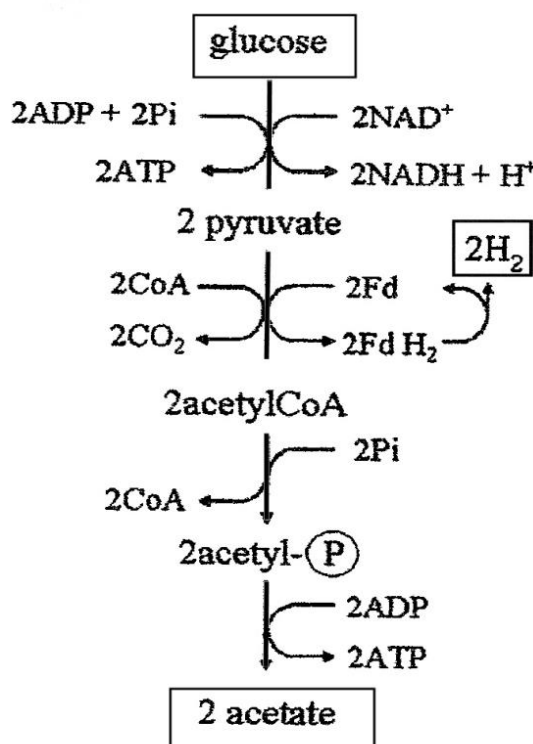


Рисунок 2.1 – Схема процесу розчеплення глюкози з утворенням оцтової кислоти [27]

Пірвіноградна кислота може розщеплюватися на оцтову кислоту, вуглекислий газ і водень або на пропіонову кислоту (через лактат або сукцинат), масляну кислоту або етанол.

Розкладання пірвіноградної кислоти з утворенням етанолу включає дві реакції в яких спочатку піруват розкладається до ацетальдегіду і вуглекислого газу:



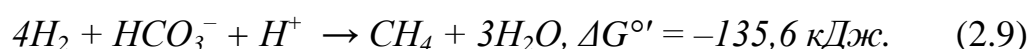
а на наступній ацетальдегід ферментується до етанолу:

						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	

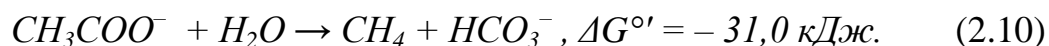


речовини перетворюються на метан (CH<sub>4</sub>) і діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>). Крім того, з CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub> утворюється в подальшому додаткова кількість CH<sub>4</sub> і H<sub>2</sub>O. Ці реакції протікають одночасно, причому умови існування метаноутворюючих бактерій значно вищі, ніж кислотоутворюючих. Швидкість і масштаби анаеробного бродіння метаноутворюючих бактерій залежать від їх метаболічної активності [4].

Всі види метаногенів, за виключенням паличок, які засвоюють оцтову кислоту і термофільних штамів *Methanosarcina* використовують для свого росту H<sub>2</sub> і CO<sub>2</sub> :



Важливим субстратом для метаногенів є оцтова кислота: приблизно 65 – 70 % метану в процесі метаногенезу утворюється за рахунок метильної групи оцтової кислоти. Вважається, що лише деякі види метаногенних бактерій здатні метаболізувати оцтову кислоту; в чистому вигляді з них були виділені тільки *Methanosarcinabarkeri*. Розщеплення оцтової кислоти проходить відповідно до реакції [25]:



Центральним метаболітом, який здійснює регуляторну функцію в метаногенному угрупованні є водень. За рахунок підтримання низького парціального тиску водню стає можливим його міжвидовий перенос, який змінює метаболізм первинних анаеробів в бік утворення безпосередніх попередників метану [26].

На інтенсивність процесу зброджування і, як наслідок, утворення біогазу впливають чотири групи чинників: біологічні (склад зброджуваної біомаси; склад мікробного угруповання; умови життєдіяльності мікроорганізмів), фізичні (температурний режим зброджування; тиск у біогазовій установці; гідравлічний режим), хімічні (концентрація, рН середовища; вміст летких жирних кислот в зброджуваній масі; об'єм і склад біогазу, що утворюється) та організаційно технологічні (доза добового завантаження; навантаження за беззольною речовиною; залишкові речовини) [4, 28].

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Різноманітність видового складу бактерій, що входять в метаногенний консорціум, дозволяє використовувати практично всі види рідких і твердих органічних відходів. До цього виду біомаси відносяться:

- біологічні відходи тварин (гній великої рогатої худоби, послід домашньої птиці і т.д.);
- залишки від збору врожаю сільськогосподарських культур і побічні продукти їх переробки: солома жита, пшениці, качани кукурудзяного качана, рисове лушпиння і т.д .;
- відходи лісозаготівель, лісопиляння і деревообробки, кора, тирса , стружки, тріски;
- промислові стічні води (текстильних, молочних і інших харчових підприємств);
- міські відходи (ТПВ та стічні води).

Усереднений склад газу, який утворюється в процесі метанового зброджування органічних відходів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Склад біогазу, що утворюється в процесі зброджування органічних відходів

№	Компонент	Діапазон значень,	Усереднений вміст для органічної фракції ТПВ, %
1	CH <sub>4</sub>	50-75	65
2	CO <sub>2</sub>	25-50	30
	H <sub>2</sub>	1-5	3
3	H <sub>2</sub> O	0-10	2
4	NH <sub>3</sub>	до 2,5 мг/дм <sup>3</sup>	2,5 мг/дм <sup>3</sup>
5	H <sub>2</sub> S	0,001 - 3	0,5
6	N <sub>2</sub>	0-10	0

## 2.2 Характеристика кінцевого продукту процесу зброджування органічної фракції твердих побутових відходів

Кінцевим продуктом описаного технологічного процесу є біогаз, отриманий шляхом мезофільного зброджування органічної фракції твердих

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

побутових відходів. Накопичення біогазу відбувається в газгольдері, з якого він шляхом витіснення подається на двоступінчате очищення в абсорберах на першому ступені з 10% розчином NaOH та розчином H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> к. на другому ступені з подальшим зневодненням. Очищений біогаз зріджується за допомогою криогенної газової машини Стирлінга і відразу закачується в автоцистерни і направляється споживачам. Перед закачуванням у цистерни біогаз одорують етилмеркаптаном.

Склад кінцевого продукту.

В очищеному біогазі основну масу складає метан (95%) та водень (до 3%). Також можлива присутність вуглекислого газу у кількостях до 2% та сірководню у залишкових кількостях 0,01 – 0,02%. Вміст води не повинен перевищувати 0,2 %.

Отриманий біогаз повинен відповідати ДСТУ 7721:2015 Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги та методи контролювання[29].

Фізико-хімічні властивості біогазу наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.2 – Фізико-хімічні властивості очищеного біогазу

Характеристика	Кількісний показник
Об'ємна теплота згорання	35,8 МДж/м <sup>3</sup>
Межа спалахування у повітрі	5 -15 %
Температура спалахування	595°C
Критичний тиск біогазу	4,63МПа
Критична температура	- 82,5°C
Нормальна густина	0,72 кг/м <sup>3</sup>

Основне призначення продукції і галузь використання.

Очищений біогаз призначений для використання в якості моторного палива. Біогаз також може використовуватися у вигляді палива для систем теплопостачання.

## РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ОРГАНІЧНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

### 3.1 Характеристика сировини матеріалів та напівпродуктів для виробництва біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів

Таблиця 3.1 – Характеристика сировини та матеріалів

Найменування	Категорія та номер НТД, згідно якого перевіряється сировина	Показники, що є обов'язковими для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
<b>Основна сировина</b>			
Органічна фракція твердих побутових відходів	Згідно технологічного регламенту	- початкова вологість 65-80%; - вологість після розбавлення – 95%; - наявність баластних включень – не більше 0,5%; - розмір частинок після подрібнення – 1-3 мм.	
<b>Допоміжна сировина</b>			
2.1. Вода технічна (або вода водопровідна)	ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості	Завислі речовини >1,5 мг/дм <sup>3</sup> , вміст вільного хлору 0,3-0,5 мг/дм <sup>3</sup> , рН = 6,5-7,5	
Повітря	Згідно технологічного регламенту	P=2,5 кПа, t=20°C	
Пара	Згідно технологічного регламенту	t=115 °C t= 120-125 °C	
Теплоносій (гаряча вода)	Згідно технологічного регламенту	t= 60°C	

					<b>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Діденко О.С.			<b>РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ОРГАНІЧНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ</b>	Стадія	Арк.	Акрушів
Перевір.		Зубченко Л.С.					45	118
Керів.		Зубченко Л.С.			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ			
Затверд.								

NaOH	ТУ У 24.1-33129683-002:2010 Сода каустична (Натрію гідроксид технічний)  ДСТУ ISO 979-2001 Натрію гідроксид технічний. Метод визначення лужності	- масова частка гідроксиду натрію(NaOH), %, не менше 48; - масова частка вуглекислого натрію(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), %, не більше 0,2; - масова частка хлористого натрію(NaCl), %, не більше 0,01; - масова частка хлорнуватокиислого натрію(NaClO <sub>3</sub> ), %, не більше 0,004; - масова частка сульфату натрію(Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), %, не більше 0,02; - масова частка заліза (в перерахунку на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), мг/кг, не більше 10.	
Сірчана кислота	ДСТУ ГОСТ 2184:2018 Кислота сірчана технічна. Технічні умови	масова частка моногідрату H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , % не менше 92,5	
<b>Напівпродукти</b>			
Зброджений осад	Згідно технологічного регламенту	вологість 97%	
Рідка фракція (фугат) осаду	Згідно технологічного регламенту	- вміст сухих речовин -0,5-1%; - зольність 0,3%	
Зневоднений осад	Згідно технологічного регламенту	вологість 65 %	
Підсушений осад	Згідно технологічного регламенту	вологість 13%	
Біогаз (до очищення)	Згідно технологічного регламенту	склад: CH <sub>4</sub> ; CO <sub>2</sub> ; H <sub>2</sub> S; H <sub>2</sub> ; NH <sub>3</sub> ; H <sub>2</sub> O	

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### **3.2 Опис технологічного процесу отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів**

#### **ДР 1. Підготовка технологічного повітря**

Технологічне повітря при виробництві біогазу використовується для пневматичного витиснення біогазу з газгольдера гнучкого типу, який використовується для вирівнювання тиску біогазу, що утворюється в метантенку, перед подачею його на очищення в абсорбери.

Підготовка повітря, що використовується виконується з метою забезпечення необхідних параметрів повітря, зокрема: очищення від пилу та аерозолів, зменшення вологості та компресування для подолання опору повітропроводів та арматури.

#### **ДР 1.1. Забір повітря з атмосфери**

Здійснюється шляхом забору повітря з атмосфери виносними трубами з точкою забору 4-6 м вище рівня землі.

#### **ДР 1.2. Фільтрування повітря**

Повітря фільтрується в два етапи. На першому етапі повітря фільтрують через багатошарові дротяні сітки, при цьому видаляються частинки з розміром 5-10 мкм.

Для фільтрування повітря на другому етапі використовують волокнистий фільтр виготовлений з фільтрувального матеріалу ФВНР, що затримує пил, механічні частинки з розміром більше ніж 1-1,8 мкм з ефективністю 98%. На стадії підготовки повітря проводять контроль ефективності очищення.

#### **ДР 1.3. Компресування та кондиціонування повітря**

Для компресування повітря застосовують повітродувки з продуктивністю від 2 до 190 м<sup>3</sup>/хв зі стисненням повітря до 5 кПа.

При стисненні повітря відбувається його значне нагрівання. Для осушення повітря від зайвої вологи його охолоджують до температури 20 °С. При цьому надлишкова волога конденсується.

На даній стадії постійно здійснюється контроль тиску та температури.

#### **ДР 2 Підготовка виробництва**

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	47
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

### **ДР 2.1. Санітарна підготовка персоналу**

Персонал, що задіяний у виробничому процесі повинен регулярно проходити медичне обстеження. Нові працівники повинні мати відповідну кваліфікацію, пройти попередній інструктаж, а за потреби навчання. Періодично персонал проходить інструктаж з техніки безпеки та охорони праці. Перед початком роботи працівники мають отримати та одягнути засоби індивідуального захисту.

### **ДР 2.2 Підготовка обладнання**

Підготовка обладнання для виробництва включає планові ремонти та техогляди. Також періодично проводять санітарне очищення споруд, апаратів та трубопроводів від осадів та накипів, що можуть утворюватися в процесі експлуатації.

Періодично при засміченні трубопроводів проводять промивання водою, що подається під тиском. Обробку миючими та дезінфікуючими засобами не проводять, оскільки даний технологічний процес не потребує дотримання асептичних умов.

### **ДР 2.3 Перевірка обладнання на герметичність**

Перевірку споруд та трубопроводів, що знаходяться під тиском та використовуються для виробництва, очищення та транспортування біогазу здійснюють гідравлічним способом. Повітря для перевірки на герметичність не використовують, оскільки виробництво пов'язане з утворенням пожежо- та вибухонебезпечного продукту – біогазу.

В процесі перевірки відповідну ланку технологічної схеми заповнюють водою створюючи надлишковий тиск 50 кПа та витримують протягом 15 хв. При цьому фіксують покази датчиків манометрів. Під час гідравлічного випробування тиск в системі не повинен самочинно знижуватися. Одночасно проводять візуальний огляд споруд та комунікацій на наявність протікань. На цій стадії проводиться технологічний контроль тиску.

### **ТП 3 Підготовка розчину гідроксид натрію**

Розчин NaOH готується шляхом змішування технічного NaOH (сода каустичної) з концентрацією NaOH не менше 48% з водою. Потрібна

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	48
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

концентрація розчину становить 10%. Отриманий розчин подається до ТП 11.1. в абсорбер А-14. Проводиться технологічний контроль та хімічний контроль концентрації розчину NaOH.

#### **ТП 4 Розвантаження і прийом відходів**

Органічна фракція твердих побутових відходів вивантажується в приймальний бункер Пб-4, оснащений пластинчастим живильником Пж-5. Стінки бункера спроектовані вертикальними. Тривалість перебування відходів у приймальному бункері не більше 8 год. Живильник бункера забезпечує рівномірну подачу відходів на технологічну лінію.

#### **ТП 5 Відсортовування баластних включень**

##### **ТП 5.1 Магнітна сепарація металів**

За допомогою пластинчастого живильника Пж-5 відбувається переміщення відходів на електромагнітний сепаратор МС-6. На сепараторі відділяються метали, які далі відправляють на переробку. Проводиться технологічний контроль.

##### **ТП 5.2 Ручний відбір баластних фракцій**

З магнітного сепаратора відходи подаються на стрічковий транспортер Тр-6, де відбувається ручний відбір баластних фракцій (до 0,5 % від маси всіх відходів). Тут відбирають пластик папір та інші крупні відходи, які могли потрапити в органічну фракцію при неправильному сортуванні мешканцями на в місцях збору відходів. Відібрана сировина сортується за видами відходів а потім відправляється на утилізацію або переробку. Органічна фракція зі стрічкового транспортеру накопичується в Зб-8, який забезпечує рівномірну подачу відходів на наступні етапи технологічного процесу. Проводиться технологічний контроль.

#### **ТП 6 Подрібнення відходів**

Зі Зб-8 відходи подаються в шнекову дробарку Шн-9, де відбувається подрібнення. В результаті частинки сировини подрібнюються до розмірів 1-3 мм. Подрібнення сировини перед зброджуванням дозволяє збільшити площу

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	49
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

контакту сировини з біологічним агентом та підвищити ефективність процесу зброджування. Проводиться технологічний контроль.

#### **ТП 7 Розбавлення відходів водою**

Подрібнена сировина подається до збірника ЗБ-10, де розбавляється до вологості  $W=95\%$ . Для розбавлення використовують вторинний конденсат з теплообмінника рекуператора Т-32. Використання вторинного конденсату дозволяє підвищити температуру органічних відходів, які подаються на зброджування, тим самим зменшити тепловтрати суміші в метантенку при завантаженні свіжого субстрату. Проводиться технологічний контроль.

#### **ТП 8 Вторинна сепарація баласту**

На виході зі збірника встановлено сито, через яке проціджується суміш органічних відходів, які подаються на зброджування. На ситі затримується баластна фракція розміром  $d = 20$  мм. Баластна фракція, що відділяється на цьому етапі може містити склобій, каміння дрібні частинки пластику тощо і після відокремлення відправляється на утилізацію. Проводиться технологічний контроль.

#### **ТП 9 Зброджування відходів**

Процес зброджування здійснюється в метантенку М-12. Субстрат, який являє собою подрібнену органічну фракцію ТПВ розбавлену до вологості 95%, завантажується в верхню частину метантенка. Зброджування проводиться у мезофільному режимі при температурі  $35^{\circ}\text{C}$  і  $\text{pH}=6,5-7,5$ . Для підтримання оптимальної температури зброджування в метантенку встановлений змієвик. Температура теплоносія в змієвику –  $50^{\circ}\text{C}$ . Відпрацьований теплоносій регенерують шляхом нагрівання в теплообміннику-рекуператорі Т-32 на ПВ17.. Нагрівання здійснюють вторинною парою, що утворюється в процесі сушіння твердої фракції та упарювання фугату.

В реакторі одночасно відбуваються процеси гідролізу, ацетогенез та метаногенез. Тому, для підтримання оптимального значення рН процесу, при закисленні субстрату в реактор вводиться  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  від А-14. Біогаз, який утворюється в процесі зброджування органічної фракції ТПВ відводиться в

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

газгольдер Г-13. На стадії зброджування проводиться технологічний контроль тиску та температури зароджуваної суміші, контроль рівня заповнення метантенка, хімічний контроль рН та складу середовища, а також мікробіологічний контроль складу мікробного угруповання. В процесі подачі сировини в метантенк контролюється витрата сировини.

### **ТП 10 Накопичення біогазу в газгольдері**

Біогаз з метантенка М-12 подається до газгольдера низького тиску Г-13, який розрахований на зберігання газу протягом 3-4 год та слугує для регулювання тиску та витрати біогазу, який подається на очищення в абсорбери. Використовується м'який газгольдер з пневматичним видаленням біогазу, розрахований на надлишковий тиск до 5 кПа. На цій стадії проводиться технологічний контроль тиску.

### **ТП 11 Очищення біогазу від домішок**

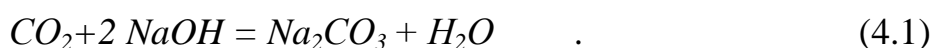
Для використання біогазу як заміника природно газу сирий біогаз підлягає обов'язковому очищенню. Очищення полягає у видаленні домішок CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> і є обов'язковим оскільки наявність сполук сірки та CO<sub>2</sub>, пришвидшує корозію обладнання для спалювання біогазу. Крім того значний вміст вуглекислого газу зменшує енергетичну цінність біогазу.

Для очищення від домішок в технологічній схемі використовується двоступінчаста абсорбція.

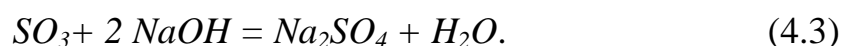
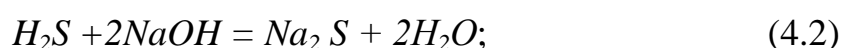
#### **ТП11.1 Очищення в абсорбері з гідроксидом натрію**

З Г-13 біогаз подається на очищення в А-14. В абсорбері А-14 відбувається очищення біогазу від CO<sub>2</sub>. Як абсорбент використовують 10% розчин NaOH, приготованим на стадії ДР 3.

В процесі хемосорбції відбувається взаємодія вуглекислого газу з гідроксидом натрію:



Домішки H<sub>2</sub>S та SO<sub>3</sub> також будуть видалятися на цій стадії:



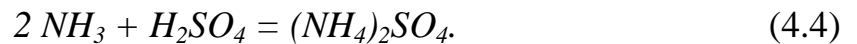
					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заміну абсорбенту проводять при помутнінні розчину, яке спостерігається при випадінні осаду соди. Утворений  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  використовують для регулювання рН в метантенку М-12 на стадії зброджування ТП9. Біогаз подають в абсорбер А-15. Проводиться технологічний контроль та хімічний контроль для визначення залишкового вмісту абсорбенту та продуктів реакції.

### **ТП 11.2 Очищення в абсорбері з сульфатною кислотою**

З абсорбера А-14 біогаз подається в абсорбер з сульфатною кислотою А-15, де відбувається очищення від  $\text{NH}_3$ .

Аміак поглинається концентрованою сульфатною кислотою при цьому відбувається утворення сульфату аміаку:



Заміну абсорбенту проводять при досягненні нейтрального значення рН. Сульфат амонію, який утворюється можна використовувати як мінеральне добриво. Тому відпрацьований абсорбент використовують для виготовлення рідких добрив разом з рідкою фракцією зброженої суміші. Для цього відпрацьований абсорбент подають в Зб-28. Очищений біогаз далі подається на зневоднення до ТП 12. Проводиться технологічний контроль та хімічний контроль для визначення залишкового вмісту абсорбенту та продуктів реакції. Також на виході з А-15 проводиться хімічний контроль складу біогазу для підтвердження повноти очищення.

### **ТП 12 Зневоднення біогазу**

Зневоднення біогазу відбувається на механічному фільтрі-осушувачі ФО-17. Фільтр-осушувач встановлюють на трубопроводі, що прокладений під землею. Видалення води відбувається внаслідок конденсації через зниження температури та за рахунок затримання води на внутрішніх перегородках фільтра. Осушення біогазу до вмісту вологи 0,2%. Утворений конденсат направляється до збірника Зб-28. Проводиться технологічний контроль

### **ТП 13 Накопичення очищеного біогазу в газгольдері**

Очищений газ стискається до  $P_n = 300$  кПа і надходить у газгольдер Г-15 середнього тиску, де зберігається. Об'єм газгольдера розрахований на

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тривалість накопичення газу до 24 год. Проводиться технологічний контроль тиску.

#### **ТП 14 Закачування біогазу в автоцистерни**

Очищений біогаз одорують перед реалізацією. Одорування проводять у крапельному одораторі, який розміщений на вихідному трубопроводі, шляхом додавання етилмеркаптану з розрахунку 16г одоранту на 1000 м<sup>3</sup> біогазу.

Біогаз закачують в автоцистерни та відправляють на реалізацію. Проводиться технологічний контроль тиску та розходу одоранту.

#### **ТП 15 Переробка зброженої суміші**

##### **ТП 15.1 Розділення зброженої суміші**

Для розділення на рідку та тверду фракції суміш подається насосом з збірника Зб-19 до центрифуги осаджувальної Ц-21. В процесі центрифугування відбувається зменшення вологості до 65%. Тверда фракція (кек) використовується для приготування гранульованих добрив. Проводиться технологічний контроль частоти обертання центрифуги та визначення кінцевої вологості кеку.

##### **ТП 15.2 Висушування твердої фракції**

Після розділення, тверда фракція надходить стрічковим транспортером Ст-22 до сушарки Сш-24, де з неї видаляється зайва волога. Використовується вальцева сушарка. Як тепло агент використовують первинну гріючу пару. Сушіння проводять за  $T = 115 \pm 5$  °С. Первинний конденсат та вторинна пара, які утворюються в процесі сушіння подаються в теплообмінник - рекуператор Т-32. Кінцева вологість твердої фракції становить  $W_{кінц.} = 12\%$ . Проводиться технологічний контроль температури процесу, тиску пари в вальцях сушарки та кінцевої вологості твердої фракції.

##### **ТП 15.3 Гранулювання**

Висушена тверда фракція подається за допомогою стрічкового транспортера Ст-25 до гранулятора ГKM-10 Гр-26, з матрицею 8 мм. Продуктивність гранулятора до 30 кг на годину, потужність приводу гранулятора 1.5 кВт, 220В. Утворені гранули подаються до збірника Зб-27,

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	53
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

звідки відвантажуються на реалізацію. Проводиться технологічний контроль, хімічний контроль складу, контроль на відсутність важких металів.

### **ТП 16 Виготовлення рідких добрив**

Фугат, який утворюється при відділенні твердої фракції зброженої суміші містить велику кількість мінеральних та органічних речовин, які легко засвоюються рослинами та мікроорганізмами та може використовуватися в суміші з відпрацьованим абсорбентом з А-15 як рідке органо-мінеральне добриво.

#### **ТП 16.1.Накопичення та усереднення складу**

У Зб-28 відбувається накопичення та усереднення складу компонентів рідкого добрива – фугату від ТП 15.1 та відпрацьованого адсорбенту, що містить сульфат амонію від ТП 11.2. Також у збірник подається водний конденсат, видалений з біогазу на фільтрі-осушувачі на ТП 12. Проводиться технологічний контроль. Визначають рівень заповнення збірника та хімічний контроль складу рідких добрив.

#### **ТП 16.2 Упарювання**

Для зменшення об'єму та збільшення концентрації сухих речовин накопичені рідкі добрива упарюють в випарній установці В-30, яка працює під атмосферним тиском. Для обігріву випарної установки використовується гріюча пара з температурою 120-125 °С. Первинний конденсат та вторинна пара, що утворюються в процесі випарювання подаються до теплообмінника-рекуператора Т-32, де їх теплота використовується для приготування теплоносіїв. Вміст сухих речовин в концентрованих добривах становить 1%.

Рідкі добрива після випарної установки подаються до збірника Зб-33, з якого рідке добриво відправляється до споживача.

Проводиться технологічний контроль тиску та температури в випарній установці, хімічний контроль складу та вмісту сухих речовин, та відсутність важких металів.

### **ПВ 17 Рекуперация тепла горячих відходів**

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	54
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Для економії енергії на підтримання температури в процесі зброджування органічної фракції ТПВ використовується рекуперація тепла нагрітих відходів. Рекуперація тепла відбувається в теплообміннику Т-32.

За допомогою вторинної пари, яка утворюється при сушінні твердої фракції на ТП 15.2 та упарюванні рідких добрив на ТП16.2, відбувається підігрівання до температури 50°C теплоносія, який подається в теплообмінник метантенка М-12. За потреби як теплоносій може використовуватися первинний конденсат, який утворюється з граючої пари на ТП15.2 та ТП16.2.

Вторинний конденсат, який утворюється в теплообміннику використовується для розбавлення органічної фракції ТПВ в Зб-10. Використання саме вторинного конденсату, на відміну від технічної води, дозволяє зменшити енерговитрати за рахунок підвищення температури суміші для зброджування до оптимального значення перед завантаженням в метантенк. Таким чином додавання свіжого субстрату не впливає на температурний режим метантенка. Здійснюється технологічний контроль тиску та температури.

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	55
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

### 3.3 Контроль виробництва біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів

Параметри контролю процесів, які відбуваються при виробництві біогазу з органічної фракції ТПВ приведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Контрольні точки та параметри виробництва

№п /п	Назва стадії, процесу, місце заміру	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Методи контролю	Метод контролю параметра, тип приладу
1	ДР 1. Підготовка технологічного повітря.	Температура, Тиск	Постійно	$t=20^{\circ}\text{C}$ $P=2,5\text{кПа}$ ,	Кт	Згідно показів датчиків, ТСМ Термометр. Манометр електродатний ЭКМ-1
2	ДР3 Підготовка розчину гідроксиду натрію	Концентрація	Кожну операцію	$N=1\text{с}^{-1}$  $C=10\%$	Кт, Кх	Концентратомір КР-1.
3	ТП 6 Подрібнення відходів	Розмір подрібнених частинок	Постійно	$N=18\text{ об/хв}$  $d=1-3\text{ мм}$	Кт,	
4	ТП 7 Розбавлення відходів водою	Вологість суміші Рівень заповнення змішувача Витрата вторинного конденсату Витрата органічних відходів	Кожен цикл При завантаженні	$W=95\%$  0,7	Кт Кх	Лабораторна методика визначення вмісту сухих речовин Рівнемір СУС-13-ПП-040М-2 Витратомір ПВ4.2 Э Електромагнітний витратомір SMAG 103

Продовження таблиці 3.2

5	ТП9 Зброджування відходів	Рівень заповнення метантенка; Температура; Тиск рН склад мікробної асоціації	При завантаже нні Постійно	$t=50\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\text{pH}=6,5-7,5$	$K_T$ $K_X$ $K_{M6}$	Рівнемір СУС-13- ПП-040М-2 Термодатчик ТХАУ -0289 Датчик тиску Сафір М 2040 рН-метр Лабораторна методика
6	ТП10 Накопичення біогазу в газгольдері	Тиск	Постійно	$P_H=2,5\text{ кПа}$		Манометр електроконтактн ий ЕКМ-1
7	ТП11.1 Очищення біогазу в абсорбері з NaOH	Вміст залишкового NaOH в абсорбенті Вміст $\text{CO}_2$ та $\text{H}_2\text{S}$ в біогазі Тиск	Раз на добу  Постійно	не більше 2%	$K_T, K_X$	Лабораторна методика  Манометр електроконтактн ий ЕКМ-1
8	ТП11.2 Очищення біогазу в абсорбері з $\text{H}_2\text{SO}_4$	Вміст залишкової $\text{H}_2\text{SO}_4$ і в абсорбенті Вміст $\text{NH}_4$ в біогазі Тиск	Раз на добу  Постійно	$\text{pH}>4$	$K_X, K_T,$	рН-метр  Газова хроматографія Манометр електроконтактн ий ЕКМ-1
9	ТП12 Зневоднення біогазу	Вміст води		Не більше 0,3 %	$K_T$	
10	ТП13 Накопичення очищеного біогазу в газгольдері	Тиск	Постійно	5 кПа	$K_T$	Манометр електроконтактн ий ЕКМ-1

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.2

11	ТП15.1 Розділення зброженої суміші	Вологість	Раз на добу	W=65%	K <sub>T</sub>	Лабораторна методика
12	ТП15.2 Висушування твердої фракції	Температура,  вологість	Постійно	t=115±5°C  W=12%	K <sub>T</sub> , K <sub>X</sub>	Термопара ТХА/ТХК– 1392 Інфрачервоний воломір
13	ТП15.3 Гранулювання	склад	раз на добу	вміст мікроелементі в, відсутність важких металів	K <sub>T</sub> , K <sub>X</sub>	Лабораторна методика
14	ТП16.1 Накопичення та усереднення складу	Рівень заповнення збірника Склад	Постійно	0,8	K <sub>T</sub> , K <sub>X</sub>	Рівнемір СУС–13– ПП–040М–2 Лабораторна методика
15	ТП16.2 Упарювання	Температура  Вміст сухих речовин Відсутність важких металів	Постійно  Раз на добу	t=120-125°C  C <sub>cp</sub> = 3%	K <sub>T</sub> , K <sub>X</sub>	Термопара ТХА/ТХК– 1392 Лабораторна методика визначення СР, важких металів
16	ПВ17 Рекуперація тепла гарячих відходів	Температура теплоносія	Постійно	t=60 °C		Термопара ТХА/ТХК– 1392

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.4 Матеріальний баланс процесу отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів

Таблиця 3.3 – Матеріальний баланс виробництва біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів

Стадія	Використано				Отримано			
	Назва сировини, матеріалів, напівпродуктів	Кількість			Назва кінцевого продукту чи напівпродукту, відходів і втрат	Кількість		
		м <sup>3</sup>	шт	кг		м <sup>3</sup>	шт	кг
ТП5 Відсортовування баластних включень	Відходи			32964	Відсортовані органічні відходи			32800
					Баластні фракції			164
	Всього			32964				32964
ТП 7 Розбавлення відходів водою	Відсортовані органічні відходи			32 800	Суміш для збродження			196800
	Вторинний конденсат			164000				
	Всього			196800				
ТП9 Збродження відходів	Суміш для збродження			196800	Зброджений осад			192024
					Біогаз			47776
	Всього			196800				196800

ТП11 Очищення біогазу від домішок					Очищений біогаз			2464
	Біогаз			4776	домішки			2200
					Втрати			112
	Всього			4776	Всього			4776
ТП12 Зневоднення біогазу					Осушений біогаз			2392
	Очищений біогаз			2464	Конденсат			72
	Всього			2464	Всього			2464
ПВ15.1 Переробка збродженої суміші	Зброджений осад			192024	Кек			1719
ПВ15.2 Висушування твердої фракції	Кек			1719	Гранульовані добрива			590
ПВ16 Виготовлення рідких добрив	Фугат			190304	Рідкі добрива			15193

## РОЗДІЛ 4 АВТОМАТИЗАЦІЯ СТАДІЇ ЗБРОДЖУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА

Автоматизація є важливою складовою сучасного виробництва, що дозволяє людську працю у виробничому процесі та зменшити загальну кількість персоналу на підприємстві.

Часто автоматизація сприяє підвищенню якості продукції, оскільки виключає помилки, які можуть бути здійснені виробничим персоналом. Використання засобів автоматичного контролю параметрів процесу дозволяє проводити цей контроль безперервно, чого неможливо досягнути при використанні ручного контролю. В галузі біотехнології, де основні процеси виробництва здійснюються за рахунок біологічних агентів важливість безперервного контролю параметрів, що впливають на активність та життєдіяльність біологічних агентів, що використовуються.

Крім того, автоматизація сприяє оптимізації використання сировинних і енергетичних ресурсів.

### 4.1 Основні рішення з автоматизації стадії збродження органічної фракції твердих побутових відходів

Схема автоматизації стадії технологічного процесу ТП9, на якій відбувається збродження органічної фракції ТПВ представлена на кресленні А1, на рисунку 4.1. представлена схема стадії та вимірювальні прилади, розміщені за місцем вимірювання.

На стадії ТП 9 відбувається збродження органічної фракції ТПВ в метантенку, який працює в безперервному режимі при мезофільному температурному режимі. В процесі збродження утворюється біогаз, який

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Діденко О.С.</i>			<b>РОЗДІЛ 4 АВТОМАТИЗАЦІЯ СТАДІЇ ЗБРОДЖУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА</b>	<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>						
							61	118
<i>Керів.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ</i>		
<i>Затверд.</i>								



Для стадії зброджування відходів розроблено схему контролю і регуляції таких параметрів:

- 1 – контроль рівня рідини в збірнику, якого суміш органічних відходів подається в метантенк;
- 2 – витрата органічних відходів;
- 3- витрата води (вторинного конденсату) для розбавлення органічних відходів до заданої вологості;
- 4 – рівень заповнення метантенка сумішшю відходів;
- 5 – рН суміші відходів, що зброджуються в метантенку;
- 6 – частота обертання мішалки;
- 7 – тиск у метантенку;
- 8 – температура суміші відходів, які зброджуються;
- 9 – витрата зброджуваної суміші органічних відходів, що надходять в метантенк;

Контроль і (за потреби) регулювання зазначених параметрів здійснюють за допомогою контрольних та регулювальних приладів та датчиків, які встановлюють на трубопроводах, споруді (метантенку), допоміжному обладнанні та пульті керування.

#### 4.2. Дистанційне управління

Дистанційне управління використовується для процесів для яких недоцільно робити автоматичне управління і регулювання, зокрема для процесів пов'язаних з приготуванням суміші відходів для зброджування – розбавлення органічних відходів водою до заданої вологості.

Дистанційним керуванням регулюються витрати вихідної суміші органічних відходів, що подається на зброджування та витрати води для розбавлення (як вода для розбавлення використовується вторинний конденсат).

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### **1. Регулювання витрати вторинного конденсату для розбавлення органічної фракції ТПВ**

**Контур 2-4.** Витрата вторинного конденсату на вході в збірник контролюється звужуючим пристроєм ДК6-50 (FE2-1), передаючим перетворювачем різниці тисків 13ДД1 (FT 2-2), з якого сигнал передається на вторинний реєструючий пристрій ПВ4.2Э (FIC 2-3). В процесі розбавлення органічних відходів вторинним конденсатом з блоку ручного управління БРУ-5-3-0-24 (НС 2-4: тут і далі позначення на кресленні автоматизації) передається сигнал на безконтактний пускач (NS 2-5), який приводить в дію виконавчий прилад МЕО 6,3/10-0,25 (2-6).

### **2. Регулювання витрати суміші органічних відходів, яка подається в збірник для розбавлення**

**Контур 8-10.** Витрата органічної фракції відходів на вході в збірник контролюється електромагнітним витратоміром SMAG 103 (FI 4-2), датчик якого (FE4-1) розташований на вході в збірник. Сигнал передається на вторинний реєструючий пристрій ПВ4.2Э (FIC 4-3). В процесі розбавлення органічних відходів вторинним конденсатом з блоку ручного управління БРУ-5-3-0-24 (НС 4-4: тут і далі позначення на кресленні автоматизації) передається сигнал на безконтактний пускач (NS 4-5), який приводить в дію виконавчий прилад МЕО 6,3/10-0,25 (4-6).

### **3. Регулювання подачі суміші органічних відходів в метантенк**

**Контур 24.** Керування роботою насоса М1, який здійснює подачу сировини в метантенк можливе в дистанційному режимі зі щита і відбувається за допомогою за допомогою кулачкового перемикача ланцюга живлення (SA2). При натисканні кнопки «Пуск» (поз. SB 10-2). на магніт магнітного пускача (NS 10-3)подається струм і виникає замикання контактів пускача. Через пускач відбувається живлення мотора М1, який приводить в дію насос.Крім того, одночасно з подачею струму на пускач вмикається сигнальна лампочка НЛ6, яка сигналізує про подачу живлення на мотор (зелений колір).

Для вимикання живлення мотора використовують кнопку «Стоп» (SB10-1), при натисканні якої відбувається роз'єднання ланцюга подачі струму на магнітний пускач. При цьому подача живлення на мотор теж припиняється. Натискання кнопки «Стоп» супроводжується вмиканням світлової сигналізації HL5, яка вказує на те, що мотор відключений.

#### **4.3 Автоматичне регулювання процесу зброджування органічної фракції твердих побутових відходів**

##### ***1. Регулювання рівня заповнення збірника для розбавлення органічної фракції відходів водою***

**Контур 1.** Контроль рівня рідини в реакторі для розбавлення органічної фракції відбувається за допомогою електричного рівнеміра СУС-16-ПП-16ИОМ-1 (LE 1-1), перетворювача ПП-16ИОМ-2А (LT 1-2) та вторинного показувального та реєструвального приладу КСД2 (LIRK 1-3). З реєструвального приладу сигнал передається на мікропроцесорний регулятор МИК-21 (LIC 1-4). При зниженні рівня рідини в збірнику нижче заданого значення, яке забезпечує запас суміші для безперебійного постачання в метантенк з розрахунку на 2 год, вмикається попереджувальна сигналізація HL -1.

##### ***2. Регулювання рівня заповнення метантенка зброджуваною сумішшю.***

**Контур 5-7.** Електричний рівнемір СУС-16-ПП-16ИОМ-1 (LE3-1) формує вихідний аналоговий сигнал і передає його через вторинний перетворювач ПП-16ИОМ-2А (LT 3-2) на мікропроцесорний регулятор МИК-21 (LIC 3-3). Мікропроцесорний регулятор передає сигнал на магнітний пускач ПБР-3А (NS 3-5), який приводить в дію виконавчий прилад МЕО 6,3/10-0,25 (3-6). Наявність сигналу забезпечує подачу свіжої суміші для зброджування в метантенк. За відсутності сигналу від регулятора виконавчий пристрій забезпечує перекриття трубопроводу для завантаження. Контур має блок ручного керування БРУ-5-3-0-24 (НС 3-4).

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### **3. Регулювання рН суміші відходів, що зброджуються**

**Контур 11-12.** рН суміші відходів в метантенку фіксується датчиком рН П-02С (QE 5-1), який має діапазон вимірювання 1-14 одиниць рН і зв'язаний з рН-метром -101П (QIRT 5-2), розміщеним на щиті КВП. рН-метр передає уніфікований аналоговий сигнал (4-20 мА) на мікропроцесорний регулятор МИК-21 (QIS 5-3), який в свою чергу забезпечує регулювання. При відхиленні рН нижче оптимального значення магнітний пускач ПБР-3А (NS 5-4) приводить в дію виконавчий прилад і МЕО 6,3/10-0,25 (5 -5), який забезпечує подачу розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в метантенку. При відхиленні значення рН від оптимального вмикається попереджувальна сигналізація НЛ-2.

### **4. Регулювання швидкості обертання мішалки.**

**Контур 13-14.** Частоту обертання мішалки визначають за допомогою покрокового енодера OG 6 (SE 6-1), який формує імпульси, кількість яких відповідає повороту валу на певний кут. Сигнал від покрокового енодера передається на мікропроцесорний регулятор МИК-21 (SIC 6-2). З мікропроцесорного регулятора сигнал через блок ручного керування БРК-5-3-0-24 (НС 6.3) передається на частотний перетворювач MOVITRAC 07( ТУ 6-4), на якому вхідна напруга перетворюється в напругу 220В з частотою 10-50 Гц і знаходить на двигун М1, що приводить в дію мішалку.

### **5. Регулювання тиску в метантенку під час збродження органічної фракції ТПВ**

**Контур 15-17.** Вимірювання тиску в метантенку відбувається за допомогою датчика тиску Сафір М 2040 (PE 7-1) з робочим діапазоном вимірювання 0,01-0,25 МПа. Датчик тиску знаходиться в метантенку. Уніфікований сигнал від датчика передається через мікропроцесорний регулятор МИК-21 (PIC 7-2), який передає сигнал на магнітний пускач ПБР-3А (NS 7-4), який приводить в дію виконавчий прилад МЕО 6,3/10-0,25 (7-5), який забезпечує відкривання клапану аварійного випуску біогазу на свічу спалювання. Контур має блок ручного

						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	

керування БРУ-5-3-0-24 (НС 7-3). При перевищенні тиску максимально допустимого значення 0,5 кПа вмикається сигналізація НЛ-3.

**6. Регулювання температури суміші відходів, що зброджуються.**

**Контур 18-20.** відповідає за контроль та регулювання температури суміші відходів, яким можна керувати через блок ручного керування (НС 8-3). Регулювання температури включає вимірювання температури суміші, що зброджується та регулювання подачі теплоносія в теплообмінник метантенка. Вимірювання температури проводять за допомогою термоелектричного перетворювача ТХАУ -0289 (ТТ 8-1) з діапазоном вимірювання 0-200°С. Первинний датчик передає уніфікований аналоговий сигнал (4-20 мА) на мікропроцесорний регулятор МИК-21 (ТІС8-2). Витрата теплоносія змінюється в залежності від величини сигналу, коли магнітний пускач ПБР-3А (NS 8-4) приводить в дію виконавчий прилад МЕО 6,3/10-0,25 (8-5). При відхиленні температури від оптимальної вмикається сигналізація НЛ-4.

**7. Регулювання втрати зброджуваної суміші, яка надходить в метантенк**

**Контур 21-23.** Витрата суміші органічних відходів на вході в реактор контролюється звужуючим пристроєм ДК6-50 (FE9-1), передаючим перетворювачем різниці тисків 13ДД1 (FT 9-2), з якого сигнал передається на вторинний пристрій зі станцією управління ПВ10.1Е (FIRK 9-3) . Зі станції управління сигнал передається на регулюючий блок ПР3.31 (FC 9-5), який керує мембранними виконавчими пристроями (9-6 та 9-7). Контур має блок ручного керування БРУ-5-3-0-24 (НС 9-4).

**4.4 Технологічна сигналізація та захист**

Сигналізація передбачена у вигляді світлового сигналу та звукового оповіщення (11-1) у випадках:

- критичного зниження рівня суміші органічних відходів у збірнику (НЛ-1 – червоний колір);

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- значного зниження рН в метантенку (HL-2 – жовтий колір);
- підвищення тиску в метантенку метантенку (HL-3 – червоний колір);
- при зниженні температури в реакторі більше ніж на 5 °С (HL-4 – жовтий колір);
- при ввімкненому живленні мотора, який приводить в дію насос подачі суміші в метантенк (HL5 – червоний колір).
- при вимкненому живленні мотора, який приводить в дію насос подачі суміші в метантенк (HL6 – зелений колір).

Специфікація контрольно-вимірювальних приладів наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Специфікація контрольно-вимірювальних та виконавчих приладів автоматизації

Поз. (на схемі)	Шифр	Назва параметру	Назва приладу, Технічна характеристика	Тип моделі	Місце монтажу	Допустимі значення параметру	Кількість
1	2	3	4	5	6	7	8
1-1 3-1	LE	Рівень заповнення споруди	Електричний рівнемір	СУС-16-ПП-16ИОМ-1	За місцем	Згідно інструкції	1
1-2 3-2	LT	–	Вторинний перетворювач	ПП-16ИОМ-2А	За місцем	Згідно інструкції	1
1-3	LIRK	–	Вторинний показувальний та реєструвальний пристрій	КСД2	На щиті	Згідно інструкції	1
1-4 3-3 5-3 6-2 7-2 8-2	LIC LIC QIS SIC PIC TIC	Рівень Рівень рН Частота об. Тиск Температура	Мікропроцесорний регулятор	МИК-21	На щиті	Згідно інструкції	6



## Продовження таблиці 4.1

4-2	FI	-	Електромагнітний витратомір	SMAG 103	За місцем	Згідно інструкції	1
5-1	QE	pH	Датчик pH-метра	pH П-02С	За місцем	Згідно інструкції	1
5-2	QIRT	pH	pH-метр	pH-метром - 101П	На щиті	Згідно інструкції	1
6-1	SE	Частота обертання мішалки	Покроковий енкадер	OG-6	За місцем	Згідно інструкції	1
6-4	TY	-	Частотний перетворювач	MOVITRAC 07	За місцем	Згідно інструкції	1
7-1	PE	Тиск	Датчик тиску	Сафір М 2040	За місцем	Згідно інструкції	1
8-1	TT	Температура	Термопроцесорний перетворювач	ТХАУ -0289	За місцем	Згідно інструкції	1
9-3	FIRK	Витрата	Вторинний пристрій зі станцією керування	ПВ10.1Е	На щиті	Згідно інструкції	1
9-5	FC	-	Регулюючий блок	ПР3.31	На щиті	Згідно інструкції	1
	SA1	Подача суміші в метантенк	Перемикач ланцюга живлення кулачковий МП1	4G25-10-US5-R112	На щиті		1
10-1	SB	-	Вмикання живлення М1	Кнопка з підсвічуванням, червона,	На щиті		1
10-2	SB	-	Вимкнення живлення М1	Кнопка з підсвічуванням, зелена	На щиті		1
11-1	HSA	Сигналізація		ПП12	На щиті	Згідно інструкції	

									70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ				

Розроблено схему автоматизації стадії зброджування суміші органічної фракції твердих побутових відходів. Загальна схема автоматизації включає контроль основних всіх технологічних параметрів процесу зброджування автоматичне керування підтримання тиску, рН та температури в метантенку, частоти обертання мішалки а також рівня наповненості метантенка та збірника для приготування суміші органічних відходів, які зброджуються. Також передбачено сигналізацію, яка вмикається у випадку досягнення технологічними параметрами значень, небезпечних з точки зору безпеки праці або ефективності технологічного процесу.

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5. ВИБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ З ОРГАНІЧНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Вихідні дані для розрахунку:

кількість населення	N =80 тис чол
вміст органічної фракції в ТПВ	50%
вологість органічної фракції ТПВ	70%
призначення біогазу	використання як заміника природного газу
залишковий вміст води, не більше	0,2%,
залишковий вміст CO <sub>2</sub> , не більше	3%
залишковий вміст H <sub>2</sub> S, не більше	0,2%.
залишковий вміст NH <sub>3</sub>	відсутній

Згідно норм утворення відходів, зазначених в ГБН В.2.2-35077234-001:2011 маса ТПВ на 1 людину на рік – 300 кг.

Тоді кількість органічних відходів, що накопичують на 1 людину на рік становить 150 кг.

### 5.1. Визначення добової витрати відходів та води

Кількість органічних відходів, що накопичують на 1 людину на добу:

$$Q_d = \frac{Q_p}{365} = \frac{150}{365} = 0,410 \text{ кг.} \quad (5.1)$$

Тоді загальна маса відходів, що отримують від населення за добу становить:

$$m_d = Q_d \cdot N = 0,410 \cdot 80000 = 32800 \text{ кг.} \quad (5.2)$$

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Діденко О.С.			<b>РОЗДІЛ 5. ВИБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ З ОРГАНІЧНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ</b>	Стадія	Арк.	Акрушів
Перевір.		Зубченко Л.С.					72	118
Керів.		Зубченко Л.С.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ		
Затверд.								

Вологість відходів згідно завдання – 70%, тоді маса сухих речовин органічної фракції ТПВ становить:

$$m_{cp} = \frac{m_d \cdot 30}{100} = \frac{32800 \cdot 30}{100} = 9840 \text{ кг.} \quad (5.3)$$

Вологість зброджуваної суміші має становити 95%. Визначаємо масу суміші:

$$m_{95} = \frac{m_{cp} \cdot 100}{5} = \frac{9840 \cdot 100}{5} = 196800 \text{ кг.} \quad (5.4)$$

Об'єм суміші для зброджування становить:

$$V_{zar} = \frac{m_{95}}{\rho} = \frac{196800}{1000} = 196 \text{ м}^3 \quad (5.5)$$

де  $\rho$  – густина зароджуваної суміші, приймаємо  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

Маса води для розбавлення до заданої вологості становить:

$$m_v = m_{95} - m_d = 196800 - 32800 = 164000 \text{ кг.} \quad (5.6)$$

## 5.2. Визначення об'єму метантенка.

Визначаємо об'єм метантенка для зброджування органічної фракції ТПВ:

$$V_{мет} = \frac{V_{zar} \cdot 100}{D} = 1960 \text{ м}^3 \quad (5.7)$$

де  $V_{zar} = 196 \text{ м}^3$  – загальний об'єм сировини;

$D$  – доза завантаження сировини за добу, для мезофільного режиму приймаємо значення 10%.

Приймаємо 2 метантенки об'ємом  $1000 \text{ м}^3$  з наступними параметрами:

корисний об'єм	$1000 \text{ м}^3$ ;
діаметр	12,5 м;
Висота верхнього конуса	1,9 м;
Висота циліндричної частини	6,5 м;
Висота нижнього конуса	2,15 м.

										73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ					

### 5.3. Визначення ступеня розкладання органічних речовин

Визначимо масу золи у сухій речовині:

$$m_z = \frac{m_d \cdot Z}{100} = \frac{32800 \cdot 2}{100} = 656 \text{ кг} \quad (5.8)$$

де  $Z$  – вміст золи в органічній фракції ТПВ, %.  $Z=2\%$ . (від загальної маси)(згідно завдання).

Визначаємо масу сухої беззольної речовини органічної фракції ТПВ:

$$m_{бз} = m_{ср} - m_z = 9840 - 656 = 9184 \text{ кг} \quad (5.9)$$

Визначимо ступінь розкладу органічної беззольної речовини:

$$R_p = R_{\max} - K_p \cdot D = 59,3857 - 0,72 \cdot 10\% = 52,2 \quad (5.10)$$

де  $K_p$  – коефіцієнт, який залежить від вологості суміші, яка зброджується, для вологості 95% при мезофільному режимі  $K_p = 0,72$ ;

$D$  – добова доза завантаження, %  $D=10$ .

$R_{\max}$  – максимально можливий ступінь розкладання органічної беззольної речовини, який залежить від хімічного складу суміші, яка зброджується і визначається за формулою:

$$R_{\max} = (0,92 \cdot C_{ж} + 0,62 \cdot C_{в} + 0,34 \cdot C_{б}) \cdot 100 = 59,4 \quad (5.11)$$

де  $C_{ж}$ ,  $C_{в}$ ,  $C_{б}$  – вміст жирів, вуглеводів, білків у г/г сухої органічної речовини (згідно завдання).

Розрахований ступінь розкладу органічної беззольної речовини:

$$R_p = 52\% \text{ або } 0,52$$

### 5.4. Визначення виходу біогазу та об'єму газгольдерів

#### 5.4.1 Визначення виходу біогазу

Згідно ГБН В.2.2-35077234-001:2011 приймаємо вихід біогазу 1 г на 1 г беззольної органічної речовини, що розклалась.

Вихід біогазу за добу:

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$m_{\text{CH}_4} = V_6 \cdot 0,65 \cdot \frac{M_{\text{CH}_4}}{V_M} = 2273 \text{ кг} \quad (5.17)$$

Маса біогазу після очищення становитиме:

$$m_{\text{б.о}} = \frac{m_{\text{CH}_4} \cdot 100}{95} = 2392 \text{ кг} \quad (5.18)$$

Для зберігання очищеного біогазу обираємо 2 газгольдери середнього тиску ( $P_n=300 \text{ кПа}$ ), розраховані на тривалість перебування біогазу 24 год з об'ємом  $600 \text{ м}^3$ .

## 5.5. Тепловий розрахунок

### 5.5.1 Розрахунок необхідної температури води для розбавлення субстрату

Температура відходів: влітку 25, взимку – 10

Маса води для розбавлення  $m_b = 164000 \text{ кг}$ .

Маса відходів  $m_d = 32800 \text{ кг}$

Кількість теплоти необхідна для нагрівання відходів влітку:

$$Q_{\text{літ}} = m_d \cdot C_v \cdot (T_{\text{зб}} - T_{\text{в.п.літ}}) = 32800 \cdot 4,18 \cdot (35 - 21) = 1919,46 \text{ Мдж} \quad (5.19)$$

Взимку

$$Q_{\text{зим}} = m_d \cdot C_v \cdot (T_{\text{зб}} - T_{\text{в.п.зим}}) = 32800 \cdot 4,18 \cdot (35 - 5) = 4114,12 \text{ Мдж} \quad (5.20)$$

де  $C_v$  – теплоємність органічної фракції ТПВ, Дж/кг К, приймаємо  $C_v=4,18$  (за завданням);

$Q_{\text{літ}}$ ,  $Q_{\text{зим}}$  – кількість теплоти необхідна для підігріву відходів до температури зуроджування влітку і взимку відповідно;

$T_{\text{зб}}$  – температура зброджування, °С;

$T_{\text{в.п.літ}}$ ,  $T_{\text{в.п.зим}}$  – температура відходів влітку і зимою відповідно, °С  
приймається  $T_{\text{п.літ}}=21$  і  $T_{\text{п.зим}}=5$ .

Визначимо необхідну температуру води для розбавлення:

влітку:

$$T_{\text{H}_2\text{O}_{\text{п.літ}}} = \frac{Q_{\text{літ}}}{m_b \cdot C_{\text{H}_2\text{O}}} + T_{\text{зб}} = 37,8 \quad (5.21)$$

					76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ

взимку:

$$T_{\text{H}_2\text{O}_{\text{поч.зим}}} = \frac{Q_{\text{зим}}}{m_{\text{в}} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}}} + T_{\text{зб}} = 40,9 \quad (5.22)$$

де  $T_{\text{H}_2\text{O}_{\text{поч.літ}}}$ ,  $T_{\text{H}_2\text{O}_{\text{поч.зим}}}$  необхідна початкова температура води для розбавлення влітку і взимку відповідно, °С;

$C_{\text{H}_2\text{O}}$ —теплоємність води, Дж/кг К,  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 4,19$ ;

### 5.5.2 Визначення кількості теплоти, необхідної для підтримання оптимальної температури зброджування у метантенку та витрати теплоносія

Кількість теплоти, що втрачається субстратом через стінку метантенка на зовні:

літом:

$$Q_{\text{втр.літ}} = k_{\text{нз}} \cdot F_{\text{нз}} \cdot (T_{\text{зб}} - T_{\text{пов.літ}}) + k_{\text{з}} \cdot F_{\text{з}} \cdot (T_{\text{зб}} - T_{\text{гр}}) \quad (5.23)$$

зимою:

$$Q_{\text{втр.зим}} = k_{\text{нз}} \cdot F_{\text{нз}} \cdot (T_{\text{зб}} - T_{\text{пов.зим}}) + k_{\text{з}} \cdot F_{\text{з}} \cdot (T_{\text{зб}} - T_{\text{гр}}) \quad (5.24)$$

середнє арифметичне:

$$Q_{\text{втр.сер}} = \frac{(Q_{\text{втр.літ}} + Q_{\text{втр.зим}})}{2} \quad (5.25)$$

де  $T_{\text{пов.літ}}$  і  $T_{\text{пов.зим}}$  – температура навколишнього повітря в найтепліший і найхолодніший день влітку і зимою відповідно, °С. Приймаються значення  $T_{\text{пов.літ}} = 30$  °С і  $T_{\text{пов.зим}} = -5$  °С;

$T_{\text{гр}}$  – температура ґрунту, °С. Приймаємо середньорічну температуру  $T_{\text{гр}} = 8$ , °С.

$F$  – площа поверхні теплообміну метантенка,  $\text{м}^2$ , яка визначається як сума площ циліндричної частини, конічного дна та верхньої частини (розраховується як конічна) формулою:

$$F = \pi \cdot 2R \cdot H_{\text{к}} + \pi \cdot R \cdot \sqrt{R^2 + H_{\text{н}}^2} + \pi \cdot R \cdot \sqrt{R^2 + H_{\text{в}}^2} \quad (5.26)$$

$$F = 3,141 \cdot 12,5 \cdot 6,5 + 3,141 \cdot 12,5 \cdot \sqrt{12,5^2 + 2,15^2} + 3,141 \cdot 12,5 \cdot \sqrt{12,5^2 + 1,9} = 513,03 \text{ м}^2$$

де  $R$  – радіус метантенка;

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$H_K$  – висота циліндричної частини метантенка;

$H_H, H_B$  – висота нижнього і верхнього конуса відповідно;

Площу поверхні, яка знаходиться над землею і контактує з повітрям приймаємо рівній площі верхнього конусу:

$$F_{H.3} = \pi \cdot R \cdot \sqrt{R^2 + H_B^2} = 3,141 \cdot 12,5 \cdot \sqrt{12,5^2 + 1,9^2} = 128,20 \text{ м}^2 \quad (5.27)$$

Загальна площа поверхні заглибленої частини:

$$F_3 = \pi \cdot 2R \cdot H_K + \pi \cdot R \cdot \sqrt{R^2 + H_H^2} = 3,141 \cdot 2 \cdot 12,5 \cdot 6,5 + 3,141 \cdot 12,5 \cdot \sqrt{12,5^2 + 2,15^2} = 384,84 \text{ м}^2 \quad (5.28)$$

$k$  – коефіцієнт теплопередачі стінок та теплоізоляційних конструкцій метантенка, Вт / ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ );

Враховуючи, що частина метантенка знаходиться під землею, для заглибленої частини коефіцієнт теплопередачі буде визначатися:

$$k_3 = \frac{1}{R_{i3}} = \frac{1}{12,23} = 0,08179 \quad (5.29)$$

Для поверхні, що знаходиться над землею коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою коефіцієнт теплопередачі буде визначатися:

$$k_{H.3} = \frac{1}{R_M + R_{i3}} = \frac{1}{0,036 + 12,23} = 0,08154 \quad (5.30)$$

де  $R_M$  – термічний опір теплопередачі стінки метантенка;

$R_{i3}$  – термічний опір теплопередачі теплоізоляційного шару.

Термічний опір теплопередачі стінки метантенка, яка обвівається повітрям визначається:

$$R_M = \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{27,2524} = 0,03669 \quad (5.31)$$

де  $\alpha_3$  – коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні метантенку, Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ), який залежить від швидкості вітру:

$$\alpha_3 = 11,6 + 7\sqrt{v_B} = 11,6 + 7\sqrt{5} = 27,252 \quad (5.32)$$

де  $v_B$  – середня швидкість вітру, приймаємо  $v_B = 5$  м/с.

Термічний опір теплопровідності ізоляційного шару визначається як:

$$R_{i3} = \frac{\delta_{CM}}{\lambda_{CM}} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} = \frac{0,15}{1,69} + \frac{0,05}{0,048} = 12,226 \quad (5.33)$$

де  $\delta_{\text{см}}$ ,  $\delta_{\text{із}}$  – товщина стінки метантенка та теплоізоляційного шару, м.  $\delta_{\text{см}} = 0,15\text{м}$ ,  $\delta_{\text{із}} = 0,05\text{м}$ .

$\lambda_{\text{см}}$ ,  $\lambda_{\text{із}}$  – коефіцієнт теплопровідності стінки метантенка та теплоізоляційного шару, Вт/(м·°C).

Приймаємо для залізобетонної стінки метантенка  $\lambda_{\text{см}} = 1,69\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ , для мінеральної вати  $\lambda_{\text{із}} = 0,048\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ .

За формулою (23 - 25) розраховуємо втрати теплоти влітку і взимку:

ліТОМ:

$$Q_{\text{втр.літ}} = 0,081 \cdot 128,19 \cdot (35 - 21) + 0,081 \cdot 384,83 \cdot (35 - 8) = 902,10 \text{ Вт/год}$$

ЗИМОЮ:

$$Q_{\text{втр.зим}} = 0,0815 \cdot 128,19 \cdot (35 - 5) + 0,0817 \cdot 384,83 \cdot (35 - 8) = 1267,98 \text{ Вт/год}$$

середнє арифметичне:

$$Q_{\text{втр.сер}} = \frac{(902,097 + 1267,980)}{2} = 1085,04 \text{ Вт/год}$$

Оскільки  $1\text{Вт/год} = 3600\text{Дж}$ , то втрати теплоти в довілля на добу становитимуть:

$$q_{\text{втр.літ}} = Q_{\text{втр.літ}} \cdot 3600 \cdot 10^{-3} \cdot 24 = 77,94\text{МДж} \quad (5.33)$$

$$q_{\text{втр.зим}} = Q_{\text{втр.зим}} \cdot 3600 \cdot 10^{-3} \cdot 24 = 109,55\text{МДж} \quad (5.34)$$

$$q_{\text{втр.сер}} = Q_{\text{втр.сер}} \cdot 3600 \cdot 10^{-3} \cdot 24 = 93,75\text{МДж} \quad (5.35)$$

Тоді маса теплоносія з температурою 60 °C на добу становитиме:

$$m_{\text{т}} = \frac{q_{\text{втр.сер}}}{c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{\text{т.поч}} - T_{\text{зб}})} = 1491,60\text{кг} \quad (5.36)$$

де  $T_{\text{т.поч}}$  – початкова температура теплоносія, °C.  $T_{\text{т.поч}} = 50^{\circ}\text{C}$ .

Об'єм теплоносія:

Діаметр труби змієвика становить 320 мм.

									79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ				

## 5.6. Розрахунок виходу твердих і рідких добрив

### 5.6.1 Визначення маси кеку, що утворюється після центрифугування зброженої суміші органічної фракції твердих побутових відходів

На центрифугуванні відбувається зводнення зброженої суміші до вологості 65%.

Тоді маса кеку становитиме:

$$m_{\text{кек}} = \frac{m_{\text{ср.2}} \cdot 35}{100} \cdot 0,97 = \frac{5064,32 \cdot 35}{100} \cdot 0,97 = 1719,34 \text{ кг} \quad (5.37)$$

де 0,97 – коефіцієнт, що враховує ефективність затримання сухої речовини.

Маса фугату:

$$m_{\text{ф}} = m_{\text{з.с}} - m_{\text{кек}} = 192024,32 - 1719,34 = 190304,98 \text{ кг} \quad (5.38)$$

Маса сухої речовини, що залишилася в фугаті:

$$m_{\text{ср.ф}} = m_{\text{ср.2}} \cdot 0,97 = 151,93 \text{ кг} \quad (5.39)$$

Вміст сухої речовини в фугаті, %:

$$C_{\text{ср.ф}} = \frac{m_{\text{ср.ф}}}{m_{\text{ф}}} \cdot 100 = \frac{151,93}{190304,98} \cdot 100 = 0,0798\% \quad (5.40)$$

### 5.6.2 Визначення маси твердих добрив після сушіння

Під час сушіння кеку вологість зменшується до 12%. Сухий кек може використовуватися як тверде добриво, або піддаватися гранулюванню.

Маса твердого добрива становитиме:

$$m_{\text{сд}} = \frac{m_{\text{ср.2}} \cdot 0,97 \cdot 12}{100} = \frac{5064,32 \cdot 0,97 \cdot 12}{100} = 589,49 \text{ кг} \quad (5.41)$$

Маса вторинної пари, що утвориться при сушінні:

$$m_{\text{в.п.1}} = m_{\text{кек}} - m_{\text{сд}} = 1719,34 - 589,49 = 1129,85 \text{ кг} \quad (5.42)$$

### 5.6.3 Визначення об'єму рідких добрив

Для підвищення концентрації рідких добрив фугат упарюють до вмісту сухих речовин 1%.

Маса рідких добрив після упарювання становитиме:

$$m_{\text{рд}} = \frac{m_{\text{ср.ф}} \cdot 100}{0,08} = 15192 \text{ кг} \quad (5.43)$$

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса вторинної пари, що утворилася в процесі випарювання становить:

$$m_{\text{в.п.2}} = (m_{\text{ф}} + m_{\text{к}}) - m_{\text{рд}} = (190304,98 + 72) - 15192 = 175184 \text{ кг} \quad (5.44)$$

де  $m_{\text{к}}$  – маса конденсату, який утворився при осушенні біогазу, на основі розрахунків процесу очищення біогазу приймаємо  $m_{\text{к}} = 72 \text{ кг}$

Сумарна маса вторинної пари, що утворюється в процесах сушіння і випарювання становить:

$$m_{\text{в.п.}} = m_{\text{в.п.1}} + m_{\text{в.п.2}} = 1129,85 + 175184,23 = 176314 \text{ кг} \quad (5.45)$$

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ

### 6.1 Резюме

У зв'язку з різким погіршенням екології, а зокрема велика кількість побутових відходів, які забруднюють навколишнє середовище та викликають парниковий ефект, зменшення природного газу, то пошук нових технологій є перспективним. Технологія виділення біогазу є доволі затратна. Технологія, яка пропонується при розробці даного стартапу є поєднанням технології переробки твердих побутових відходів з виділенням біогазу, а також додатковим виготовленням твердих та рідких добрив. Джерелами сировини є органічна фракція ТПВ. Споживачем продукції стартапу є юридичні особи.

Конкурентними перевагами є зменшення використання природного газу, ринкова ціна 8,819грн/м<sup>3</sup>, період повернення капіталовкладень 1-2 роки.

**Назва розробки.** Біотехнологічне отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів.

**Мета проекту:** є вибір вигідної комплексної технології переробки твердих побутових відходів з виділенням біогазу.

**Об'єкт дослідження:** технологія отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів.

**Місце в інноваційному ланцюжку цінності розробки:** Ідея-розробка. За міжнародною класифікацією товарів продукти відносяться до класу переробляння відходів і сміття 400068

**Цінність розробки** полягає у використанні поновлюваних джерел енергії, в зменшенні використання природного газу.

**Суспільна цінність** полягає в вирішенні питань, як зменшення твердих побутових відходів на полігонах, які негативно впливають на навколишнє середовище ,що у свою чергу впливає на зменшення вжитку природного газу.

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Діденко О.С.</i>			<b>РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ</b>	<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Ткаченко Т.П,</i>					<i>82</i>	<i>118</i>
<i>Керів.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ</i>		
<i>Затверд.</i>								

**Таблиця 6.1 – Резюме стартап-проекту[31]**

Проказник	Характеристика
1. Сутність ідеї	Реалізувати технологію отримання біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів
2. Наявність аналогів або прототипів ідеї	Є аналоги на ринку - ECODEVELOP, Biowatt
3. Основна потреба, яку задовольнить реалізований стартап	Біогаз для використання
4. Сутність розробленості технології реалізації	Процес створення продукту
5. Класифікація продукту стартапу за міжнародною класифікацією стартапів	Наукові і технологічні послуги та досліджування і розробки, що їх стосуються
6. КВЕД, до якого може належати дане виробництво	35.21  Виробництво газу
7. Очікувана потужність стартапу	середнє
8. За масштабом виробництва	масове
9. За рівнем спеціалізації	вузькопрофільне
10. За ресурсами, що споживатимуться	працемістке, матеріаломістке, капіталомістке
11. За чисельністю персоналу	мале
12. Органи управління при реалізації стартапу	національні
13. Бажане географічне розташування - потужностей стартапу; - офісу стартапу; - збутової мережі; - постачальників комплектуючих.	Міста з густотою населення понад 80тис. осіб
14. Місце ідеї у ланцюжку цінностей інноваційного процесу	Утилізація
15. Гранична корисність ідеї стартапу	Збереження чистоти навколишнього середовища
16. Бізнес-модель стартапу	B2B
17. Конкуренти вітчизняні	На етапі реалізації
18. Конкуренти іноземні	На етапі реалізації
19. Ключові фактори успіху стартапу	Доступність сировини, технічне обслуговування обладнання, ефективність переробки побутових відходів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Продовження таблиці 6.1

20. Споживачі	Комунальні підприємства
21. Планова кількість продукту розробки для першого етапу реалізації	143240,4 м <sup>3</sup>
22. Мінімальна кількість виробництва за методом точки беззбитковості	4774,68м <sup>3</sup> , біогазу за добу
23. Споживачі на етапі розвитку	Комунальні підприємства
24. Споживачі на етапі зрілості	Комунальні підприємства
25. Конкурентна ціна на продукт стартапу	8,819 (грн/м <sup>3</sup> з ПДВ)
26. Плановий рівень рентабельності при реалізації продукту	105,5%
27. Капіталовкладення в проект	16 млн грн
28. Період повернення капіталовкладень у проект	1-2 роки
29. Джерела фінансування	внутрішні, зовнішні, національне, іноземне,
30. Основні компоненти продукції стартапу	Тверді побутові відходи
31. Потенційні постачальники складових компонентів розробки	Всіпотенційні постачальники складових компонентів розробки - вітчизняні Комунальне підприємство населеного пункту
32. Планове місце реалізації результату розробки	Міста з чисельність населення понад 80 тис. осіб
33. Наявність посередників при реалізації	Ні
34. Методи просування результатів розробки на ринок	Особистий продаж

**6.2. Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу**

**Таблиця 6.2 – Аналіз загроз і можливостей зовнішнього середовища**

Загрози	Можливості
<b>Економіка</b>	
1. Економічний занепад країни 2. Високі темпи інфляції національної валюти	1. Можливості використання фільтрату як добрива 2. Отримання прибутку від виробництва біогазу 3. Доступність інвестицій і кредитів

Політика	
1. Забруднення навколишнього середовища ТВП 2. Несприятлива урядова політика	1. Співпраця з науковими інститутами 2. Обґрунтоване законодавство 3. Штрафні санкції за порушення 5. Підтримка урядом еко-проектів
Науково-технічний прогрес	
1. Необхідність запозичення технологій виробництва в інших країнах 2. Недостатня кваліфікація персоналу 3. Використання застарілого обладнання	1. Можливості використання модернізованого обладнання 2. Обмін досвідом із закордонними колегами 3. Розвиток нових технологій 4. Можливість виходу на міжнародний ринок.
Географія	
1. Військові дії на частині території України	1. Достатня територіальна забезпеченість 2. Велика кількість звалищ ТВП Можливість поширення продукції сусіднім країнам
Екологія	
1. Байдуже ставлення людей до екологічних проблем	1. Збереження чистоти навколишнього середовища 2. Скорочення використання природного газу

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

**Таблиця 6.3 – Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища**

Фактор	Переваги	Недоліки
Виробник, постачальник	Постійне забезпечення сировиною Наявність постачальників в Україні Низька чисельність персоналу	Наявність аналогів на ринку Великі грошові вкладення Закупівля дорогого обладнання
Споживачі	Доступна ціна Зацікавленість у використанні альтернативних джерел енергії	Погана обізнаність
Посередники	Можливість продажу в різних виробництвах	Залежність від замовника
Конкуренти	Якість продукту	Витрати на рекламу Конкуренція з іншими постачальниками продукту

**Таблиця 6.4 – Аналіз зацікавлених сторін**

Зацікавлена сторона	Вплив її на реалізацію проекту	Цікавість її до проекту	Загальний коефіцієнт впливу на проект
Суб'єкти зовнішнього оперативного середовища			
Виробник	10	10	1
Постачальник	10	7	0,70
Споживачі	10	8	0,80
Посередники	8	8	1
Зовнішнє середовище			
Політичні структури	7	8	0,56
Суб'єкти економічного середовища	6	8	0,48
Власники географічних об'єктів	10	9	0,90
Суб'єкти НТП	9	8	0,72

**Таблиця 6.5 – Переваги та недоліки внутрішнього середовища**

Фактор	Переваги	Недоліки
Організаційна структура	- чіткий поділ праці - готовність працівників до ризику	- Відсутність великого досвіду роботи менеджменту. - Незнання переваг організаційно-правових форм організації бізнесу
Маркетинг	Цінові переваги та монополія на внутрішньому ринку	- Високі витрати на створення іміджу новоствореної компанії; - Відсутність коштів на рекламу.
Виробництво	- Наявність гарної матеріальної бази. - Світовий рівень якості продукції. - Можливість розширення виробничих потужностей.	- Дорогі кредити; - Орієнтація на поточні потреби виробництва - Дефіцит коштів
Персонал	Власна база підготовки	На початковому етапі можлива плінність кваліфікованих кадрів

**Таблиця 6.6 – Переваги та недоліки внутрішнього середовища**

Фактор	Переваги	Недоліки
Організаційна структура	Раціональна організаційна структура	- Відсутність великого досвіду роботи
Маркетинг	Цінові переваги та монополія на внутрішньому ринку	- Високі витрати на створення іміджу новоствореної компанії; - Відсутність коштів на рекламу.
Виробництво	- Наявність постійної матеріальної бази.. - Можливість розширення виробничих потужностей.	- Дорогі кредити; - Орієнтація на поточні потреби виробництва - Дефіцит коштів
Персонал	Якість роботи персоналу	Тільки кваліфікований персонал



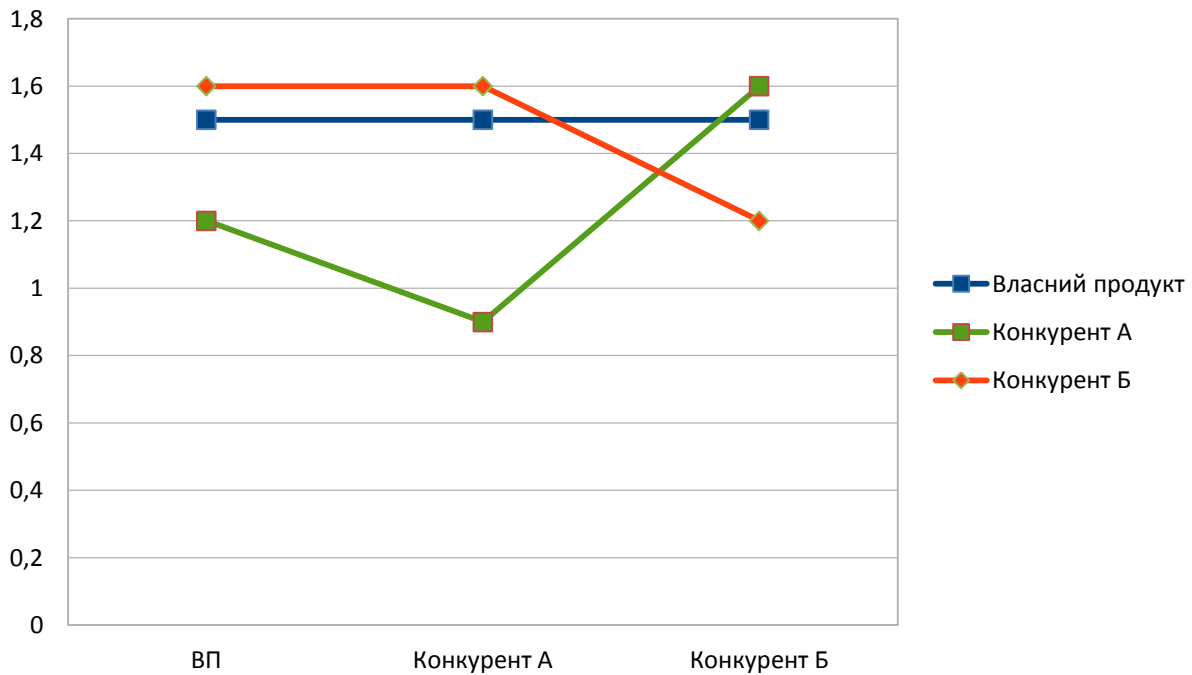


Рисунок 6.1 – Порівняння конкурентних переваг підприємства з конкурентами[31]

Завдяки цьому методу було визначено, що перевагою конкурентів є технологічне обслуговування обладнання.

На основі ключових факторів успіху формуємо можливі варіанти розвитку.

Таблиця 6.8 – Варіанти розвитку ідеї стартапу

Варіант	Стислий опис можливого розвитку
1.Продаж технології іноземним компаніям	Використання сучасного обладнання для переробки ТВП з виділенням біогазу дозволяє конкурувати на ринку
2.Популяризація процесу переробки ТВП	Під час використання технології переробки ТВП утворюється біогаз, який має різноманітне застосування у сферах енергетики. Утворений фільтрат використовується як добриво, що слугує додатковим прибутком.

**Таблиця 6.9 – Класифікація потенційних споживачів**

Критерії	Значення
Юридична особа	
1. Форма власності (державне, приватне, колективне, комунальне, змішане,...)	Приватне, змішане
2. КВЕД	С-Переробна промисловість D-Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря <b>35.21  Виробництво газу</b>
3. За потужністю (малі, середні, великі)	Великі, середні
4. За масштабом виробництва (одиничні, серійні, масові)	Масові
5. За рівнем спеціалізації (вузькопрофільні, багатoproфільні, комбіновані)	Вузькопрофільні
6. За ресурсами, що споживаються (працемістки, матеріаломістки, капіталомістки, інформація)	Працемістки
7. За чисельністю персоналу (малі, середні, великі)	Малі, середні
8. За сферою діяльності (виробничі, комерційні, фінансові, посередницькі, страхові...)	Виробничі
9. За приналежністю капіталу і контролю (національні, іноземні, спільні багатонаціональні,...)	Національні
10. За географічним розташуванням	На території України
11. За віддаленістю органів управління (національні, міжнародні, офшорні, транснаціональні,...)	Національні
12. За характером господарської діяльності (промислові, сільськогосподарські, транспортні, будівельні, фінансово-кредитні, страхові, туристичні,	Промислові

консалтингові,...),	
13. За рівнем технологічної цілісності (провідні, дочірні, філії,...)	Філії,
14. За долею іноземного капіталу (з іноземними інвестиціями (більше 10%), іноземне підприємство (100%)).	< 40%
15. За формуванням статутного капіталу (унітарні, корпоративні)	Корпоративні
16. За організацією виробничих процесів (періодичні, безперервні)	Періодично
17. За роботою протягом року (сезонні, позасезонні)	Позасезонні
18. За географічним розташуванням на території України	Територія України
19. За наявністю вільних ОбЗ (коштів)	
20. За динамікою розвитку регіону розташування юридичної особи: –Регіон –Чисельність населення –Динаміка росту регіону –Структура регіону –Правові обмеження торгівлі	Розташування лише у великих містах
<b>2. Фізична особа</b>	
1. Вік	Особи які досягли повноліття
2. За сплатоспроможністю	Всі
3. За соціальним рівнем споживачів • Кількість майна • Рівень зарплати • Доступ до ресурсів	Будь-який - -
4. За способом життя (звички, традиції, стереотипи поведінки) • Фізичні • Психологічні • Емоційні • Духовні • Соціальні	Всі - - - - -

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Інтелектуальні	
5. Тип особистості споживачів Традиціоналіст Ідеаліст Фрустрант Реаліст	Всі
6. За ставленням до товару <ul style="list-style-type: none"> <li>• Мотивація придбання</li> <li>• Пошук вигоди</li> <li>• Ставлення до товару</li> <li>• Інформованість про товар</li> <li>• Інтенсивність споживання товару</li> </ul>	зменшення використання природного газу зменшення відходів позитивне та розуміюче зростаюча
7. За сімейними цінностями <ul style="list-style-type: none"> <li>• Склад сім'ї</li> <li>• Рівень сімейного доходу</li> </ul> Етап життєвого циклу сім'ї	Будь-який
8. За співвідношенням бажання придбати і цінової межі (порівняти цифри парами «місячний дохід – вартість одиниці товару»)	8,819 грн/м <sup>3</sup>
9. За інтенсивністю споживання товару – Разове придбання – Періодичне	Систематичне придбання

Таблиця 6. 10– Паспорт потенційного клієнта

Характеристика	Значення	Примітки
Організаційно-правова форма	-	
Класифікація -за потужністю -за чисельністю персоналу -за обсягом виробництва -за сезонністю виробництва	Середнє Мале Масове Позасезонне	
Розташування	Місто з чисельністю населення понад 80 тис. осіб	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Вид продукту, який потрібен даному споживачеві	Біогаз	
Призначення придбаної розробки	За призначенням	
Кваліфікація персоналу підприємства	-робочі -службовці -керівники -спеціалісти	
Потенційний обсяг споживання розробки -одиниця -1-5 -інше	м <sup>3</sup>	
Хто приймає рішення про придбання розробки (узагальнена характеристика працівника)	Директор	

Таблиця 6.11– Запланований обсяг реалізації стартап-продукту (товарів, послуг)\*

Запланований обсяг	143240,4	вересень, 2020
	м <sup>3</sup>	
	143240,4	жовтень, 2020
	м <sup>3</sup>	
	143240,4	листопад, 2020
	м <sup>3</sup>	
	143240,4	грудень, 2020
	м <sup>3</sup>	
	143240,4	січень, 2021
	м <sup>3</sup>	
	143240,4	лютий, 2021
	м <sup>3</sup>	
143240,4	березень, 2021	
м <sup>3</sup>		
143240,4	квітень, 2021	
м <sup>3</sup>		
143240,4	травень, 2021	
м <sup>3</sup>		
143240,4	червень, 2021	
м <sup>3</sup>		
143240,4	липень, 2021	
м <sup>3</sup>		
143240,4	серпень, 2021	
м <sup>3</sup>		

Таблиця 6.12 – Проектні ціни продажу ідеї, технології, методики, програми

Найменування товару	Планові обсяги продажу		Аналоги, прототипи	
	Кількість, од	Ціна, грн/од	Кількість, од	Ціна, грн/од
Біогаз	За куб	8,819	Природний газ за м <sup>3</sup>	8,819

Основні методи ціноутворення:[31]

1. Метод, орієнтований на витрати (*витратний метод*):

						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	

$Ц = C + \text{фіксований відсоток прибутку (від собівартості) [грн/од]}$

(або середня норма прибутку по даному виду товару),

де  $Ц$  – прогнозована ціна товару, грн/од,

$C$  - розрахована автором ідеї, технології, методики очікувана собівартість товару, грн/од.

$$Ц = 8,819 + 8,819 * 0,3 = 5,29 \text{ грн/од}$$

Ціна при виході на планову потужність:

$$Ц = 4,29 + 4,29 = 8,58 \text{ грн/од}$$

2. *Агрегатний метод* – застосовується до товарів із складових елементів:

$$Ц = Ц_1 + Ц_2 + \dots + Ц_i, \text{ [грн/од]},$$

Ціна на етапі впровадження:

$$Ц = 8,819 \text{ грн/од}$$

Ціна при виході на планову потужність складає:

$$Ц = 4,29 \text{ грн/од}$$

3. *Параметричний метод* – враховує вагомість якісних параметрів товару і оцінку цих параметрів товару і оцінку цих параметрів споживачем:

$$\text{Ц нової моделі} = \text{Ц базової моделі} \times \frac{\text{Балова оцінка нової моделі}}{\text{Балова оцінка базової моделі}}, \text{ [грн/од]}$$

де  $Ц$ . нової моделі – ціна ідеї, технології, розробки, за якою ми пропонуємо її на ринку, грн/од.,

$Ц$ . базової моделі – ціна прототипу, аналогу, які вже існують на ринку, грн/од.,

**Таблиця 6.13 – Розрахунок ціни параметричним методом**

Продукт	Параметри						Ціна
	1		2		3		
	ба ли	Коефіцієнт вагомості	ба ли	Коефіцієнт вагомості	ба ли	Коефіцієнт вагомості	
							$(45 * 0,2 + 70 * 0,4 + 80 * 0,4) = 69$
Аналог	45	0,2	70	0,4	80	0,4	8,819
Новий	50	0,2	80	0,4	80	0,4	$(50 * 0,2 + 80 * 0,4 + 80 * 0,4) = 74$

Ціна існуючого продукту: 8,819 грн/м<sup>3</sup>, таким чином ціна розрахована параметричним методом становить:

$$C_{н.м.} = 8,819 \frac{74}{69} = 9,4 \text{ грн/м}^3$$

4. Метод на основі *аналізу точки беззбитковості*.

При ціні 8,819 грн/м<sup>3</sup> біогазу точка беззбитковості досягається при продажі 1743123,2м<sup>3</sup>.

**Таблиця 6.14 – Калькуляція собівартості стартап-продукту[31]**

№п/п	Етап розробки / елемент собівартості	Кількісний показник	Вартісний показник
1.	Етап розробки ідеї	-	10639,5грн / добу
	-сировина, матеріали	-	3827,90 грн / добу
	-амортизація	15 осіб	148000 рік
	-заробітна плата і нарахування (ЄСВ)	-	4933грн/добу
	-електроенергія, паливо	-	22% 32560
	Собівартість з 1 м <sup>3</sup>		1,6 за Квт*год 4,29 грн
2.	Етап ринкового дослідження	-	10639,5грн / добу
	-сировина, матеріали	-	3827,90 грн / добу
	-амортизація	15 осіб	148000 рік
	-заробітна плата і нарахування (ЄСВ)	-	4933грн/добу
	-електроенергія, паливо	-	22% 32560
	Собівартість з 1 м <sup>3</sup>		1,6 за Квт*год 4,29 грн
3.	Етап впровадження (дослідного випробування)	-	10639,5грн / добу
	-сировина, матеріали	-	3827,90 грн / добу
	-амортизація	15 осіб	148000 рік
	-заробітна плата і нарахування (ЄСВ)	-	4933грн/добу
	-електроенергія, паливо	-	22% 32560
	Собівартість з 1 м <sup>3</sup>		1,6 за Квт*год 4,29 грн

## Продовження таблиці 6.14

4. Етап виходу на планову потужність	-	10639,5грн / добу
-сировина, матеріали	-	3827,90 грн / добу
-амортизація	15 осіб	148000 рік
-заробітна плата і нарахування (ЄСВ)	-	4933грн/добу
-електроенергія, паливо		22% 32560
Собівартість з 1 м <sup>3</sup>		1,6 за Квт*год
		4,29 грн

**Таблиця 6.15 – Забезпеченість проекту основними засобами**

Місце ОЗ у технологічному процесі	Назва ОЗ	Повна початкова вартість ОЗ	Плановий період експлуатації ОЗ	Очікуваний постачальник	Джерело фінансування придбання
Комунікації	Трубопроводи	500000	10 років	GofraFlex®	Кредит
Виробничий процес	Обладнання	8 млн	10 років	Промислова-будівельна група «Ковальська»	Кредит

**Таблиця 6.16 – Забезпеченість проекту оборотними фондами**

Група ОбФ	Назва	Норма витрат на рік,	Ціна, грн/од	Очікуваний постачальник	Джерело фінансування
Сировина і матеріали	Сировина	22447,5 м <sup>3</sup>	3883417,5	Комунальні підприємства	Держава

**Таблиця 6.17 – Забезпеченість проекту трудовими ресурсами**

Категорія кадрів	Назва посади	Чисельність за списком на посаді	Кваліфікаційні вимоги	Плановий рівень заробітної плати	Джерело фінансування ФОП
Робочі основні	Апаратник	3	Повна загальна середня освіта та професійна підготовка на	9000	Державні кошти, інвестиції,

Продовження таблиці 6.17

			виробництві, без вимог до стажу роботи		прибуток
Робочі допоміжні	Слюсар	2	Професійно-технічна освіта	9000	Державні кошти, інвестиції, прибуток
	Електрик	2	Професійно-технічна освіта	9000	Державні кошти, інвестиції, прибуток
Спеціалісти	Інженер-технолог	2	Повна вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, спеціаліст).	11000	Державні кошти, інвестиції, прибуток
	Технік-технолог	2	Повна вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, спеціаліст).	11000	Державні кошти, інвестиції, прибуток
Керівники	Начальник зміни	2	Повна вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, спеціаліст).	13000	Державні кошти, інвестиції, прибуток
	Начальник станції	1	Повна вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, спеціаліст).	15000	Державні кошти, інвестиції, прибуток

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ

## Продовження таблиці 6.17

	Заступник начальника станції	1	Повна вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, спеціаліст).	13500	Державні кошти, інвестиції, прибуток
--	------------------------------	---	---	-------	--------------------------------------

Джерелами фінансування було обрано запозичені джерела, такі як вітчизняні кредити, державні та недержавні гранти. Інвестиції фінансові — кредити банків та з власних джерел — дохід від реалізації.

Таблиця 6.18 – Техніко-економічні показники проекту

Показники	Одиниця виміру	Умовне позначення, формула розрахунку
1. Річний обсяг реалізації ідеї, технології, методики	м <sup>3</sup>	1 743123,2
2. Середньорічна чисельність персоналу за списком	Осіб	15
3. у тому числі	Осіб	3
- основних		4
- допоміжних		4
- спеціалісти		4
- керівники		
4. Середньорічний виробіток робітника	м <sup>3</sup> /особу	318,37
5. Капіталовкладення у проект	грн. грн./м <sup>3</sup>	16000000 9,17
6. Повна собівартість - всього на одиницю продукції	грн. грн./м <sup>3</sup>	7477988,53 4,29
7. Відносний прибуток	грн. грн./м <sup>3</sup>	5,29
8. Рентабельність (окремо на процес розробки і на процес реалізації проекту)	%	105,5

										98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ					

9. Період повернення капіталовкладень (окремо на процес розробки і на процес реалізації проекту)	років	2
10. Фондовіддача виробничих фондів (окремо на процес розробки і на процес реалізації проекту)	грн./грн.	1,241
11. Фондоємкість (окремо на процес розробки і на процес реалізації проекту)	грн\грн	0,8
12. Продуктивність праці (окремо на процес розробки і на процес реалізації проекту)	$\frac{м^3}{люд. \cdot год}$	13,28
13. Коефіцієнт економічної ефективності (окремо на процес розробки і на процес реалізації проекту)	-	1,24

#### 6.4 Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів

Таблиця 6.19 – Карта бізнес-процесів виконання стартап-проекту

Стадія реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Характеристики		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу	Верхня межа фінансових витрат
Розробка ідеї стартапу	Розробка стартап-проекту	Робота розробників	1 місяць	10000
Реалізація ідеї	-Підписання контрактів та договорів -Закупка матеріалів -Проведення комунікацій -Будівництво станції -Тестування та введення експлуатацію	Робота та керівництва персоналу	2 місяці	500000

Впровадження у виробництво	Продаж біогазу Продаж твердих та рідких добрив Закупка запасних матеріалів	Робота керівництва та персоналу	1 рік	8 млн
Масова реалізація	Продаж біогазу Продаж твердих та рідких добрив Закупка запасних матеріалів	Робота керівництва та персоналу	1 рік	300000

Таблиця 6.20 – Системний аналіз бізнес-процесів стартапу

Функції	Елементи						
	Розробник	Начальник станції	Заступник начальника а станції	Начальник зміни	Спеціаліст и	Робочі допоміжні	Робочі основні
Розробка стартап-проекту	+	-	-	-	-	-	-
Підписання контрактів та договорів	+	+	+	-	-	-	-
Закупка матеріалів	+	+	+	-	-	-	-
Проведення комунікацій	-	-	-	-	+	+	-
Будівництво станції	-	-	-	-	+	+	-
Тестування та введення в експлуатацію	-	-	-	+	+	+	-
Закупка запасних частин	-	+	+	-	-	-	-
Продаж біогазу	-	+	+	-	-	-	-
Продаж рідких та твердих добрив	-	+	+	-	-	-	-

Для успішної реалізації проекту необхідно:

- виявити відповідні фактори ризику;
- розробити заходи, спрямовані на уникнення та зведення до мінімуму ризиків.

**Таблиця 6.21 – Ризики інноваційної розробки**

Назва процесу / стадії реалізації стартапу проекту	Бізнес-процеси	Зовнішні ризики	Внутрішні ризики
Розробка ідеї стартапу	Розробка ідеї стартапу	Зміна попиту на продукцію	Відносно невисокий рівень мотивації праці
Реалізація ідеї	Підписання контрактів та договорів	Закриття підприємств	Поява конкуруючої продукції
	Закупівля матеріалів	Ріст цін	Дефіцит коштів
	Проведення комунікацій	Ріст цін	Дефіцит коштів
	Будівництво станції	Ріст цін	Дефіцит коштів
	Тестування та введення в експлуатацію	Підвищення поточних витрат	Дефіцит коштів
Впровадження у виробництво	Продаж біогазу	Закриття підприємств	Відносно невисокий рівень мотивації праці
	Продаж твердих та рідких добрив	Закриття підприємств	Відносно невисокий рівень мотивації праці
	Закупка запасних матеріалів	Ріст цін	Дефіцит коштів
Масова реалізація	Продаж біогазу	Закриття підприємств	Відносно невисокий рівень мотивації праці
	Продаж твердих та рідких добрив	Закриття підприємств	Відносно невисокий рівень мотивації праці
	Закупка запасних матеріалів	Ріст цін	Дефіцит коштів

**Таблиця 6.22 – Ризики інноваційної розробки та ймовірність їх настання**

Види ризиків	Назва ризику	Ймовірність настання	Вплив на очікуваний результат
<b>Зовнішні ризики</b>			
Економічні	Зростання цін на сировину для стартапу	Висока	Середній
	Закриття підприємств	Середня	Середній
Політичні	Зростання потенційних кількості конкурентів	Низька	Низький
Демографічні	Зменшення кількості постачальників сировини	Висока	Високий
Науково-технічний прогрес	Збільшення працевітності підприємства	Низька	Низький
	Зростання потенційних кількості конкурентів	Низька	Низький
<b>Внутрішні ризики</b>			
Виробничі	Дефіцит коштів	Висока	Високий
Персонал	Відносно невисокий рівень мотивації праці	Середня	Середній
Організація виробництва	Відсутність ефективного менеджменту	Низька	Низький

**Таблиця 6.23 – Матриця оцінки ризиків [31]**

За впливом ризиків на очікуваний результат		За ймовірністю настання ризиків		
Критерії ризику	Числове значення	Низька ймовірність	Середня ймовірність	Висока ймовірність
		1	2	3
Високий рівень впливу	3		1(1*1)	4(2*2)
Середній рівень впливу	2		4(2*2)	
Низький рівень впливу	1	16(4*4)		

**Таблиця 6.24 – План заходів з управління ризиками**

Назва ризику	Назва методу управління ризиком	Відповідальні виконавці	Період виконання / застосування методу	Очікувані результати від впровадження методів управління
Зростання цін на сировину для стартапу	Пошук альтернативних постачальників сировини	Керівництво	2 місяці	Зменшення ціни на сировину, зменшення собівартості
Зменшення кількості постачальників сировини	Пошук нових постачальників	Керівництво	1 місяці	Збільшення виділення біогазу
Дефіцит коштів	Пошук інвесторів, отримання кредитів в різних банках	Керівництво	2 місяці	Подолання дефіциту коштів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

**Таблиця 6.25 – Методи управління ризиками**

Методи управління ризиками	Приклад методу
Ухилення від ризику	Відмова від ризику: –Відмова від ненадійних партнерів, постачальників; –Відмова від прийняття ризикованих проектів, рішень
Прийняття ризику	–Самострахування –Створення резервів (в у натуральній або грошовій формі (фондів самострахування або фондів ризику)); – Покриття збитку з поточного доходу; – Запозичення (кредитування) – отримання кредитів та позик, державних дотацій для компенсації збитків та відновлення виробництва;
Попередження (скорочення) ризику	–Зниження частоти збитку; – Зменшення розміру збитків; –Поділ ризику (диференціація і дублювання); –Прогнозування зовнішньої економічної ситуації; –Моніторинг соціально-економічного та правового середовища;
Передача ризику	–Аутсорсинг ризику; –Надання гарантій, поручительства; –Укладання договорів факторингу; –Страхування; –Спонсорство.

Отже, собівартість 1м<sup>3</sup> біогазу з органічної фракції твердих побутових відходів становить 4,29 грн/ м<sup>3</sup>. Враховуючи, що закупівельна ціна державними органами становить 8,819грн/м<sup>3</sup> (фінальна ринкова ціна для споживачів враховує тариф на подальше транспортування газопроводами, розподіл, тариф на постачання газу та ПДВ і становить 8,819 грн/м<sup>3</sup> станом на листопад 2020р.) дана продукція є конкурентоспроможною.

## РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

### 7.1 Загальні вимоги щодо охорони праці та техніки безпеки на підприємстві з виробництва біогазу

Біогаз виділяється при бродінні органічних речовин без доступу повітря і є легкозаймистою та вибухонебезпечною речовиною. Вміст метану в біогазі становить до 70% до очищення та до 97% після очищення. Разом із біогазом також утворюються різноманітні хімічні речовини, що являються відходами в процесі виробництва. Біогаз в суміші з повітрям в пропорції від 5% до 15% при наявності джерела запалення з температурою 600 °С або більше може призвести до вибуху. Відкритий вогонь небезпечний при концентраціях біогазу в повітрі більше 12% [40,41].

До роботи на підприємстві допускаються особи, які досягли повноліття, пройшли медичний огляд та інструктаж по техніці безпеки, а також пройшли спеціальне навчання. Також персонал який вже працює на установці, має періодично проходити інструктаж з техніки безпеки і пожежної безпеки. Вхід стороннім особам без супроводу на територію заборонений.

Технологічний процес на підприємстві повинен відповідати вимогам безпеки по системи стандартів безпеки праці України, зокрема ДСТУ ГОСТ 12.0.230:2008 Система стандартів безпеки праці. Системи управління охороною праці. Загальні вимоги (ГОСТ 12.0.230-2007, IDT)[42].

Вимоги безпеки при створенні і експлуатації біогазових установок та метаногенних реакторів визначені у ДСТУ 4516:2006 Енергоощадність. Поновлювані джерела енергії. Установки біогазові. Загальні технічні вимоги [43].

З метою зниження пожежної небезпеки категорично заборонено використання відкритого полум'я на території та в приміщеннях.

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Діденко О.С.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>						
							105	118
<i>Керів.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ</i>		
<i>Затверд.</i>								

Джерелами займання також можуть бути електричні та механічні іскри, полум'я та гарячі поверхні [43].

Основні способи зниження ризику виникнення пожеж:

- недопущення появи джерела загоряння на території підприємства;
- недопущення появи витоків метану;
- недопущення утворення вибухонебезпечних сумішей біогазу та повітря;
- для зберігання органічних відходів та зброженої суміші потрібно передбачати ємності, які перешкоджають емісії метану в довкілля.

БГУ повинні мати огорожу, в межах якої під час обслуговування з заборонено палити, використовувати під час роботи БГУ газо- й електрозварювальну апаратуру та інструмент, що може створити іскру. Відстань огорожі від біореактора, газгольдера і газових приладів, що належать до системи складання, зберігання та відпускання газу має становити не менше 1,0 м. На огорожі треба з усіх боків нанести знаки безпеки відповідно до ГОСТ 12.4.026 у місцях, зручних для огляду [43].

На підприємстві повинні бути первинні засоби пожежогасіння відповідно до ГОСТ 12.4.009.

З метою наочного відображення пожежної небезпеки та проведення пожежно-профілактичної роботи при виробництві біогазу необхідно розробляти пожежно-технічні карти.

В картах представляють:

- схему виробництва біогазу (норми технологічного режиму, пожежнонебезпечні ділянки, зони ризику);
- схему розміщення приміщень, основного устаткування, обладнання, матеріалів. Виділяють особливо небезпечні ділянки (із загрозою для життя людей), пожежне навантаження, кількість працюючих людей, категорію за вухопожежною і пожежною небезпекою, зони класу за ПУЕ;

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- характеристики пожежної небезпеки і заходів безпеки відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004-91. По кожній передбачуваній небезпеці вказують існуючий захист або захист, який пропонується [45].

Вимоги щодо електромагнітної сумісності електрообладнання, повинні бути встановлені в стандартах і ТУ і відповідати вимогам ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту [44].

Всі вимірювальні прилади мають проходити періодичну перевірку та мати відповідну печатку чи пломбу.

В разі надзвичайних ситуацій використовувати індивідуальні засоби захисту: протигази та респіратори відповідно до ДСТУ 7238:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація [48] та ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація [46].

При обслуговуванні біогазових установок можлива дія на робітників хімічно-, фізично-, біологічно- та психофізіологічно небезпечних факторів. Вагітні жінки та годуючі матері до обслуговування установок не допускаються [43].

Найбільш небезпечними зонами на біогазових установках є райони близько реактора та місця відбору проб і огляду.

Необхідно дотримуватися запобіжних заходів для запобігання зараження обслуговуючого персоналу біогазової установки патогенною мікрофлорою, що міститься в органічній фракції відходів. Не рекомендується приймати їжу поруч з біогазовими установками [47]. Основні заходи щодо біологічної безпеки при роботі на підприємстві мають відповідати ДСТУ 7748:2015 Безпека праці. Біологічна безпека. Загальні вимоги [47].

## 7.2 Охорона довкілля

При відсутності роздільного збору та переробки відходів через присутність в твердих побутових відходах органічної фракції, яка швидко

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

згниває та розкладається, вони є суттєвим джерелом забруднення навколишнього середовища. Це пов'язано не лише з проблемою вилучення земельних ресурсів з господарського користування під влаштування звалищ.

ТПВ створюють санітарно-гігієнічну та епідеміологічну небезпеку внаслідок неприємних запахів та шкідливих хімічних сполук, що можуть виділятися при їх розкладанні, а також збудників інфекційних та паразитичних хвороб.

При розкладанні ТПВ на звалищах також виділяються небезпечні горючі гази, які створюють пожежоно-небезпечні умови та парникові гази, які забруднюють атмосферу. Тому роздільний збір та переробка всіх фракцій ТПВ, а особливо органічної на підприємстві допомагає вирішити важливу екологічну проблему [1].

В процесі виробництва біогазу органічної фракції ТПВ утворюється ряд побічних продуктів, які за відсутності правильної утилізації можуть становити небезпеку для довкілля. Розроблена технологія передбачає використання чи переробку практично всіх відходів, що утворюються.

Особливо небезпечним побічним продуктом є зброджений осад, оскільки при надходженні в навколишнє середовище може слугувати сильним джерелом забруднення біогенними елементами.

Як правило осад зневоднюють на центрифугах чи пресах. Зневоднену фракцію використовують як добриво, а фугатом розбавляють вихідну сировину. Проте використання фугату як рідини для розбавлення сировини лімітується високим вмістом в ньому сполук нітрогену, тому більша частина фугату залишається у вигляді побічного продукту. Зливати в природні водойми без очищення фугат заборонено через високий вміст органічних та мінеральних речовин, а очищати – не рентабельно.

Тому в технологічній схемі запропоновано використовувати фугат для виготовлення рідких обрив шляхом концентрування упарюванням.

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При цьому вода, що випарувалася з фугату може бути використана для розбавлення сировини до вологості необхідної для зброджування, а рідкі концентровані добрива реалізуються споживачам.

Для збільшення енергоефективності підприємства запропоновано використовувати рекуперацію тепла гарячих відходів для підготовки гарячого теплоносія. Зокрема використовується теплота первинного конденсату та вторинної пари, які утворюються в процесах сушіння твердих та концентрування рідких добрив.

Таким чином, зброджена суміш використовується для виготовлення рідких і твердих добрив, використання конденсату для розбавлення суміші перед початком бродіння повністю покриває потребу у воді та маючи високу температуру економить використання енергії для нагрівання суміші.

Відпрацьовані теплоносії регенеруються за рахунок використання рекуперації теплоти вторинної пари, яка утворюється в процесах сушіння а випарювання.

Ще одним відходом виробництва є відпрацьовані абсорбенти. Для спрощення процесу та уникнення енерго- та матеріалоємної стадії регенерації абсорбентів запропоновано, відпрацьований абсорбент з абсорбера  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  від А-14, використовувати для підтримання оптимального значення рН процесу, при закисленні субстрату в реакторі. Сульфат амонію в абсорбері А-15, який утворюється можна використовувати як мінеральне добриво. Тому відпрацьований абсорбент використовують для виготовлення рідких добрив разом з рідкою фракцією збродженої суміші.

Тому розроблена технологічна схема виробництва біогазу з органічної фракції ТПВ безпечна для довкілля.

Крім того, спостерігається навіть позитивний ефект на довкілля за рахунок того, що добрива дозволяють підвищувати родючість ґрунтів, а біогаз – є  $\text{CO}_2$  нейтральним паливом.

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Для переробки органічної фракції ТПВ обрано технологію зброджування з отриманням біогазу.

ТПВ містять велику кількість органічних речовин (до 40-60% залежно від сезону), тому доцільно збирати органічну фракцію окремо і переробляти з отриманням цінних продуктів. Виробництво біогазу є одним з найбільш доцільних способів переробки органічної фракції ТПВ, оскільки на відміну від компостування дозволяє отримати енергоносії та має значно меншу тривалість.

Для зброджування органічної фракції ТПВ обрано мезофільний режим зброджування, вологий тип ферментації та одноступінчасте зброджування. Режим роботи метантенка – безперервний. Для очищення біогазу обрано двоступінчасте очищення методом абсорбції 10% розчином NaOH на першому ступені та сірчаною кислотою на другому ступені з подальшим зневодненням.

В очищеному біогазі основну масу складає метан (95-97%) та водень (до 3%). Також можлива присутність вуглекислого газу у кількостях до 2% та сірководню у залишкових кількостях 0,01 – 0,02%. Вміст води не повинен перевищувати 0,2 %.

Розроблено технологічну і апаратурну схему технології отримання біогазу з органічної фракції ТПВ, яка включає подрібнення відходів, розбавлення водою до вологості 95%, метанове зброджування, двоступінчасте очищення в абсорберах і осушення. Передбачена схема переробки збродженої суміші в тверді гранульовані та рідкі добрива.

Для виробництва біогазу обрано метантенк об'ємом 1000 м<sup>3</sup> з діаметром 12,5м з Для підтримання необхідної температури зброджування метантенк обладнаний змієвиком. Кількість метантенків – 2 споруди. Добовий вихід біогазу становить 4775м<sup>3</sup>.

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Діденко О.С.</i>			<b>ВИСНОВКИ</b>	<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>						
							110	118
<i>Керів.</i>		<i>Зубченко Л.С.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ</i>		
<i>Затверд.</i>								

Розроблено схему автоматизації стадії зброджування органічної фракції твердих побутових відходів, яка передбачає контроль та регулювання витрати сировини, рівня заповнення метантенка, температури та рН в метантенку.

Розроблено стартап-проект для отримання біогазу з органічної фракції ТПВ. Відповідно до розрахунків вартість біогазу складає 8,819 грн/м<sup>3</sup>.

Розглянуто заходи щодо охорони праці та охорони довкілля на виробництві біогазу.

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	<i>111</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов Н. Ф. Отходы мегаполиса: морфологический и фракционный состав / Н. Ф. Абрамов, С. В. Архипов, М. В. Карелин, Я. А. Жилинская // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 9. – С. 42–45.
2. Петрук В. Г. Управління та поводження з відходами. Частина 4. Технології переробки твердих побутових відходів: навчальний посібник / Петрук В. Г., Васильківський І. В., Іщенко В. А., Петрук Р. В. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 233 с.
3. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року (схваленорозпорядженням КМУ від 08.11.2017 р. за № 820-р). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>(дата звернення 27.10.2019 р.).
4. Панчук М.В. Аналіз перспектив розвитку виробництва та використання біогазу в Україні /М.В. Панчук, Л.С. Шлапак // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – № 3(60). – 2016. – С. 26-33
5. Радовенчик В.М., Гомеля М.Д. Тверді відходи: збір, переробка, складування. – К.: Кондор, 2010. – 549 с.
6. Душкін С. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія утилізації твердих побутових відходів» / С. С. Душкін, М. В. Дегтяр; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 86 с.
7. Інтегроване управління та поводження з твердими побутовими відходами у Вінницькій області. Монографія / Під ред.В. Г.Петрука.–Вінниця: УНІВЕРСУМ.–Вінниця, 2007.–160с
8. Шанина Т.П. Отходы городских систем как потенциальный ресурс и источник загрязнения окружающей природной среды . Вісник Одеського державного екологічного університе-ту. 2011. Вип. 11. С. 27-34.
9. Горобець О.В. перспективні напрями утилізації органічних відходів/ О. В. Горобець, В. А. Галіцький //Institutional Repository of Zhytomyr National Agroecological University /[http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/8158/5/NME\\_2016\\_97-102.pdf/](http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/8158/5/NME_2016_97-102.pdf/)

						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	

10. Ukraine's Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2016 / Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Kyiv, 2017. 519 p. URL: [https://menr.gov.ua/files/docs/Zmina\\_klimaty/kadastr2016/ukr-2018\\_nir23may18.zip](https://menr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/kadastr2016/ukr-2018_nir23may18.zip).
11. Реєстр об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів // Портал відкритих даних. – Режим доступу <https://data.gov.ua/dataset/95>. – Назва з екрану.
12. Приходько В.Ю. Характеристика біоорганічної складової твердих побутових відходів / В.Ю. Приходько, К.Р. Гюльяхмедова // Karazin University Journal of Ecology. Is. 19. – 2018.– P. 82-90.
13. Козій І.О. Термічне знешкодження ТПВ: Європейський досвід/ О.І. Козій, М.П. Петрук, О.М. Вахула //Комунальне господарство міст. – № 120(3). – 2015. 2015. – С. 122-125.
14. ГБН В.2.2-35077234-001:2011. Підприємства сортування та перероблення твердих побутових відходів. вимоги до технологічного проектування. К. 2011.
15. Edwards С.А. The production of earthworm protein for animal feed from organic wastes // Organic Wastes, and Environmental Management / ed. by С.А. Edwards. CRS Press, Taylor and Francis Group, 2011. –P. 323–334.
16. Михтарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых. Источников. Опыт и перспективы / Н. М. Михтарян. – К.: Наукова думка, 1999. – 320 с.
17. Баротфи И. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах /И. Баротфи, П. Рафаи. – М.: Агропромиздат,1998. – 288 с.
18. Баадер. В./ Биогаз: теория и практика /В. Баадер, Е. Доне, М. Брендерфер; [пер. с нем.]. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
19. Скляр О.Г. Аналіз роботи біогазових установок Механізація та електрифікація сільського господарства / О.Г.Скляр, Р. В. Скляр. – №10 (109). – 2019. – С 132-138.
20. Ратушняк Г.С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату: монографія /Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця: Універсум - Вінниця, 2008. – 158 с.

ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ

21. Ратушняк Г.С. Энергобережения в системах биоконверсии. Навчальний посібник /Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 83 с.
22. Слюзар А.В. Методи очищення і перероблення сірководеньмісних газів / А.В. Слюзар, З.О. Знак, Я.А. Калимон, Р.Л. Буклів // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii.* – № 3. – 2019, - С. 83-97
23. Максимшко Л. М. Екобезпечні технології анаеробної переробки й утилізації відходів свиначства і птахівництва. Дис. на зд. наук. ст. канд. с.г. н-к. – Львів. – 2017. – 200 с.
24. Амерханов Р. А. Оптимизация сельскохозйственнх энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии / Р.А. Амерханов. – М.: Колос, 2003. – 532 с.
25. Денк С.О. Возобновляемые источники энергии. На берегу энергетического океана /С.О Денк. – Пермь: Изд-во Пермского гос. техн. ун-та, 2008. – 288 с.
26. Майстренко А.Ю. Общая характеристика метаногенеза и обоснование технологических схем получения биогаза /А. Ю. Майстренко, Ю. В. Курис, В. В. Ярмаш, И. В. Литвишков, С. Н. Ольшанский // *Энергетика та електрифікація.* – 2009. - №3. – С 52 – 59.
27. Ntaikou I. Biohydrogen Production from biomass and Wastes via Dark Fermentation / I. Ntaikou, G. Antonopoulou, G. Lyuberatos // *Springer Science + Business Media B. V.* – 4.02.2010.
28. Крушневич Т.К. Извлечение метана из биогаза полигонов и подача его в магистральный газопровод / Т.К. Крушневич, А.И. Пятничко // *Технические газы.* – 2006. – № 3. – С. 41-44.
29. МакКиннон-Резерфорд К.Д. Сжигание отходов сегодня и завтра/ К.Д. МакКиннон-Резерфорд // *ТБО.* – 2009. – № 5. – С. 55-58.
30. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок / И. В. Семененко. – Сумы: ПФ «МакДен», ИПП «Мрия-1» ЛТД, 1996. – 347 с.

31. Дреєр А.А., А.Н. Сачков, К.С. Нікольський, Ю.І. Маринин, А.В. Миронов, Тверді промислові і побутові відходи, їх властивості та переробка // «Екологія міст». – 1999. – С.31-33
32. ДСТУ 7721:2015 Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги та методи контролювання.
33. Kohl A.L. Gas purification. / A.L. R.V. Kohl, Nielsen. –Houston:5-th Edition, Gulf Publishing Company, 1997. –1395 p.
34. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості
35. ТУ У 24.1-33129683-002:2010 Сода каустична (Натрію гідроксид технічний)
36. ДСТУ ISO 979-2001 Натрію гідроксид технічний. Метод визначення лужності.
37. ДСТУ ГОСТ 2184:2018 Кислота сірчана технічна. Технічні умови.
38. Ковалевський В.М.Схема автоматизації технологічного процесу хімічного виробництва методичні вказівки / Уклад. В.М. Ковалевський // – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 87 с.
39. Підлісна О. А. Розроблення стартап-проекту. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / О. А. Підлісна, Ю. В. Тюленева. – Електронні текстові дані (1 файл: 836,93 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 46 с.
40. Гармаш С.М. Охорона праці та навколишнього середовища на станціях виробництва біогазу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://www.sworld.com.ua/simpoz10/15.pdf/> – Назва з екрана.
41. ГОСТ 53790—2010 Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам. М.: Стандартинформ, 2011. – 16 с.
42. ДСТУ ГОСТ 12.0.230:2008 Система стандартів безпеки праці. Системи управління охороною праці. Загальні вимоги (ГОСТ 12.0.230-2007, IDT).
43. ДСТУ ДСТУ 4516:2006 Енергоощадність. Поновлювані джерела енергії. Установки біогазові. Загальні технічні вимоги.

					ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ	115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

44. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.
45. Пожежна безпека виробництв: курс лекцій.. Укладач: О.М. Роянов. –Х.: НУЦЗУ, 2016. –420с
46. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація
47. ДСТУ 7748:2015 Безпека праці. Біологічна безпека. Загальні вимоги
48. ДСТУ 7238:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація

					<i>ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ</i>	116
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Специфікація обладнання та КВП

Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Маса, кг	Примітка
ПЗ-1	Повітрязабірник	Висота 4,5 м	1		Збірний
Ф-2	КдМ-1000	Волокнистий фільтр фільтр попереднього очищення. Ефективність 80%	1		Збірний
В-3	Тп-178-1,6	Компресор. Продуктивність від 2 до 1000 м <sup>3</sup> /год. Стиснення повітря 0,163 Мпа. Потужність електродвигуна 360кВт	1		Збірний
ПБ-4	Приймальний бункер	V=15 м <sup>3</sup>	1		Неірж. сталь 12X18H10T
Пж-5	Пластинчастий живильник	Довжина пристрою 4 м, швидкість руху стрічки 0,05м/с. Ширина стрічки 1500мм	1		Збірний
Мс-6	Магнітний сепаратор	Матеріал магнітів - Nd-Fe-B (неодим-залізо-бор) Максимальна частота наведеного змінного магнітного поля -360 Гц. Магнітна індукція на поверхні стрічки в точках max- 300 мТл. Режим очищення від феромагнітних домішок – автоматичний.	1		Збірний
Тр-7	Стрічковий транспортёр	Довжина пристрою становить 10 м, швидкість руху стрічки 0,08 м / с Ширина стрічки 1000 мм	1		Збірний
Зб-8	Збірник	V=15м <sup>3</sup>	2		Неірж. сталь 12X18H10T

ЕКБ.БЕ9103.МД.ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Діденко О.С.			ДОДАТОК А	Стадія	Арк.	Акрушів
Перевір.		Зубченко Л.С.					117	118
Керів.		Зубченко Л.С.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, КЕБ		
Затверд.								

## Продовження таблиці А1

Шн-9	Шнекова дробарка	Продуктивність – 350 кг/год.	2		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Зб-10	Збірник	Обладнаний перемішувачим пристроєм, V= 20 м <sup>3</sup>	2		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Н-11, Н-20	Насос	Насос. Пропускна здатність: 100.0 (м <sup>3</sup> /год), Потужність: 18.8 (кВт)	2		Збірний
М-12	Метантенк	Метантенк з механічним перемішувачим пристроєм. Об'єм 1000 м <sup>3</sup> , надлишковий тиск тиск у апараті не більше 0,5 кПа	2		Збірний
Г-13	Купольний газгольдер низького тиску	Газгольдер. Надлишковий тиск - 5 кПа; номінальний об'єм – 300 м <sup>3</sup>	3		ПВХ, 5 мм
А-14, А-15	Абсорбер	Абсорбер для очищення біогазу від СО <sub>2</sub> , Н <sub>2</sub> С, NH <sub>3</sub> .	2		Збірний, з хімічно стійким футеруванням
Н-16	Насос	Насос. Пропускна здатність: 100.0 (м <sup>3</sup> /год), Потужність: 18.8 (кВт)	1		Збірний
ФО-17	Фільтр-осушувач механічний	Глибина розміщення нижче поверхні землі > 1 м. Конденсація вологи відбувається завдяки охолодженню газу механічного осадження конденсату на жорстких перегородках фільтру. Пропускна здатність – 100 м <sup>3</sup> /год.	2		Збірний
Г-18	Газгольдер середнього тиску	Робочий тиск — 300 кПа; номінальний об'єм - 600 м <sup>3</sup>	2		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Зб-19	Збірник	V=50 м <sup>3</sup>	1		Збірний

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## Продовження таблиці А1

Ц-21	Центрифуга	Центрифуга осаджувальна, продуктивність 10 м <sup>3</sup> /год, потужність двигуна 28 кВт	1		Збірний
Ст-22, Ст-25	Стрічковий транспортер	Довжина пристрою становить 2 м, швидкість руху стрічки 0,08 м / с Ширина стрічки 1000 мм	2		Збірний
Зб-23, Зб-27	Збірник	V=5м <sup>3</sup>	2		Неірж. сталь 12X18Н10Т
Сш-24	Сушарка	Сушарка вальцева 18 "X 10" OVERTON GF10 DRYER/FLAKER	1		Неірж. сталь 12X18Н10Т
Гр-26	Гранулятор	Гранулятор ГKM-10. Матриця: 8 мм. Діагональ матриці 100 мм. Продуктивність 30 кг/год. Потужність 1.5 кВт. 220	1		Збірний
Зб-28	Збірник	V=80 м <sup>3</sup>	1		Неірж. сталь 12X18Н10Т
Н-29	Насос	Насос. Пропускна здатність: 100.0 (м <sup>3</sup> /год), Потужність: 18.8 (кВт)	1		Збірний
В-30	Випарка	Випарна установка з примусовою циркуляцією розчину. Швидкість циркуляції рідини по трубах 2-3м/с, температура у трубному просторі t=120-125°C.	2		Збірний
Н-31	Насос	Насос. Пропускна здатність: 100.0 (м <sup>3</sup> /год), Потужність: 18.8 (кВт)	1		Збірний
Т-32	Теплообмінник	Кожухотрубний теплообмінник рекуператор тепла гарячих відходів	2		Збірний
Зб-33	Збірник	V=15м <sup>3</sup>	1		Збірний

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата