Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Енергоефективність використання біогазу зі звалищ та полігонів ТПВ в якості поновлюваного джерела енергії**

Виконав: студент **6** курсу, групи **ЕМм-61**

напряму підготовки (спеціальності)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	(підпис)	**Козак І.Р.** (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	**Тарасенко М.Г.** (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	**Коваль В.П.** (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	**Габрусєва І.Ю.** (прізвище та ініціали)

Тернопіль – 2019

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет *прикладних інформаційних технологій та електроінженерії*

Кафедра *Електричної інженерії*

Освітньо-кваліфікаційний рівень *магістр*

Напрям підготовки _____
(шифр і назва)

Спеціальність *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *Тарасенко М.Г.*

«_____» _____ 2019 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Козакові Івану Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Енергоефективність використання біогазу для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії з місцевих видів палива*

Керівник роботи *Тарасенко Микола Григорович, д.т.н., професор*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від *23 серпня 2019 року № 4/7–731*

2. Термін подання студентом роботи *19 грудня 2019 р.*

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	*д.т.н., проф. Тарасенко М.Г.*		
Обгрунтування економічної ефективності	*д.е.н., проф. Малюта Л.Я.*		
Охорона праці	*к.т.н., доц. Гурик О.Я.*		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	*ст. викл. Клепчик В.М.*		
Екологія	*к.т.н., доц. Зварич Н.М.*		
Нормоконтроль	*к.т.н., доц. Коваль В.П.*		

7. Дата видачі завдання *01 вересня 2019 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд за напрямком дипломної роботи	01.09.19 – 01.10.19	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки	01.10.19 – 25.10.19	
	дипломної роботи		
3	Підготовка розділу *«Спеціальна частина»*	25.10.19 – 22.11.19	
4	Підготовка розділу «*Обгрунтування економічної ефективності*»	22.11.19 – 29.11.19	
5	Підготовка розділу *«Охорона праці та безпека в надзв. ситуаціях»*	30.11.19 – 05.12.19	
6	Підготовка розділу *«Екологія»*	05.12.19 – 10.12.19	
7	Складання переліку використаних літературних джерел	11.12.19 – 12.12.19	
8	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	12.12.19 – 14.12.19	
10	Отримання відгуку та рецензії на дипломну роботу,	15.12.19 – 17.12.19	
	підготовка доповіді на захист		

Студент _____ *Козак І.Р.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Тарасенко М.Г.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг дипломної роботи становить 101 сторінку. В роботі міститься 29 рисунків, 4 формули і 16 таблиць. Об’єктом дослідження є процеси газоутворення на полігонах ТПВ.

Актуальність теми дипломної роботи визначається необхідністю отримання достовірних даних про особливості газоутворення на полігонах ТПВ в умовах України, створення адаптованої національної моделі газоутворення та оцінка потенціалу використання БГ з полігонів ТПВ як поновлюваного джерела енергії.

Метою дипломної роботи є оцінка енергетичної ефективності застосування біогазових установок, які працюють на БГ, а також дослідження особливостей процесу утворення БГ на полігонах ТПВ України, визначення існуючих об'ємів і потенціалу енергетичного використання БГ і можливих шляхів його нарощування, в цілях скорочення негативної дії полігонів на довкілля і збільшенні використання БГ як поновлюваного джерела енергії.

Предметом дослідження є вплив характеристик відходів (гідро-, теплофізичних і морфологічних), кліматичних чинників (температури, рівня опадів), експлуатаційних факторів (шару ущільнення, наявності покриваючого шару, швидкості нарощування полігону) на кількість, динаміку утворення, склад БГ і потенціал енергетичного використання БГ на полігонах ТПВ.

Перелік ключових слів:

БІОГАЗ, ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ, ПОЛІГОН, УТИЛІЗАЦІЯ, ПЕРЕРОБКА, ЗАХОРОНЕННЯ, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

с.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 8

ВСТУП 9

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД 12

1.1. Норми накопичення ТПВ. Сучасні схеми збору та видалення ТПВ в Україні і світі 12

1.2. Характеристика місць захоронення відходів 15

1.2.1. Звалище та полігон ТПВ 15

1.2.2. Фізико-механічні властивості відходів 18

1.3. Полігони твердих побутових відходів 22

1.4. Методи скорочення емісії біогазу на полігонах ТПВ 24

1.5. Оцінка газоносної здатності полігонів ТПВ 26

1.6. Енергетичне використання БГ з полігонів ТПВ 30

1.6.1. Виробництво електричної енергії 32

1.6.2. Пряме спалювання БГ і виробництво теплової енергії 34

1.6.3. Збагачення БГ до якості природного газу 35

1.7. Висновки до розділу 1 36

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА 37

2.1. Характеристика систем збору біогазу 37

2.1.1. Опис системи збору біогазу 37

2.1.2. Основні дані для проектування 38

					ДРМ 311.18. 00. 000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Козак І.Р.			ЗМІСТ	Літ.	Лист / Листів
Перевір.		Тарасенко М.Г					
Консульт.		Тарасенко М.Г				ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61	
Н. контр.		Коваль В.П					
Зав. каф.		Тарасенко М.Г					

2.2. Опис існуючих технологій отримання біогазу 39
2.2.1. Технології отримання біогазу з діючих полігонів ТПВ 39
2.2.2. Технології отримання біогазу з закритих полігонів ТПВ 40
2.3. Проект використання біогазу з полігонів ТПВ в якості поновлюваного джерела енергії 41
2.3.1. Опис проекту 41
2.3.2. Система збору біогазу 42
2.3.3. Системи збору фільтрату 47
2.3.4. Очищення і осушення біогазу 48
2.3.5. Спалювання біогазу на факелі 50
2.3.6. Виробництво електричної енергії в когенерційних установках 51
2.3.7. Біогаз як моторне паливо 57
2.4. Висновки до розділу 2 59

РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 60

3.1. Опис типових програмних засобів використаних у магістерській роботі 60
3.1.1. Програма Word для Windows 60
3.1.2. Програма «AUTO CAD» 62
3.2. Алгоритм програми теплового розрахунку когенераційної установки яка працює на біогазі 63

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ 72

4.1. Економічне обґрунтування інженерних рішень 72
4.2. Техніко-економічне обґрунтування енергетичної утилізації біогазу 73
4.3. Висновки до розділу 4 78

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 80

5.1. Охорона праці та техніка безпеки при виробництві біогазу та експлуатації біогазових установок 80

5.1.1. Заходи безпеки при виробництві біогазу 80

5.1.2. Правила безпеки при експлуатації біогазових установок 82

5.2. Пожежна безпека 83

5.2.1. Можливі причини виникнення пожежі при експлуатації біогазових установок 83

5.2.2. Заходи для запобігання виникнення пожежі 84

5.3. Організація цивільної оборони на енергетичних об'єктах 84

5.4. Забезпечення проведення рятувальних та інших невідкладних робіт 87

РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЯ 90

6.1. Вплив застосування біогазу з полігонів ТПВ на навколишнє середовище . 90

6.2. Оцінка скорочень викидів парникових газів в результаті реалізації проекту 94

ВИСНОВКИ 96

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БГ	Біогаз
ГБО	Газобалонне обладнання
ГТ	Газова турбіна
ДВЗ	Двигун внутрішнього згорання
ЗТ	Зелений тариф
КГУ	Когенераційна установка
КП	Кіотський протокол
МТ	Мікротурбіна
ОВ	Органічна речовина
ОСВ	Одиниця скорочення викидів
ПГ	Природний газ
ПТ	Парова турбіна
ТЕО	Техніко-економічне обґрунтування
ТПВ	Тверді побутові відходи
ЦКШ	Циркулюючий киплячий шар

					ДРМ 311. 18. 00. 000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Козак І.Р.			**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**	Літ.	Лист / Листів
Перевір.		Тарасенко М.Г.					
Консульт.		Тарасенко М.Г.				ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61	
Н. контр.		Коваль В.П					
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.					

ВСТУП

Актуальність теми. Збір біогазу є загальноприйнятим технічним рішенням екологічних проблем, які виникають при експлуатації звалищ та полігонів твердих побутових відходів (ТПВ). Зібраний біогаз може бути перетворений в теплову та електричну енергію, що сприяє подоланню проблеми дефіциту викопних енергоресурсів.

З цих причин більшість розвинених країн світу, в яких наявні звалища та полігони ТПВ, успішно впроваджують технології збору та використання біогазу. Умови їх впровадження та вимоги до них закріплені переважно на законодавчому рівні, шляхом встановлення спеціальних тарифів, нормативів, штрафів за викиди шкідливих речовин, тощо. Станом на 2019 р. в світі налічувалось більше 1,7 тис. проектів збору та перетворення біогазу в електричну енергію загальною потужністю 3,5 ГВт.

В Україні з технічної та економічної точок зору звалища та полігони ТПВ ще довгий час залишатимуться основним способом знешкодження відходів. Декларуючи свої плани щодо приєднання до Європейської спільноти (Договір «Про заснування Європейської Спільноти» № 994_017 від 01.01.2005 р.), держава зобов'язалась виконувати вимоги Євросоюзу, зокрема Директиву 1999/31/ЄС, де зазначено, що біогаз повинен збиратись з усіх звалиш та полігонів ТПВ і використовуватись у випадку доцільності.

Захоронення на полігонах є найбільш поширеним способом утилізації ТПВ у більшості країн світу. В результаті розкладання органічної речовини (ОВ) на полігонах ТПВ утворюється біогаз (БГ), що містить до 60% метану і є поновлюваним джерелом енергії, використання якого широко поширене у світі. Неконтрольована емісія БГ призводить до негативних екологічних наслідків (вибуховість, токсичність і парниковий ефект), тому збір і використання БГ одночасно сприяє вирішенню, як енергетичних так і екологічних проблем.

Кількість полігонів і звалищ ТПВ в Україні досягає 4500 одиниць, на яких складується близько 97% ТПВ. Останніми роками згідно з Кіотським протоколом на деяких полігонах були побудовані системи збору БГ, який у більшості випадків спалюється. Одним з основних напрямів державної політики України є максимізація використання альтернативних джерел енергії, але енергетичний потенціал полігонів ТПВ як і раніше практично не використовується.

Для ухвалення рішення про можливість енергетичного використання або застосування інших методів скорочення викидів БГ, необхідно спрогнозувати кількість, якість і динаміку виходу БГ, які визначаються багатьма чинниками. Полігони ТПВ є мало вивченими складними реакторами з різноманітністю біологічних і фізико-хімічних процесів, які практично не відображаються в існуючих спрощених моделях газоутворення, які не застосовуються на практиці. Крім того, ці моделі розроблені для західних країн і цілком не враховують специфічні особливості окремих країн (особливості експлуатації полігонів, економічні і природно-кліматичні умови). Усі ці невизначеності призводять до значної різниці в прогнозованих і реально досягнутих значеннях об'єму газу, особливо на старих полігонах, де відсутні достовірні дані про історію експлуатації полігонів. Тому в світі тривають калібрування існуючих, і створюються нові «національні» моделі газоутворення, які вимагають дослідження характеристик і процесів газоутворення.

Актуальність теми дипломної роботи визначається необхідністю отримання достовірних даних про особливості газоутворення на полігонах ТПВ в умовах України, створення адаптованої національної моделі газоутворення та оцінка потенціалу використання БГ з полігонів ТПВ як поновлюваного джерела енергії.

Метою дипломної роботи є оцінка енергетичної ефективності застосування біогазових установок, які працюють на БГ, а також дослідження особливостей процесу утворення БГ на полігонах ТПВ України, визначення існую-

чих об'ємів і потенціалу енергетичного використання БГ і можливих шляхів його нарощування, в цілях скорочення негативної дії полігонів на довкілля і збільшенні використання БГ як поновлюваного джерела енергії.

Предметом дослідження є вплив характеристик відходів (гідро-, теплофізичних і морфологічних), кліматичних чинників (температури, рівня опадів), експлуатаційних факторів (шару ущільнення, наявності покриваючого шару, швидкості нарощування полігону) на кількість, динаміку утворення, склад БГ і потенціал енергетичного використання БГ на полігонах ТПВ.

Апробація роботи. Козак І.Р. Енергоефективність використання біогазу зі звалищ та полігонів ТПВ в якості поновлюваного джерела енергії. // М.Г. Тарасенко, І.Р. Козак // Збірник тез доповідей. Матеріали VIII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 27 - 28 листопада 2019р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2019. – Т.3. С. 40.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Нормативи накопичення ТПВ. Сучасні схеми збору та видалення ТПВ в Україні і світі

Сьогодні на одного жителя планети припадає близько 1 т сміття на рік.

Виходячи з цього, розраховується необхідна кількість машин, механізмів і персоналу для проведення санітарного очищення конкретного населеного пункту.

В таблиці 1.1 відображені нормативи накопичення побутових відходів в залежності від густини населення та благоустрою.

Таблиця 1.1

Нормативи накопичення побутових відходів

Об'єкт	Нормативи накопичення ТПВ				К-сть відходів, кг/м^3
	Середньодобова		Середньорічна		
	кг	л	кг	м^3	
Облагороджені будинки (водопровід, каналізація, газ, централізоване опалення)	0,64	3,07	235	1,12	210
Необлагороджені – з газовим опаленням – з опаленням твердим паливом	2,08	2,66	280	1,35	250
Будинки приватного сектору в сільській місцевості: – з газовим опаленням – з опаленням твердим паливом	1,77	4,06	660	1,71	520

Збір та видалення побутових відходів проводиться згідно Закону України «Про відходи».

В містах України діє система збору побутових відходів коли всі види відходів складують в один сміттєвий бак, а потім навантажують і вивозять до місць захоронення), як показано на рис.1.1. Згідно статистичних даних такий спосіб видалення відходів за межі міста є найбільш поширеним та економічним і прийнятий в 75 % міст України.

Рис.1.1. Модель поводження з побутовими відходами

Об’єми збирання побутових відходів в по областям України показані на рис 1.2.

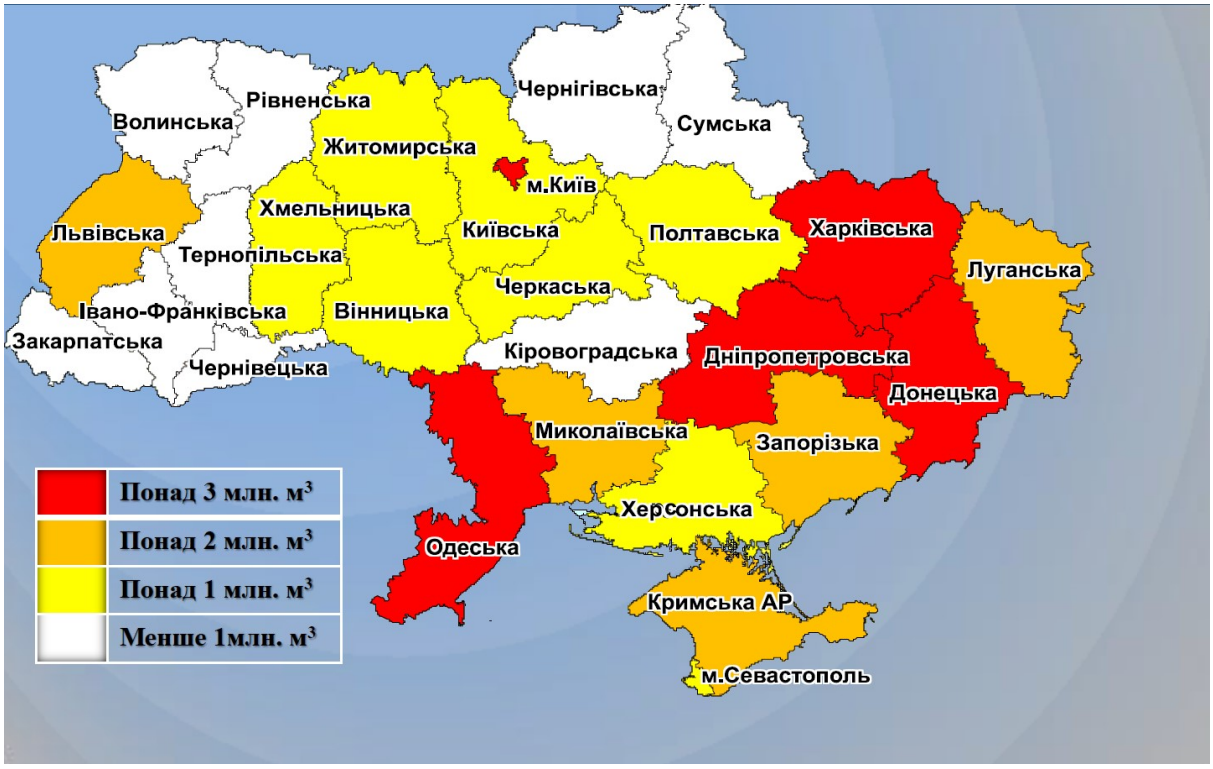

Рис.1.2. Розподіл регіонів України за рівнем збирання ТПВ

Кожного року в Україні вивозиться на полігони і звалища від 12 до 15 млн. тон твердих побутових відходів, від 3 до 5% утилізуються на двох сміттєспалювальних заводах, розподіл регіонів України за рівнем охоплення населення із збирання твердих побутових відходів показано на рис.1.3.

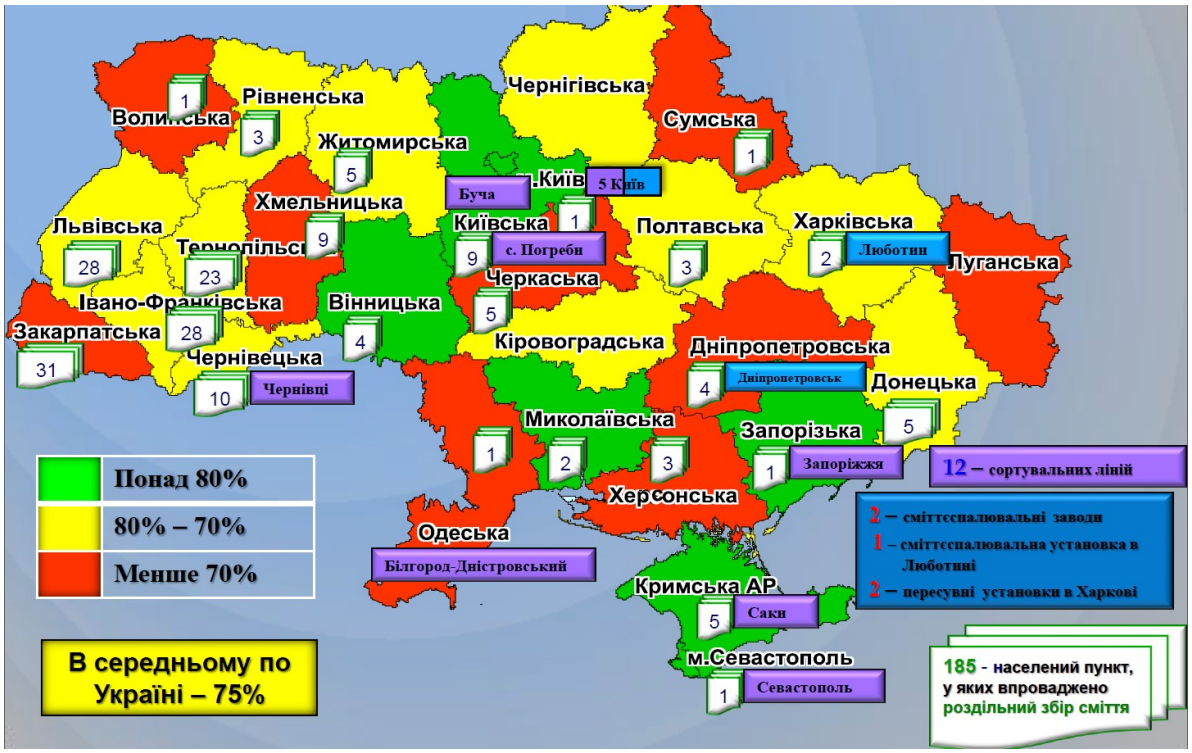

Рис.1.3. Розподіл регіонів України за рівнем охоплення населення послугами із збирання ТПВ

Господарська діяльність підприємств по збору та вивозу побутових відходів здійснюється в основному за рахунок договорів, які суб'єкти господарювання укладають зі спеціалізованими структурами.

Існуюча система збору та вивозу відходів не відповідає сучасним потребам і відмічається низьким рівень механізації, а також значним рівнем фізичного та морального зношення основних фондів, недостатності спеціалізованих транспортних засобів, машин і механізмів для санітарного очищення та прибирання територій і т.п. Погіршує ситуацію відсутність коштів, необхідних на розвиток цієї сфери, схему державної підтримки сфери поводження з побутовими відходами наведено на рис.1.4.

Рис.1.4. Схема державної підтримки сфери поводження з побутовими відходами

1.2. Характеристика місць захоронення відходів

1.2.1. Звалище та полігон ТПВ

Практика захоронення ТПВ застосовується тривалий час. За цей час сформувались типові місця захоронення відходів, конструкція та будова яких були зумовлені наявними технічними можливостям та нормативно-правовим забезпеченням. Для їх класифікації використовуються поняття звалище та полігон ТПВ [6].

До звалища (рис. 1.5) прийнято відносити неконтрольовані міста захоронення відходів, що були започатковані без спеціального проекту в долинах та ярах, утворених природним рельєфом, або на місці відпрацьованих

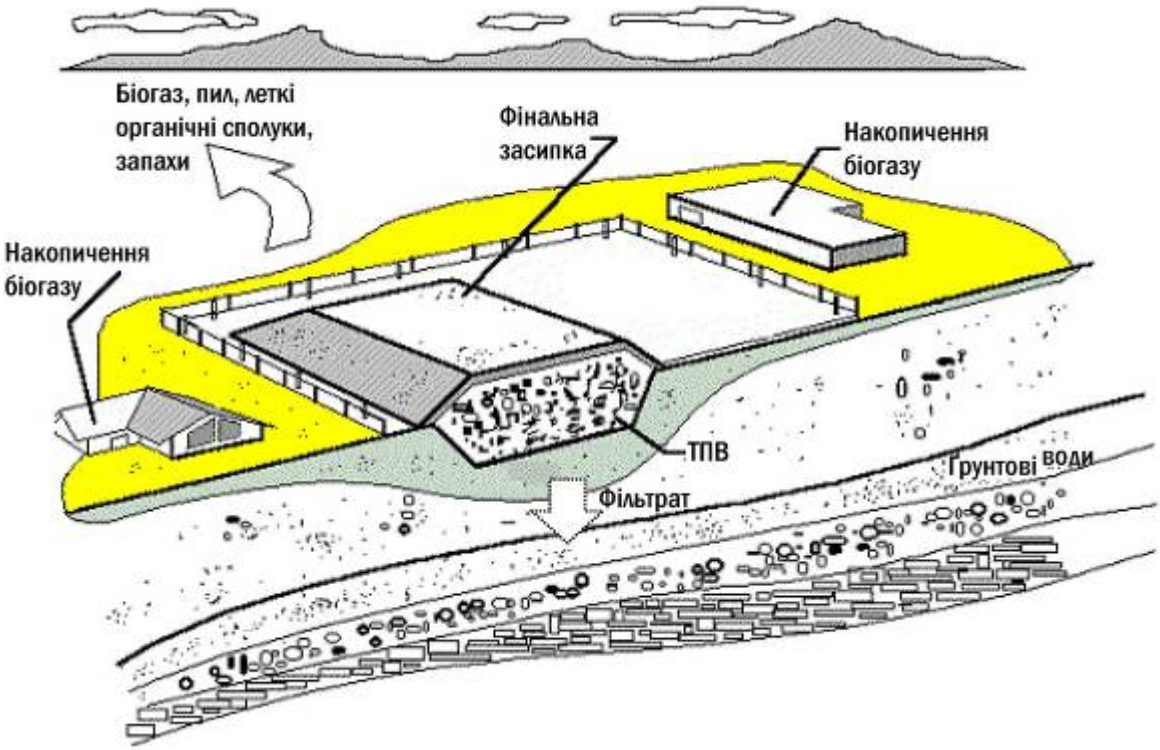

Рис. 1.5. Конструкція звалища ТПВ

кар'єрів, де тривалий час не видобуваються корисні матеріали. Як правило, вони виникли внаслідок самовільного вивозу відходів місцевим населенням на ці території.

Як видно з рисунку, у 2018 році в світі було вироблено приблизно 62 млн. тонн паливного біоетанолу, а у 2030 році планується збільшення цього виробництва у 2 рази, тобто до 120 млн. тонн. Що стосується біодизпалива, то його, як показано на рисунку 1.2, у 2018 році було вироблено біля 23 млн. тонн. До 2030 року планується збільшити виробництво біодизпалива до 50 млн. тонн на рік, тобто у 2 рази.

За критеріями [5] на звалищі відсутні нижні протифільтраційні шари, системи вентиляції біогазу та захисту від пожежі. Відходи на звалищах складуються на великих площах з використанням бульдозерів та без ущільнення важкою технікою. Проміжні ізоляційні шари ґрунту на звалищах майже не застосовуються, а по завершенню експлуатації їх поверхня не ізолюється, або ізолюється недостатньо.

До полігонів (рис. 1.6) прийнято відносити контрольовані місця

захоронення відходів, які побудовані за проектом на спеціальних територіях, що віддалені на певну відстань від населених пунктів та оточені санітарною зоною і захисними спорудами (огородження, сітко-вловлювачі, тощо).

За критеріями [5] конструкція полігону включає нижні протифільтраційні шари, системи дренажу фільтрати та збору біогазу. До складу полігону обов'язково входить технологічний майданчик, в межах якого розмішується техніка, ваги, дезінфекційна яма, тощо.

Експлуатація полігону передбачає пошарове складування відходів в межах спеціальних карт, розміри яких не перевищують 100×100 м. Кожний шар відходів складується рівномірно та ущільнюється за допомогою важкої техніки. Після досягнення глибини 2…3 м він пересипається ізолюючим шаром ґрунту товщиною 0,2…0,3 м, над яким складується новий шар відходів. Так продовжується до тих пір, поки не досягається проектна висота полігону [

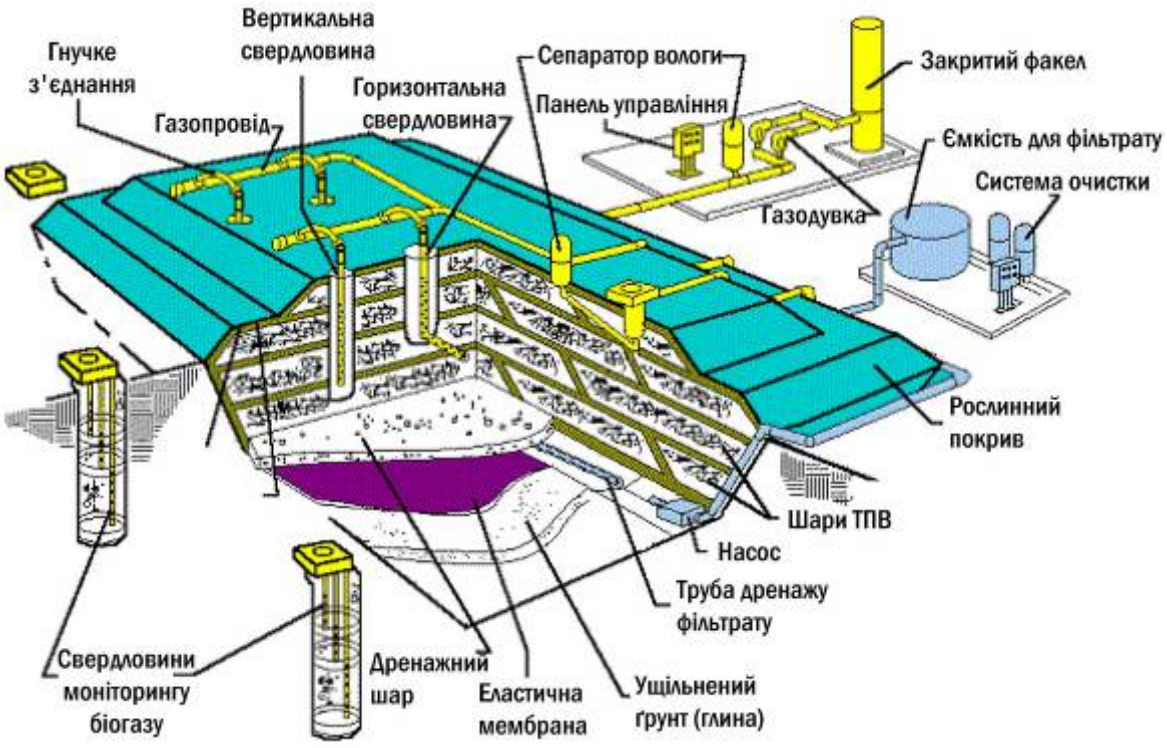

Рис. 1.6. Конструкції полігону ТПВ

Під час експлуатації полігону відбувається видалення фільтрату з його тіла, який нейтралізується на місці чи вивозиться на станції очистки стічних

вод. В окремих випадках в тілі полігону можуть розміщуватись свердловини активної системи збору біогазу. Ефективність роботи даних систем постійно перевіряється за допомогою моніторингових свердловин та періодичних вимірювань концентрації забруднюючих речовин в повітрі.

По завершенню експлуатації поверхня полігону підлягає рекультивації з використанням спеціальних ізоляційних матеріалів та шарів природного ґрунту для створення рослинного покриву. Після цього починається період пост експлуатації полігону, який передбачає збір та утилізацію утвореного фільтрату і біогазу.

1.2.2. Фізико-механічні властивості відходів

Відходи, що складуються на звалищах та полігонах ТПВ, містять в собі окремі компоненти (папір, деревина, скло, пластик та ін.), які характеризуються різноманіттям розмірів та форм. Це різноманіття призводить до формування складного пористого середовища звалища та полігону ТПВ. Пори цього середовища заповнені рідиною та газом, які утворюються в процесі розкладу органічної речовини (ОР) відходів. Тому структура пористого середовища часто представляється як трьохфазна система, що складається з твердої, рідкої та газової фази.

Детальніша характеристика пористого середовища наведена в роботах [5,6], в яких воно представляється як чотирьохфазна система (рис. 1.7), що включає тверду неорганічну (скло, пластик, каміння та ін.), тверду органічну (харчові та садово-паркові відходи, папір та ін.), рідку та газову фазу. При цьому тверда органічна фаза може переходити в рідку та газову внаслідок процесів розкладу ОР.

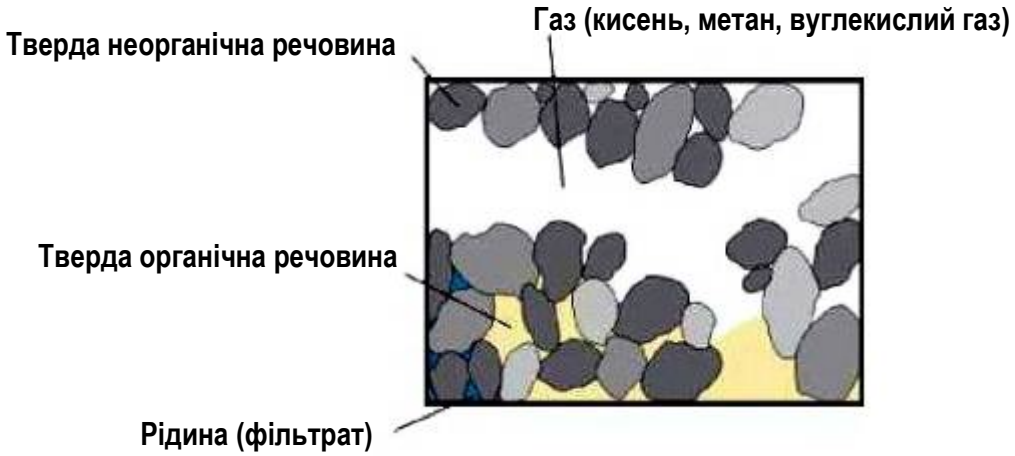

Рис. 1.7. Будова чотирьохфазного пористого середовища відходів

При взаємодії всіх фаз в реальних умовах утворюється складніша будова пористого середовища (рис. 1.8), що включає макро- та мікропористе середовище. Макропористе середовище складається з системи зв'язаних каналів, в яких міститься газ та рідина. Мікропористе середовище представляє собою пустоти дуже малих розмірів, які заповнені органічними матеріалами, адсорбованою рідиною та рідше газом. З гідравлічної точки зору, вони не зв'язані між собою, оскільки часто ізольовані непроникними матеріалами (скло, каміння, пластик, та ін.). Тому вони не приймають участь в транспорті рідини чи газу в тілі звалища та полігону ТПВ.

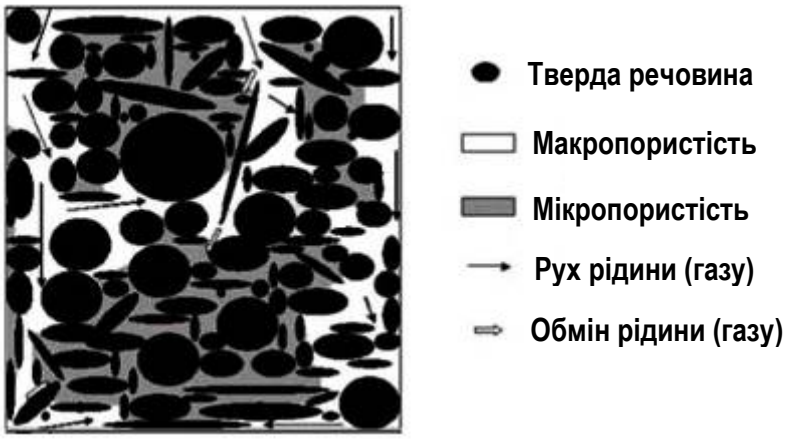

Рис. 1.8. Будова дійсного пористого середовища відходів

Фізичні властивості пористого середовища звалища та полігону ТПВ почали вивчати ще на початку 90-х років. Розрахункові залежності для їх опису наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Основні фізичні властивості пористого середовища

Параметр	Од. вим.	Розрахункова формула
Загальна густина відходів	кг/м^3	$\rho = \frac{m_{MSW}}{v_{MSW}}$
Густина сухих відходів	кг/м^3	$\rho_d = \frac{m_{MSW,d}}{v_{MSW}} = \frac{\rho}{1+w'}$
Густина сухої твердої речовини відходів	кг/м^3	$\rho_s = \frac{m_{MSW,s}}{v_{MSW,s}} = \frac{\rho}{1+n}$
Масова вологість відходів	%	$w = \frac{m_l}{m_{MSW}}$
Абсолютна масова вологість відходів	%	$w' = \frac{m_l}{m_{MSW,d}}$
Об’ємний вміст рідини у відходах	%	$\theta_l = \frac{v_l}{v_{MSW}}$
Об’ємний вміст газу у відходах	%	$\theta_g = \frac{v_g}{v_{MSW}}$
Загальна пористість відходів	м^3/м^3	$n = \frac{v_v}{v_{MSW}} = \frac{v_g + v_l}{v_{MSW}}$
Ефективна пористість відходів	м^3/м^3	$n_e = n - \frac{v'_g + v'_l}{v_{MSW}}$
Ефективна газова пористість відходів	м^3/м^3	$n_g = \frac{v'_g}{v_{MSW}} = n_e(1 - s_l)$

З таблиці можна побачити, що пористе середовище звалища та полігону ТПВ характеризується великим набором фізичних властивостей, які визначають особливості протікання процесів у відходах. Густина сухих відходів використовується в основному для порівняння різних зразків відходів між собою, а густина сухої ОР відходів – при дослідженні процесів розкладу [7].

З іншого боку, використання загальної пористості відходів обмежене на практиці, оскільки важко встановити частину об’єму, яка припадає під

мікропористе середовище. Тому при дослідженні процесів гідродинаміки у відходах використовують ефективну пористість [8], або ефективну газову пористість відходів [9].

Особливістю відходів порівняно з традиційним уявленнями про ґрунти є здатність їх фізичних властивостей постійно змінюватись під дією певних факторів, найвагомішим серед яких є просідання відходів та розклад їх ОР.

Змістовний опис механізмів просідання відходів наведений в роботі Соверса, в якій автор розділив їх на дві групи: механізми, що спричиняють незначне просідання та механізми, що спричиняють значне просідання відходів. Перші викликані локальними умовами в тілі звалища та полігону ТПВ (корозія металів, пожежі та ін.) та можуть не враховуватись, оскільки їх абсолютна величина незначна, або не характерна для всього звалища та полігону ТПВ. Тому основна увага автора та його послідовників приділена механізмах другої групи, які розділяються на:

Початкове просідання, яке відбувається під час складування відходів та спричинене їх механічним ущільнення за допомогою бульдозерів та важкої техніки. Воно не залежить від часу, а лише від використаної техніки та ефективності її роботи. Зазвичай початкове просідання розглядається як вагома частина первинного просідання.

Первинне просідання відбувається внаслідок гравітації та є функцією від тиску верхніх шарів відходів на нижні, що спричиняє деформацію (викривлення, згин), переорієнтацію та руйнування матеріалів, а також дисипацію рідини (фільтрату) та біогазу з пористого середовища. Воно починається відразу після завершення складування відходів та триває не більше 3 місяців.

Вторинне просідання, яке наступає відразу після первинного, є функцією від часу та спричинене повзучістю і розкладом ОР відходів. Повзучість призводить до переорієнтації твердих частинок внаслідок тиску, ерозії та проникнення дрібних часток в пустоти між крупними, а також в

пустоти, утворені в результаті розкладу ОР. Розклад призводить до втрати маси внаслідок розщеплення ОР на біогаз та воду.

Загальне просідання відходів представляє собою суму всіх трьох вищенаведених механізмів, що його спричиняють. Але дослідження цих механізмів проводять окремо, оскільки початкове та первинне просідання відходів залежить від тиску, а вторинне – від часу.

1.3. Полігони твердих побутових відходів

Полігони – це споруди, які призначені для накопичення ТПВ Термін захоронення відходів на полігоні повинен бути не менше 15–20 років..

Розташовувати полігони потрібно з виконанням вимог санітарних норм. До полігону повинна бути прокладена дорога з кам'яним або асфальтовим покриттям. По периметру полігону, завжди облаштовувалась лісосмуга шириною більше 20 м. Ґрунтові води під полігоном повинні залягати на глибині більше 3 м. Під полігони не використовуються акваторії річок, озер і боліт. Схему полігону ТПВ наведено на рис. 1.9-1.10.

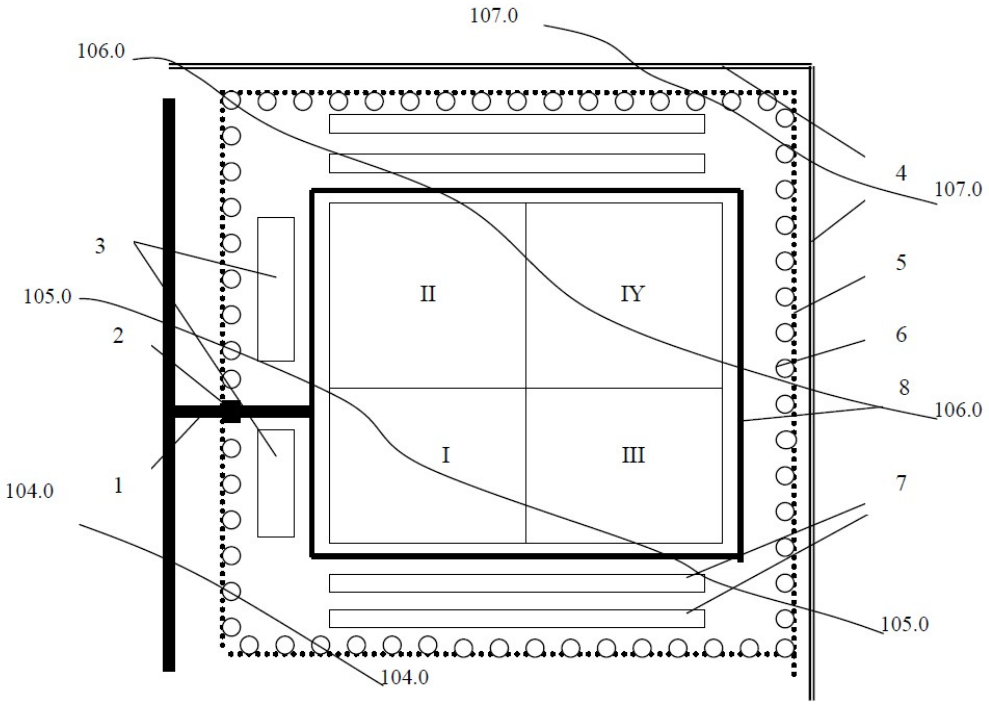

Рис. 1.9. Схема полігону ТПВ

Забрудненню ґрунтів і ґрунтових вод перешкоджає встановлення спеціального протифільтраційного екрану, який вкладають по всьому днищу і бокам полігону.

(I – IY) – черги експлуатації полігону. 1 – кам'яна дорога; 2 – пункт радіометричного контролю; 3 – господарська зона; 4 – канал; 5 – огорожа полігону; 6 – лісосмуга; 7 – укріплення мінерального та родючого ґрунтів; 8 – внутрішня дорога.

В Україні, захоронення ТПВ на полігонах ще тривалий час залишатиметься основною практикою поводження з відходами. Тоді як в розвинених країнах Європи спостерігається поступове скорочення кількості ТПВ, що вивозяться на полігони, і відповідно скорочення об'ємів БГ на полігонах, в Україні ці технології мають перспективи розвитку на декілька десятиліть вперед.

Рис. 1.10. Загальний вигляд полігону ТПВ

За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва і житлово-комунального господарства України, за останні 10 років питома норма утворення відходів в містах варіювалася в діапазоні 320-415 кг/рік. Щорічно в Україні вивозиться на полігони і звалища від 10 до 12,5 млн. тон ТПВ, від 2,5 з них утилізуються сміттєспалювальних заводах, інші накопичуються звалищах і полігонах див. рис.1.11.

Рис. 1.11. Схема вивозу ТПВ в Україні

Сьогодні велика кількість полігонів/звалищ в Україні експлуатується з порушенням технологічних режимів, експлуатація супроводжується не контрольованими емісіями в атмосферу (біогаз) і ґрунтові води (фільтрат).

1.4. Методи скорочення емісії біогазу з полігонів ТПВ

На полігонах твердих побутових відходів, шари, як правило мають товщину близько 0,5 м., в цих шарах формуються анаеробні умови, у яких відбувається біоконверсія органічних речовин за участю метаногенного та інших мікроорганізмів. В табл.1.3 наведено рекомендовану площу ділянки

накопичення ТПВ.

Таблиця 1.3

Рекомендована площа ділянки накопичення ТПВ, га

Населення, тис. чол.	Висота шарів ТПВ, м					
	15	**25**	**35**	**40**	**45**	**50**
25	7,5	5,5-6,5	-	-	-	
50	13,5	9,5	7,5-8,5	-	-	-
100	29,0	19,0	15,0	9,5-11,5	-	-
200	71,0	51,0	41,0	33,0	26,5-30	-
500	99,0	71,0	56,0	44,0	36,0	-
1000	131,0	91,0	71,0	55,0	45,0	37,0-42,0

Використання біогазу з полігонів ТПВ, як палива розрізниться в різних країнах, як показано в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Використання біогазу, як палива в різних країнах

Країна	К-ть установок	Встановлена потужність, МВт	Вихід біогазу, $м^3/т \cdot рік$
Європа	844	1575	4,2
Азія	20	82	5,7
США	554	4588	5,7
Канада	25	111	6,7
Південна Америка	10	20	4,6
Африка	5	5	2,5
Австралія	22	88	4,2

Сьогодні для дегазації полігонів використовуються наступні основні механізми: пасивна дегазація (газ природним чином відводиться з тіла полігону через вертикальні свердловини під тиском газової фази) і активна

дегазація (примусовий відбір БГ з тіла полігону). При високому рівні газоутворення природна дегазація полігону вважається неприпустимою з міркувань екологічної і експлуатаційної безпеки полігону.

Останнім часом отримала поширення практика експлуатації полігонів, при якій виконуються не лише функції поховання ТПВ і захисту довкілля, але і функції прискорення біологічної стабілізації полігонів з використанням різних технологій, спрямованих на прискорення/збільшення виходу БГ (полігони-біореактори) або, навпаки, зменшення його виходу (напіваеробні полігони, полігони з примусовою аерацією).

На великих полігонах ТПВ найчастіше застосовуються системи активної дегазації, що включають: мережу з'єднаних між собою вертикальних або горизонтальних газозбірних свердловин з перфорованими поліетиленовими трубами і магістральні горизонтальних трубопроводів для відведення газу; систему збору і відведення конденсату; систему автоматизованого контролю і керування; пристрій для спалювання газу (факел).

За типом системи збору бувають горизонтальні, вертикальні, а також комбіновані.

Найчастіше застосовуються системи збору з вертикальними свердловинами, які зазвичай встановлюються після заповнення секції полігону відходами, проте можуть закладатися з початку експлуатації і нарощуватися по висоті в процесі заповнення полігону. Зазвичай діаметр свердловини складає 0,3-0,8 м, збільшення діаметру (до 1 м) дозволяє збільшити продуктивність свердловини, проте значно здорожує вартість її будівництва.

1.5. Оцінка газоносної здатності полігонів ТПВ

Під час захоронення твердих побутових відходів у тілі полігону, при недостатній кількості кисню, підвищеній температурі і вологості, відбувається природне розкладання органічних відходів. Основним продуктом цього

процесу є біогаз (БГ) – суміш метану та вуглекислого газу, в середній концентрації 50 - 75 та 25 - 50% відповідно, з невеликою кількістю домішок (азот, кремній, сірка, сірководень), див.рис.1.12.

В якості мікродомішок до складу БГ можуть входити десятки різних органічних сполук. Вміст у складі біогазу тих чи інших компонентів залежить від складу накопичених на полігоні відходів, склад біогазу за даними US EPA наведено в табл.1.5.

В середньому газогенерація в тілі полігону ТПВ продовжується протягом 10-50 років, при цьому питомий вихід газу складає 140-280 $м^3$/т ТПВ. Процес газоутворення можна описати наступним стехіометричним рівнянням реакції:

$$C_6H_{10}O_5 + H_2O \rightarrow 3CH_4 + 3CO_2$$

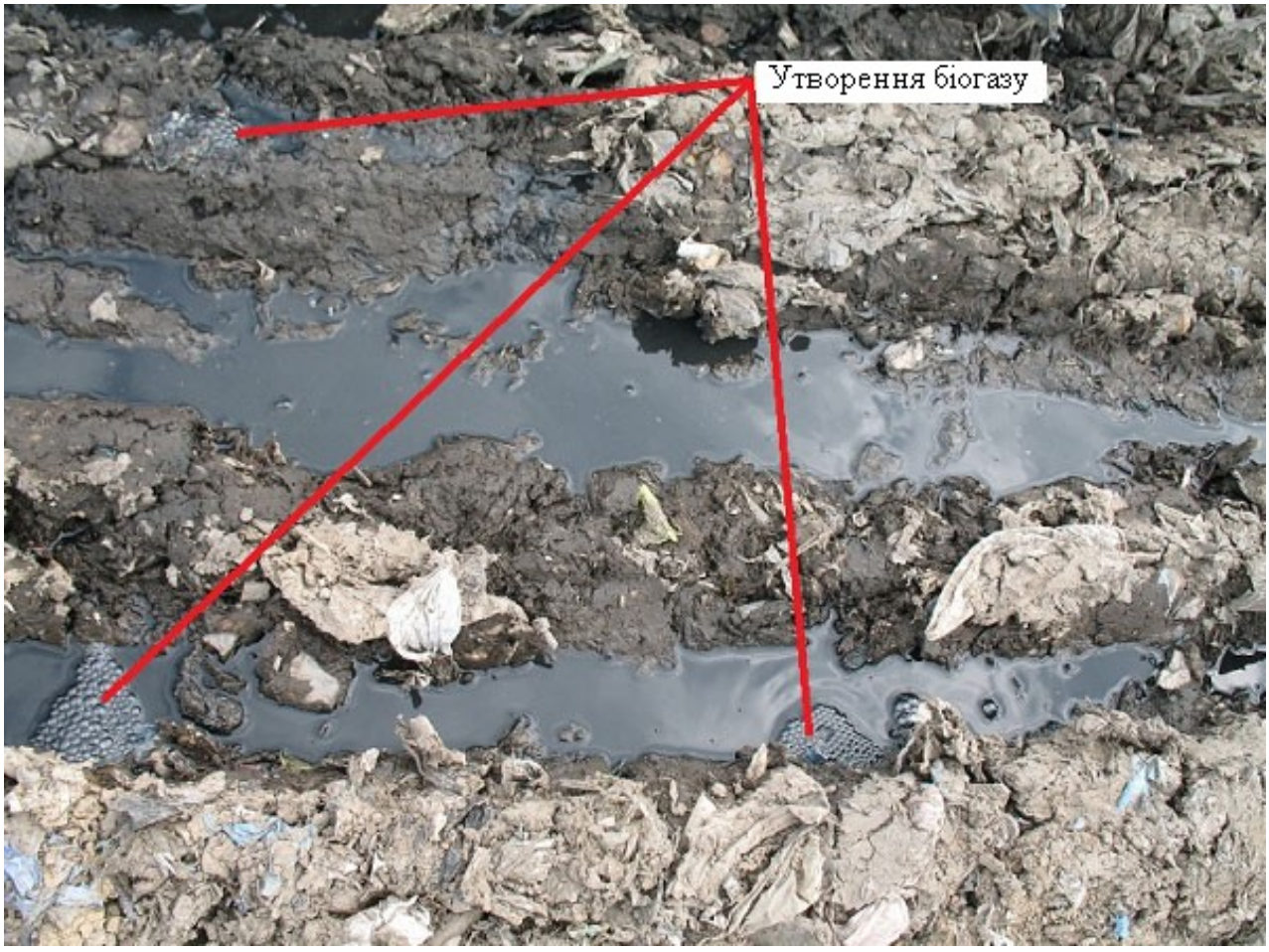

Рис.1.12. Процес утворення біогазу

Таблиця 1.5.

Середній склад біогазу (за даними US EPA, www.epa.gov)

№ з/п	Компонент	Вміст, %
1	Метан	50-75
2	Вуглекислий газ	25-50
3	Водень	0-1,0
4	Сірководень	0-3,0
5	Азот	0-10,0

Перш за все, БГ горючий, його середня калорійність складає приблизно 5500 Ккал на $м^3$.

Швидкість процесу та газопродуктивність визначається умовами середовища, що сформувалось усередині полігону (вологість, температура, pH, відсоткове співвідношення органічних фракцій).

При анаеробному розпаді 1 кг ТПВ для утворення вихідних сполук необхідно лише 54 г води. Навіть при досить низькій вологості 40 % в 1кг ТПВ міститься 400 г води.

В деяких умовах біогаз токсичний. Показник токсичності біогазу залежить від наявністю домішок, таких, наприклад, як сірководень. Зазвичай БГ має різкий неприємний запах. Біогаз неминуче потрапляє в атмосферу, що викликає ряд негативних наслідків.

Відомо багато випадків отруєння при технічному обслуговуванні глибоких інженерних комунікацій. Перевищення концентрації біогазу в тілі полігону викликає самозагоряння в процесі можливе утворення діоксину.

Склад органічної частини ТПВ, а також вміст основних хімічних елементів наведено в табл. 1.6, рис.1.13.

Процес анаеробного розпаду органічної речовини в тілі полігону може продовжуватись декілька десятиліть, але інтенсивність цього процесу досягає максимуму через 1 рік після закриття ТПВ ґрунтовим покривом чи плівкою.

Таблиця 1.6

Склад органічної частини ТПВ

Морфологічний склад органічної частини ТПВ	Процентний вміст по масі в ТПВ	Процентний вміст в органічній частині ТПВ	Процентний вміст по масі основних хімічних елементів					
			C	H	O	N	S	Зола
Папір	21,0	55	55,30	7,10	52,10	0,40	0,23	7,00
Харчові відходи	12,0	26	51,50	6,70	37,50	3,90	0,37	31,80
Дерево	2,1	5	58,20	7,00	52,30	0,50	0,22	3,70
Текстиль	2,6	6	56,30	8,30	62,30	3,30	0,30	4,80
Шкіра, гума	4,6	11	49,70	9,40	18,00	2,00	0,40	12,80
Пластмаса	3,4	8	77,80	9,67	12,40	2,2	0,10	14,05
Кістки	1,6	4	69,40	8,50	34,40	2,05	0,20	5,88
Суміш компонентів	47,2	200	57,2	7,25	35,5	2,28	0,25	14,63

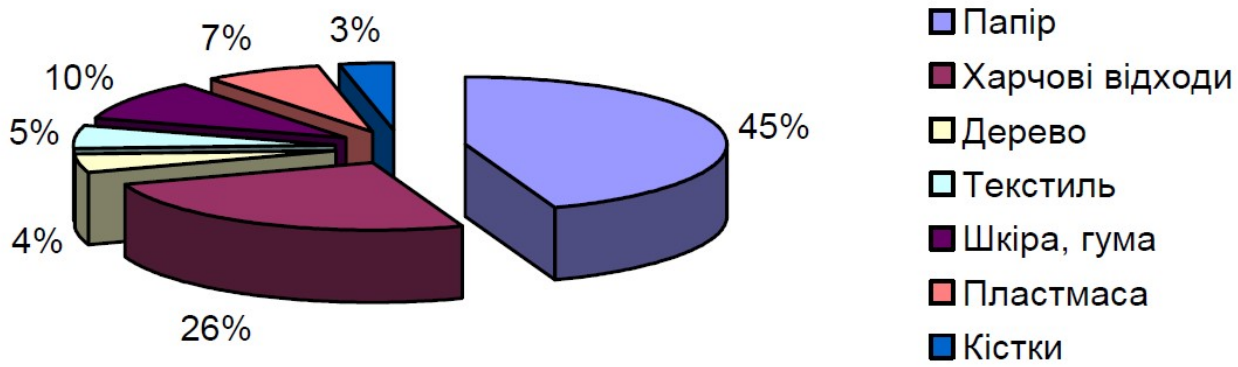

Рис.1.13. Процентний вміст в органічній частині полігону ТПВ

Розрахунок біогазу, що утворюється при розпаді однієї тони твердих побутових відходів виконується за формулою:

$$V_{р.б} = P_{ТПВ} \cdot K_{л.о} \cdot (1 - Z) \cdot K_{р} \quad (1.1)$$

де $V_{р.б}$ - кількість біогазу, м^3;

$P_{ТПВ}$ - маса відходів, які накопичуються на полігоні, кг;

$K_{л.о}$ - вміст речовин, які легко розкладаються *($K_{по}$* - 0,5...0,7);

Z - зольність (Z = 0,2...0,3);

$K_{р}$ - максимально можливий ступінь розкладання *($K_{р}$* = 0,4...0,5).

Об'єм біогазу, що можна зібрати з 1 т твердих побутових відходів за весь період експлуатації системи збирання біогазу, визначається за формулою:

$$V'_{р.б} = V_{р.б} \cdot K_{с} \cdot K \quad (1.2)$$

де $V'_{р.б}$ - кількість біогазу, м^3;

$K_{с}$ - коефіцієнт ефективності системи збору біогазу *($K_{с}$* = 0,5);

K - коефіцієнт поправки на непередбачені обставини (K = 0,65...0,70).

Оцінка газоносної здатності полігонів ТПВ є необхідною для оцінки їх потенційного екологічного ризику, а також для коректної оцінки потенціалу використання БГ для виробництва енергії і пов'язаних з цим завдань проектування, техніко-економічної оцінки, а також для зниження технічних і фінансових ризиків, пов'язаних з подібними проектами.

1.6. Енергетичне використання БГ з полігонів ТПВ

Введення законодавчих фінансових стимулів розвитку поновлюваних джерел енергії стало вирішальним чинником для збільшення долі енергетичного використання БГ і привело до швидкого зростання кількості таких проектів в країнах Європи і США в 1990-і роки.

Зробити точну статистичну оцінку кількості проектів по збору і енергетичній утилізації БГ зі звалищ у світі не представляється можливим. У

таблиці 1.6 приведені дані про рівень перероблення побутових відходів в Україні і країнах Євросоюзу за даними 2017 року

Таблиця 1.7.

Переробка ТПВ в Україні та країнах Євросоюзу станом на 31 грудня 2018 року

Країна ЄС	Переробка, %	Спалювання, %	Компостування, %	Захоронення, %
Україна	4,5	6,3	0	95
Бельгія	43	57	45	10
Болгарія	2	3	4	100
Данія	43	56	22	9
Нідерланди	43	46	34	3
Німеччина	57	44	22	10
Румунія	3	5	0	99
Словенія	45	4	7	77
Франція	27	48	25	42
Ірландія	33	41	8	31
Швейцарія	45	55	20	0
Швеція	50	57	22	15

Можливість енергетичного використання БГ залежить від вмісту горючого компонента – метану. Зазвичай БГ з ТПВ має теплотворну здатність в діапазоні 16…20 Мдж/м^3, що відповідає вмісту метану 45…55%. При вмісті метану вище 45% БГ може утилізуватися в двигунах внутрішнього згорання, від 35% і вище БГ також може використовуватися в печах і котлах, від 20% - спалюватися на факелі, від 10% – в циркулюючому киплячому шарі (ЦКШ), від 4% – в ЦКШ з використанням допоміжного палива (рис.1.14).

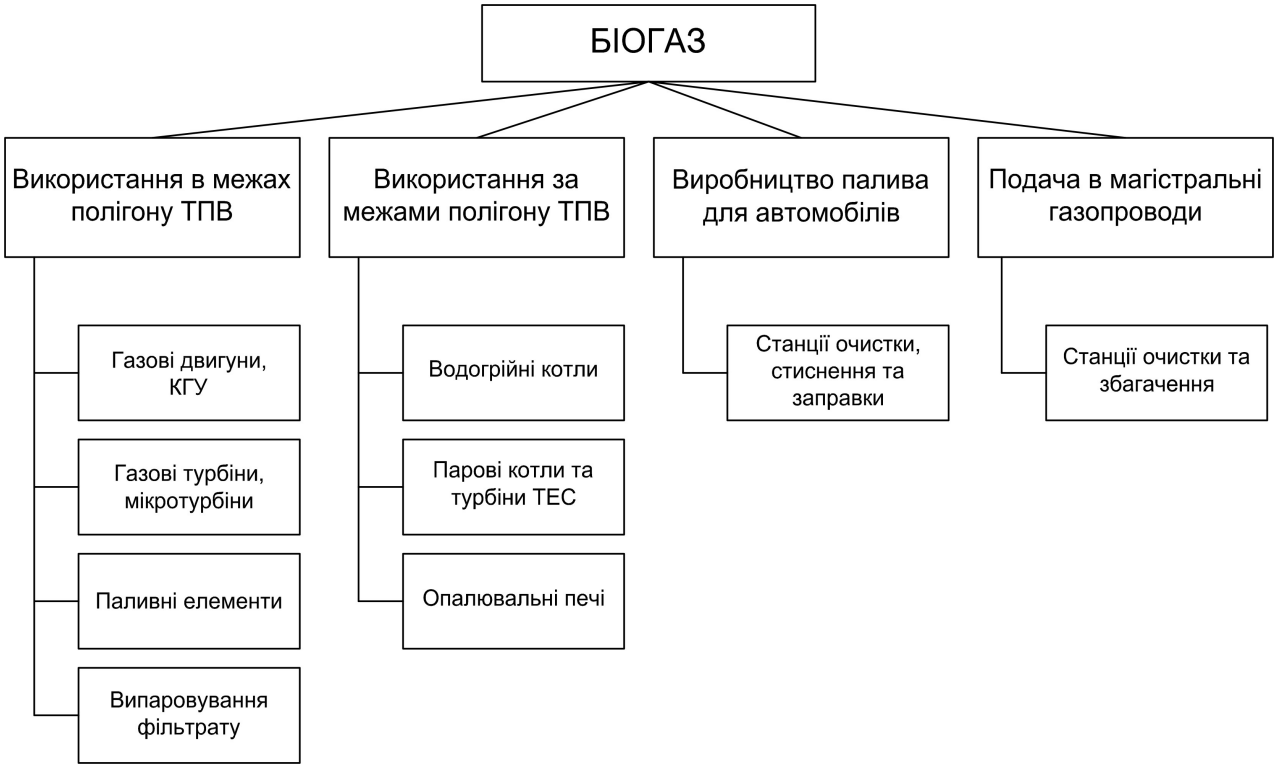

Рис.1.14. Можливості використання біогазу з полігонів ТПВ

Станом на квітень 2018 р. у рамках механізмів Кіотського протоколу (КП) в Україні знаходились в розробці 23 проекти по збору і утилізації БГ з полігонів ТПВ, за період 2015-2018 рр. були побудовані перші повномасштабні системи збору БГ на десяти полігонах, а також з'явилися законодавчі акти, що передбачають ряд фінансових стимулів для розвитку БГ технологій - зелений тариф (ЗТ) на електроенергію і ряд податкових пільг, що дозволить поліпшити фінансові показники проектів по виробництву енергії з БГ на полігонах ТПВ. Проте у більшості випадків БГ в основному спалюється на факелі і його енергетичний потенціал не використовується.

1.6.1. Виробництво електричної енергії

Виробництво електроенергії є найпоширенішим способом утилізації БГ, табл.1.8. Найчастіше для цієї мети використовуються газопоршневі двигуни внутрішнього згорання, потужністю від 100 кВт до 2 МВт.

Таблиця 1.8.

Кількість систем збору і утилізації БГ у світі для різних варіантів використання БГ

Тип/Кількість	В світі	В США
Газові двигуни	581	308
Газові турбіни	39	36
Парові турбіни	11	10
Комбінований цикл	7	9
Мікротурбіни	3	15
Двигуни Стірлінга	1	2
Спільне виробництво тепла і електроенергії	187	33
Всього виробництво електроенергії:	829 (72%)	411 (74%)

Рідше, для потужностей більше 4 МВт використовують газові турбіни (ГТ), парові турбіни (ПТ) і комбінований парогазовий цикл. Використання ГТ має ряд переваг в порівнянні з двигунами внутрішнього згорання (низькі викиди оксидів азоту і експлуатаційні витрати, висока корозійна стійкість), а також і недоліки (порівняно низький ККД, високі вимоги до стабільності складу і витрат палива).

БГ з низьким вмістом метану (від 35%) в діапазоні потужностей до 100 кВт може використовуватися в мікротурбінах (МТ), перевагою яких є: низькі експлуатаційні витрати, малі габарити, низькі викиди оксидів азоту. Потенціал використання таких пристроїв відноситься до невеликих і/або старих полігонів з низьким рівнем генерації БГ. Проте вартість МТ залишається високою (приблизно у 3 рази вище, ніж двигунів внутрішнього згорання), що робить їх застосування нерентабельним.

Використання біогазу в парових котлах зустрічається в одиничних випадках, що пояснюється високою одиничною потужністю таких установок (20-30 МВт). Інші установки для виробництва електроенергії (паливні елементи і двигуни Стірлінга) знаходяться на демонстраційній стадії.

Спільне виробництво електричної і теплової енергії (когенерація) є найбільш ефективним способом енергетичного використання БГ, що дозволяє підвищити ККД використання палива до 90%. Обмеженість застосування таких установок зазвичай пов'язана з відсутністю споживачів теплової енергії поблизу полігонів ТПВ.

1.6.2. Пряме спалювання БГ і виробництво теплової енергії

Другий за поширеністю і найпростіший спосіб використання БГ – заміщення природного газу, вугілля або мазуту в котлах або промислових печах для виробництва теплової енергії, табл.1.9.

Обмежене поширення цього технічного рішення пояснюється тим, що у більшості розвинених країн тарифи на електроенергію з відновлюваних джерел вищі, ніж на теплову енергію. Крім того, електроенергія може бути продана в мережу в необмежених кількостях, а можливість прямого використання тепла з БГ залежить від наявності споживачів в радіусі до 10 км від полігону.

Таблиця 1.9.

Кількість систем збору і утилізації БГ у світі для різних варіантів використання БГ

Тип/Кількість	В світі	В США
Виробництво тепла на котельних	277	64
Пряме спалювання (печі)	14	54
Випаровування фільтрату	17	12
Теплиці	12	5

При переводі на БГ котлів, що розраховані для роботи на природному газі, вимагають певних конструктивних змін (заміна пальників, реконструкція системи паливоподачі і автоматики).

Інші приклади прямого використання БГ, які знайшли практичне застосування: випаровування фільтрату, теплиці, інфрачервоні нагрівачі. Інфрачервоні нагрівачі застосовуються для опалення виробничих приміщень на полігонах Європи, США і Канади. Ці досить прості при монтажі і експлуатації пристрої можуть застосовуватися при малих витратах газу (20…50 $м^3$/год.). Вартість нагрівачів складає приблизно 3 000 USD на 45…75 $м^2$ опалюваної площі. У літній період БГ спалюється на факелі.

1.6.3. Збагачення БГ до якості природного газу

Після збагачення і очищення БГ може поставлятися в мережі газопостачання, а також в стисненому або скрапленому вигляді використовуватись як паливо для транспортних засобів. Для збагачення і очищення застосовуються різні методи: сухе або вологе очищення з застосуванням сорбентів і води, напівпроникними мембранами, виморожуванням та ін. Проекти по подачі БГ в газопроводи реалізовані на полігонах Європи і США. Великі інвестиції в підготовку БГ і високі експлуатаційні витрати рідко окупаються за рахунок доходів від продажу газу, тому цей тип використання БГ не отримав широкого комерційного поширення.

Використання БГ як палива для транспортних засобів характеризується високими вимогами до якості газу, необхідністю переобладнання транспортних засобів і будівництва заправних станцій. Такий спосіб також не отримав широкого поширення в Європі. Прикладом може служити експериментальна установка в Лос-Анджелесі, експлуатована більше десяти років. В установці БГ з витратою 425 $м^3$/год. і вмістом метану 55% збагачується з отриманням на виході газу із вмістом метану 96% (170 $м^3$/год., еквівалент 3 800 л бензину в

день). Технологічний процес включає наступні етапи: стискання і видалення вологи, вугільний фільтр, підігрівання газу до 60 ºС, три стадії мембранного очищення, багатоступінчасте стискання до 25 МПа, закачування в ємкості для зберігання та заправки під тиском. У 2011-2013 рр. в США запущені чотири комерційні проекти по виробництву метану з ТПВ продуктивністю від 19 до 49 тис. літрів на добу. Газ використовується як паливо для шкільних автобусів та мусоровозів.

Метан може бути скраплений, проте цей підхід вимагає більшого очищення БГ – видалення вуглекислого газу, кисню і азоту. Комерційні установки для зріджування метану мають велику потужність (від 40 тис. л в день), що робить практичне застосування цього рішення на невеликих полігонах маловикористовуваним.

1.7. Висновки до розділу 1

1. Захоронення побутових відходів є найбільш поширеним способом поводження з відходами у світі і в Україні, а БГ з полігонів ТПВ широко використовується, як альтернативне джерело енергії.

2. В Україні практично відсутній досвід застосування технологій утилізації БГ з полігонів ТПВ в якості поновлюваного джерела енергії.

3. Прогнозування виходу газу на полігонах ТПВ пов'язане з великими похибками.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Характеристика систем збору біогазу

2.1.1. Опис системи збору біогазу

Системи збору біогазу за типом свердловин розділяються на горизонтальні та вертикальні. Вертикальні системи збору біогазу є найпоширенішими системами дегазації, які використовуються переважно на відпрацьованих ділянка звалищ та полігонів ТПВ з глибиною відходів більше 10 м. Вони складаються з газозбірних свердловин (ГС), які з'єднані відвідними трубопроводами з газозбірними пунктами, від яких прокладаються магістральні трубопроводи до установки відкачування та утилізації біогазу.

Спорудження вертикальних системи збору починається з монтажу ГС. Для цього буриться вертикальний шурф діаметром від 0,3 до 1,0 м і більше на глибину, що становить 75% від загальної глибини звалища чи полігону ТПВ. На діючих звалищах та полігонах ТПВ для підготовки шурфу ГС використовуються обсадні труби, які в процесі експлуатації піднімаються одночасно з рівнем заповнення відходів.

Вздовж центральної осі шурфу встановлюється перфорована труба з поліетилену чи полівінілхлориду діаметром від 100 мм. Нижня частина труби перфорована отворами чи прорізами, а верхні 3–5 м залишаються суцільними до поверхні звалища чи полігону ТПВ. Перфорована частина труби обсипається гравієм фракції 40…70 мм, над яким виконується підсипка глини чи відходів та споруджується герметична пробка з бентоніту висотою до 1,3 м. Решта вільного простру між трубою та шурфом до поверхні звалища чи полігону ТПВ ущільнюється глиною або відходами.

На поверхні звалища та полігону ТПВ свердловина обладнується оголовком, до складу якого входять відводи для вимірювання параметрів біогазу та запірно-регулююча арматура. До оголовків через гнучку вставку приєднується відвідний трубопровід, який прокладається у траншеї до газозбірного пункту під нахилом не менше 3% з метою зливу накопиченого конденсату у дренажну систему. В окремих системах збору біогазу оголовки свердловин можуть монтуватися на газозбірному пункті, а відвідний трубопровід через гнучку вставку починається відразу від свердловини.

Газозбірні пункти з'єднані з магістральним трубопроводом, що далі транспортує біогаз до установки відкачування та утилізації. До особливостей розміщення магістрального трубопроводу відносять дотримання кута нахилу (не менше 3%) та наявність дренажної систем відводу конденсату. Остання складається з стічної ємності з гідро-затвором, яка використовується для зливу конденсату, що утворюється в магістральному трубопроводі в результаті охолодження біогазу [6]. Стічна ємність обладнана насосом для відкачування конденсату в систему очищення, або на тіло звалища та полігону ТПВ.

Характерні конструктивні параметри та розміри елементів вертикальної системи збору біогазу визначаються на стадії проектування, починаючи від свердловини. Вони описуються у проекті за яким здійснюється будівництво.

2.1.2. Основні дані для проектування

На першому етапі проектування вертикальної системи збору біогазу на основі теоретичних моделей оцінюється швидкість утворення біогазу (ШУБ), яка вимірюється в $м^3$/рік. Достатня ШУБ для економічно виправданого будівництва вертикальної системи збору біогазу досягається на звалищах та полігонах ТПВ України, що розміщені поблизу міст з населенням понад 100 тис. чол..

Після визначення ШУБ оцінюється радіус дії свердловини (РДС) на

основі подвоєного значення якого встановлюють відстань між сусідніми ГС та здійснюють їх розміщення на плані звалища чи полігону ТПВ. Далі на плані визначають місця розташування газозбірних пунктів та виконують трасування трубопроводів. При цьому на даному етапі основна увага повинна приділятися оцінці значення РДС.

Наступним кроком розраховується витрата зібраного біогазу, яка дорівнює добутку ШУБ на ефективність системи збору. Із витрати зібраного біогазу в перерахунку на загальну кількість свердловин оцінюється питома витрата однієї свердловини. Додатково на кожній свердловині визначається робоче розрідження, яке разом із витратою використовується в процесі гідравлічних розрахунків трубопроводів для визначення їх діаметрів та швидкості руху біогазу.

На завершальному етапі проектування виконують креслення елементів системи збору, керуючись при цьому нормами та правилами, які містяться в діючому ДБН В.2.4–2–2005.

Таким чином, основними даними для проектування вертикальних систем збору є ШУБ та показники роботи свердловини (витрата біогазу та радіус дії свердловини), значення яких необхідно вміти розраховувати.

2.2. Опис існуючих технологій отримання біогазу

2.2.1. Технології отримання біогазу з діючих полігонів ТПВ

Технологія отримання біогазу з діючих полігонів складається: з свердловин, дренажу, проміжних і магістральних трубопроводів з арматурою, пристрою по очищенню і осушенню біогазу та вентилятора. Система є складовою частиною технологічної схеми експлуатації полігону.

З метою отримання максимального економічного ефекту полігон розбивають на черги експлуатації з врахуванням забезпечення кожної черги відходи впродовж

трьох - п'яти років. Кожну чергу ділять на робочі зони площею 8000 - 10000 м^2 і висотою 2 м. По вертикалі чергу розбивають на газоносні зони висотою 8 - 10 м.

Волога, що міститься в БГ, за певних зовнішніх умов (температурі і тиску) може конденсуватися, утворюючи пробки і кристалогідрати, що може викликати корозію трубопроводів і арматури. Ззовні кристалогідрати схожі на білу кристалічну масу, а при ущільненні нагадують лід. Склад кристалогідратів $CH_4 \cdot 6H_2O$. Для збору вологи з свердловин і найнижчих точок газопроводу встановлюють конденсатозбірники.

Прокладання газопроводів по поверхні полігону відбувається у футлярах з теплоізоляційного матеріалу, в якості якого допускається використовувати зневоднений осад стічних вод, з нахилом до конденсатозбірника не менше 3 %.

Якщо за умовами рельєфу на поверхні полігону не може бути створенийнеобхідний нахил, допускається прокладення газопроводу ламаного профілю з встановленням конденсатозбірника в найнижчій точці.

2.2.2. Технології отримання біогазу з закритих полігонів ТПВ

При технології отримання біогазу на закритому полігоні бурять свердловини мінімальним діаметром 150 мм на всю глибину шару відходів. Труби для свердловини можуть бути азбестоцементними, поліетиленовими або поліхлорвініловими діаметром 100 мм з перфораційними отворами або пропилами, зробленими по аналогії з перфорованими трубами які застосовуються для діючих полігонів. Порожнину між свердловиною і трубою засипають крупнозернистим щебенем і заливають бетоном на глибину 0,5 м. Площадку навколо свердловини на відстані 1,5 - 2 м ізолюють шаром глини або цементного розчину завтовшки 30 - 40 см. Це забезпечує надійне кріплення свердловини і збір біогазу та перешкоджає проникненню в середину свердловини поверхневих вод. Газова свердловина є основним елементом системи

збору біогазу і тому всі роботи потрібно виконувати з дотриманням діючих норм і стандартів.

Інтенсивність виділення біогазу залежить в першу чергу від вологості відходів на полігоні. При вологості ТПВ 30 - 35 % інтенсивність виділення біогазу дуже низька, тому в цих випадках проектом необхідно передбачити штучне зволоження. Остаточний висновок про застосування зволоження роблять після складання рівняння водного балансу полігону і аналізу гідрогеологічних умов залягання основи полігону.

Надійний збір біогазу і подачу його на очищення, осушення і далі в енергетичну установку забезпечують групою вентиляторів, які створюють в кожній свердловині розрідження 100 - 150 мм вод. ст.

2.3. Проект використання біогазу з полігонів ТПВ в якості поновлюваного джерела енергії

2.3.1. Опис проекту

Для оцінки енергетичної ефективності застосування біогазових установок на полігонах твердих побутових відходів України розглянуто різні способи утилізації БГ для полігону ТПВ, що обслуговує населений пункт з населенням 500 тисяч чоловік.

Першим способом утилізації БГ розглянуто спалювання на факелі. До складу технологічної схеми спалювання включена система збору біогазу і факельна установка компанії *Hofstetter* (*HOFGAS - Ready*), як найчастіше використовуваний варіант устаткування у вже реалізованих проектах в Україні.

Наступним способом утилізації БГ є його використання в когенераційних установках з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) для виробництва електроенергії. До складу технологічної схеми проекту, окрім системи збору і

факельної установки, включені ДВЗ компанії *GE Jenbacher* потужністю 650 кВт.

Останнім варіантом розглянутий спосіб очищення БГ від домішок (вуглекислий газ і азот), його стискання і накопичення в резервуарі з метою продажу метану в якості палива для автомобілів. Технологічна схема проекту, окрім системи збору БГ і факельної установки, включала систему очищення (сепаратор, компресор, абсорбція і регенеративні очисні колони від вуглекислого газу, дожимний компресор, накопичувальний резервуар), а також газозаправну колонку.

На рис.2.1 показано узагальнений опис проекту.

2.3.2. Система збору біогазу

Будівництво систем збору біогазу можна здійснювати за двома варіантами:

– в процесі з накопиченням ТПВ;

– після формування газоносного шару.

Найбільш розповсюджена система збору БГ з полігону ТПВ складається з мережі вертикальних свердловин, з'єднаних між собою горизонтальними трубами, по яких газ передають для його промислового використання (рис. 2.2).

Для системи збору біогазу рекомендовано застосовувати пластикові труби чорного кольору діаметром 100...150 мм. В трубах по колу через 60°, свердлом діаметром 18 мм висвердлюємо отвори з відстанню між ними 50 мм

Верхня частина труби довжиною 1,5...2 м повинна бути суцільною, без перфорації (рис.2.3).

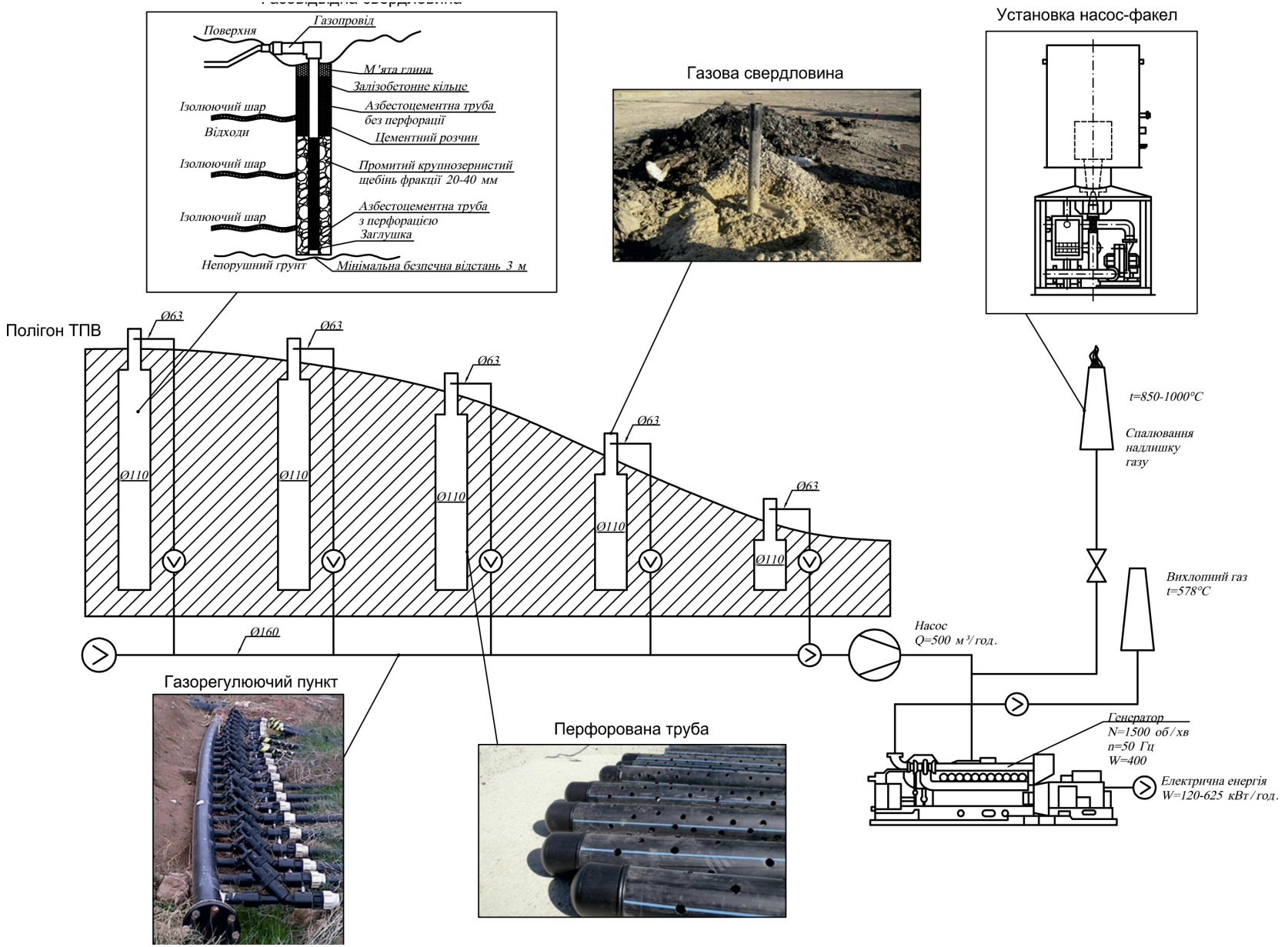

Рис. 2.1. Узагальнений опис проекту

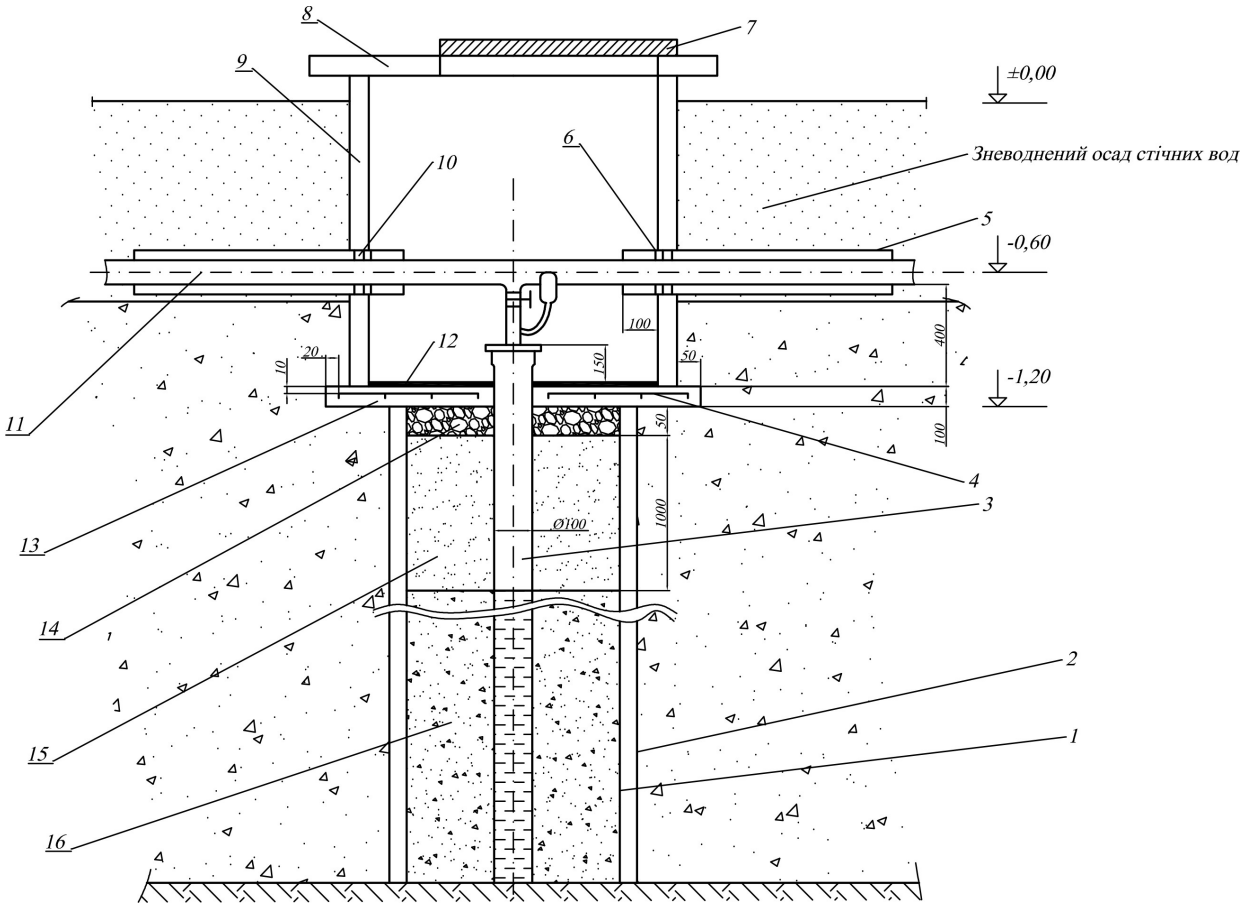

Рис. 2.2. Загальний вигляд біогазової свердловини

1 - азбестоцементні труби з перфорацією d = 100; 2 - залізобетонне кільце К-7 10; 3 - азбестоцементна труба без перфорації d = 100; 4 - сітка С-1; 5 - стальний футляр d = 200, l = 1000; 6 - просмолений жмут; 7 - люк чавунний d = 0,7; 8 - збірна залізобетонна плита КП-12; 9 - залізобетонне кільце К-10-10; 10 - цементний розчин М-200; 11 - газопровід d = 100; 12 - цементна стяжка; 13 - моноліт залізобетонний М-200; 14 - м'яка глина; 15 - цементний розчин М-200; 16 - щебінь фракції 15-30

Рис. 2.3. Полімерні труби для свердловин

Перфоровані пластикові труби вкладають з нахилом до газозбірних пунктів (рис.2.5) це потрібно для стікання вологи, також в найнижчих точках газопроводу монтуються збірники конденсату.

Всі трубопроводи об'єднують у єдиний магістральний трубопровід, по якому біогаз подається до дегазаційної установки, розміщеної в господарській зоні полігону ТПВ, (рис.2.4).

У газозбірних пунктах встановлюють запірно-регулювальну арматуру і монтують спеціальні крани на трубопроводах від свердловин для контролю хімічного складу біогазу. При виборі запірної арматури слід враховувати умови її експлуатації за тиском і температурою (табл. 2.1).

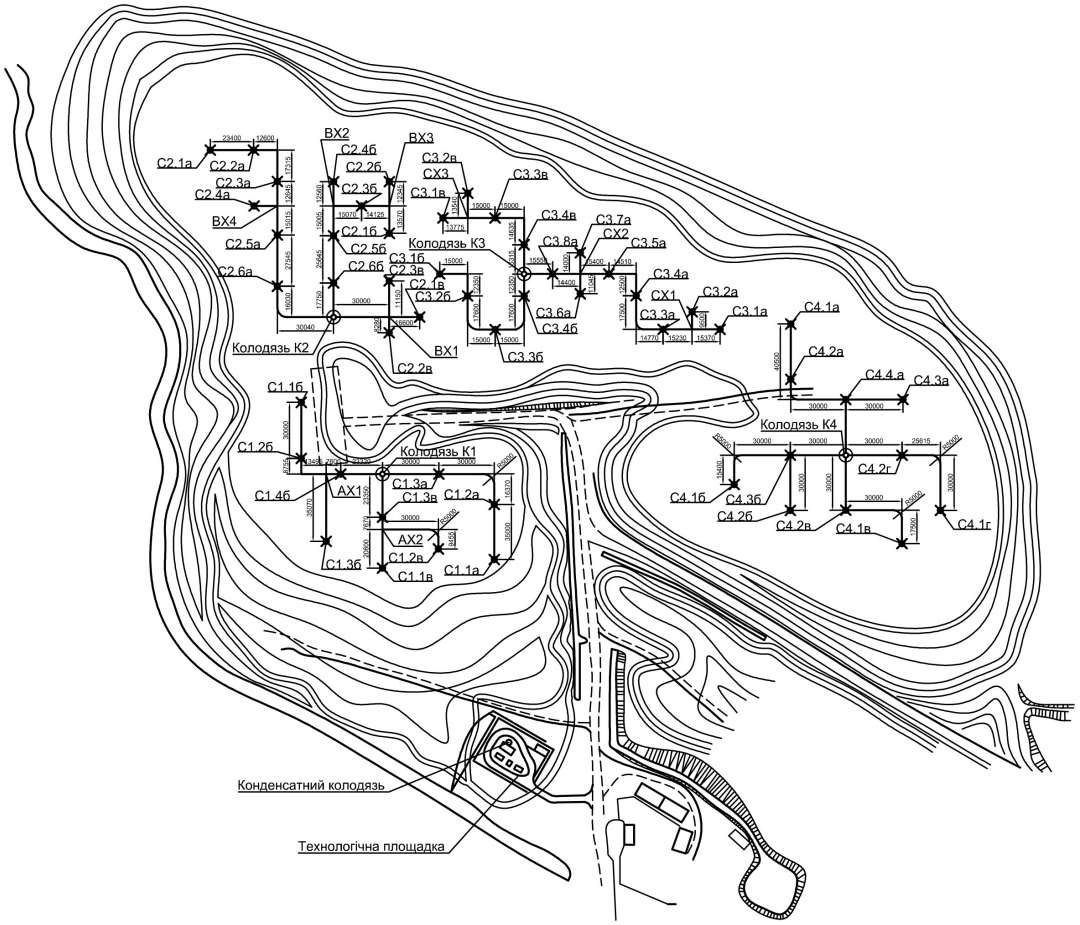

Рис. 2.4. Схема полігону ТПВ

С – свердловина; К – колодязь; АХ, ВХ, СХ – конденсатозбірники.

Рис. 2.5. Газозбірні пункти

Таблиця 2.1

Асортимент запірної арматури

Матеріал арматури	Умови	
	Тиск газу, МПа (кгс/см^2), не більше	Температура, °С.
Чавун	1,8 (18)	не нижче мінус 40
Вуглецева сталь	1,8 (18)	не нижче мінус 50
Легована сталь	1,8 (18)	нижче мінус 50
Латунь, бронза	1,8 (18)	не нижче мінус 40

2.3.3. Система збору фільтрату

Для збирання і відведення фільтрату з майданчиків накопичення ТПВ проектують дренажну систему яка зображена на рис.2.6, яка складається з шарового дренажу.

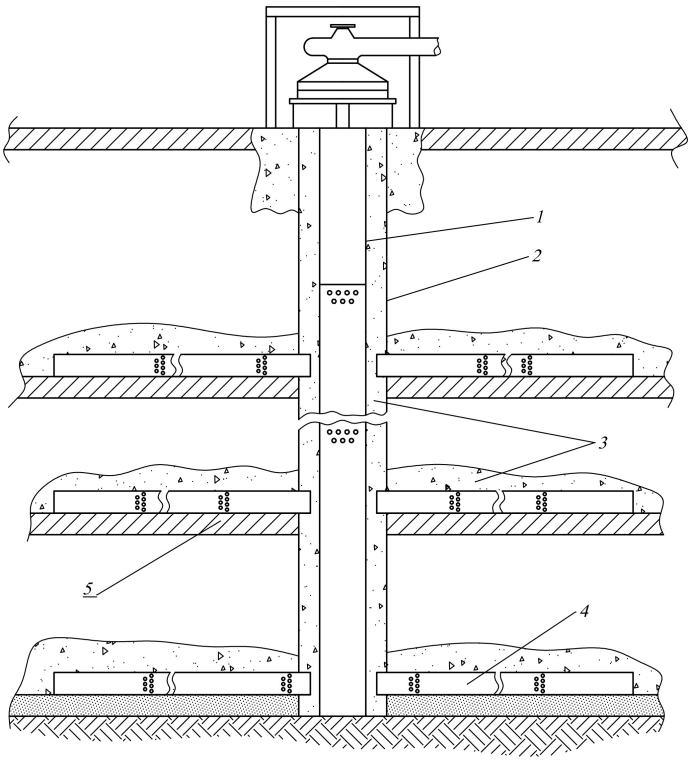

Рис. 2.6. Схема дренажних мереж

1 - обсадна труба без перфорації; 2 - залізобетонне кільце d = 1 м; 3 - крупнозернистий щебінь; 4 - перфорована дренажна труба; 5 - ізоляційний шар

2.3.4. Очищення і осушення біогазу

Магістральний газопровід закінчується установкою по очищенню і осушенню біогазу. Показники вологості і склад біогазу свідчать про необхідність його осушування і очищення від шкідливих домішок, найбільш активним з яких є сірководень.

Процес очищення від сірководню за різними ознаками розділяють на дві групи: з поглинанням сірки і без. В залежності від агрегатного стану сорбенту процеси поглинання сірководню ділять на твердо- і рідкофазні.

На полігонах ТПВ для очищення біогазу рекомендують використовувати сухе очищення без утилізації сірки. В якості сорбенту може бути використаний оксид заліза.

В цьому випадку процес сорбції протікає таким чином:

$$2\ Fe_2O_3 + 6\ H_2S = 2\ Fe_2S_3 + 6\ H_2O;$$

$$2\ FeS_3 + 3\ O_2 = 2\ Fe_2O_3 + 6\ S;$$

$$6\ H_2S + 3\ O_2 = 6\ H_2O + 6\ S.$$

По міру накопичення сірки в сорбенті його активність знижується. Тому після досягнення концентрації сірки в масі сорбенту 30 - 40 % його замінюють новою порцією.

Очищення біогазу роблять до вмісту сірководню в очищеному газі не більше 0,002 г/м^3. Внаслідок малої швидкості реакції час контакту оксиду заліза з біогазом необхідно підтримувати до 5 хвилин, а швидкість біогазу при русі через очисну масу – рівною 5 - 7 мм/с.

Процес очищення від сірководню за допомогою оксиду заліза екзотермічний. Теплоти, що виділяється, за час контакту і швидкості вистачає для осушення біогазу. Конструкція апарату по осушенню біогазу приведена на рис.2.7. Цей апарат висотою 3 м, діаметром 1,2 м, що має п'ять контейнерів для сорбенту і забезпечує продуктивність 250 - 500 м^3/год. біогазу.

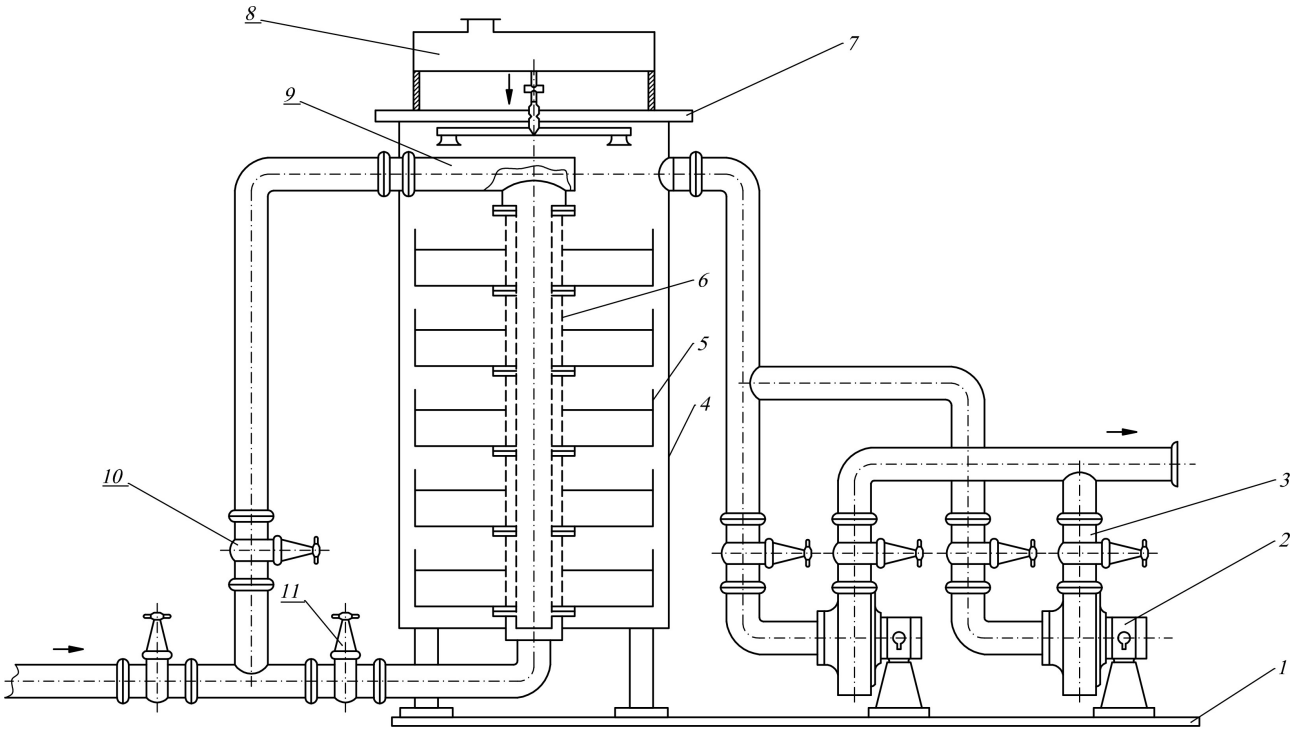

Рис. 2.7. Схема осушування біогазу

1 - рама; 2 - вентилятор; 3, 10, 11 - крани; 4 - осушувач; 5 - контейнери; 6 - трубопровід; 7 - кришка; 8 - бак; 9 - трубопровід.

Заповнені в два шари сорбентом контейнери 5 встановлюють на трубопровід 4 і закріплюють на корпусі 2. Між верхнім внутрішнім фланцем корпусу 2 і фланцем верхнього контейнера 5 встановлений трубопровід 6. Корпус 2 закритий кришкою 3 і загерметизований. Вентилі баку 8 з аміачною водою встановлюють в положення «Закрито». Крани 10, 11 і 7 на вході в корпус 2 і виході з нього знаходяться в положенні «Закрито».

Відкривши кран 11, газ направляють в осушувач 4. Газ з центрального трубопроводу через пази в ньому подається в контейнери 5 в проміжок між двома шарами сорбенту. Пройшовши шар очисної маси, газ виходить в кільцевий простір між контейнерами 5 і корпусом апарату і спрямовується далі до вихідного патрубка. Періодично сорбент зрошується аміачною водою, для чого відкриваються крани баку 8. Для рівномірного поглинання сірководню сорбентом в конструкції передбачено перемикання роботи контейнерів 5 з

напряму руху газу «знизу-вгору» та «згори-вниз». Це досягається відкриванням кранів 10 і 11 у відповідні положення: «Відкрито» або «Закрито».

2.3.5. Спалювання біогазу на факелі

Завданням факела є якнайбільш повне термічне окислення метану, що міститься у біогазі, в умовах, коли викиди забруднень в атмосферу в результаті цього процесу будуть мінімальними.

Під час спалювання біогазу відбувається окислення метану:

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2\,H_2O$$

Для повного окислення 1 м^3 необхідно 9,6 м^3 повітря. Для звичайного біогазу (з вмістом метану 55%) потрібно 5,7 м^3 повітря.

Під час спалювання біогазу, може відбутися неповне згорання метану, виникнення окису вуглецю та різних токсичних сполук. Умовами спалювання відповідно є: відношення кількості повітря до кількості метану, температура процесу і кінетика його перебігу.

З метою забезпечення максимального сприятливого перебігу реакції і мінімізації утворення шкідливих продуктів, спалювання біогазу на факелі має відбуватись при:

– температурі між 850 ÷ 1200 ^{0}C;

– часі реакції як мінімум 0,3 с при 850 ÷ 1200 ^{0}C.

Для забезпечення безпечної експлуатації факела його слід проектувати та експлуатувати згідно з вимогами норми PN-EN 746-2/Ap1 «Промислові пристрої для теплових процесів. Вимоги щодо безпеки систем спалювання та паливних систем» загальний вигляд, схему факела показано на рис 2.8.

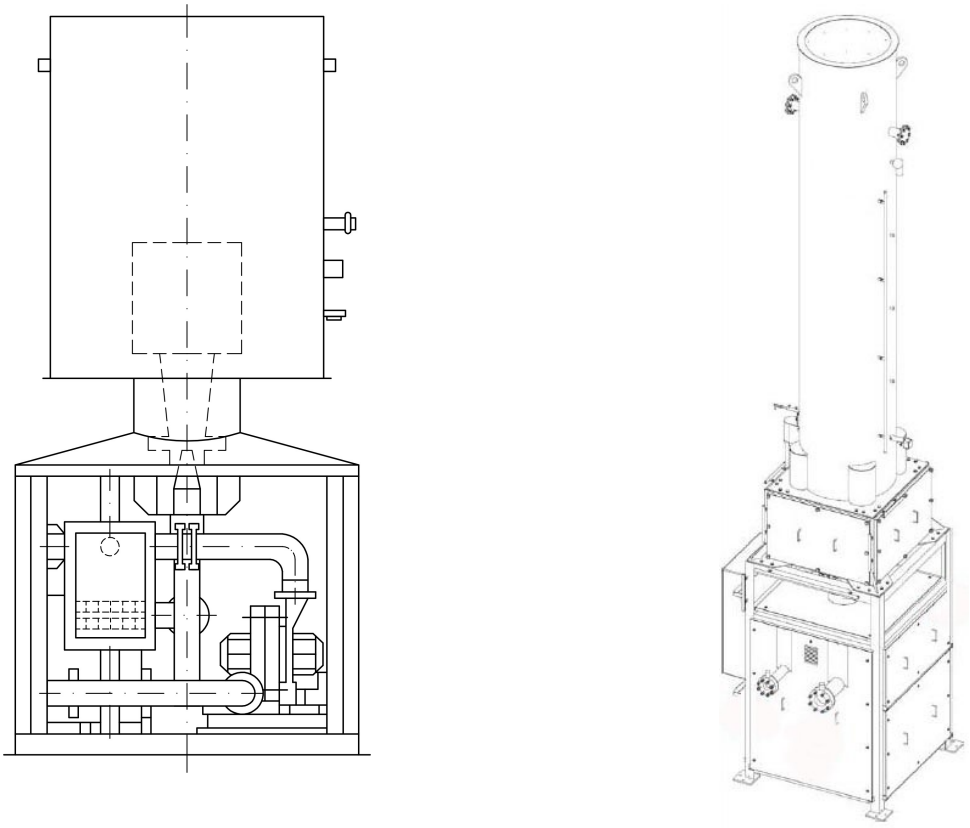

Рис. 2.8. Схема промислового факелу

Необхідна продуктивність факела досягається через поверхню відкритої форсунки (вона регулюється за допомогою рухомої голки всередині форсунки) та тиску біогазу перед форсункою, який підтримується автоматично на заданому рівні за допомогою системи регулювання швидкості обертів ротора установки.

2.3.6. Виробництво електричної енергії в когенерційних установках

Виробництво електричної енергії з БГ на полігонах побутових відходів здійснюють у когенераційній установці, як показано на рис.2.9.

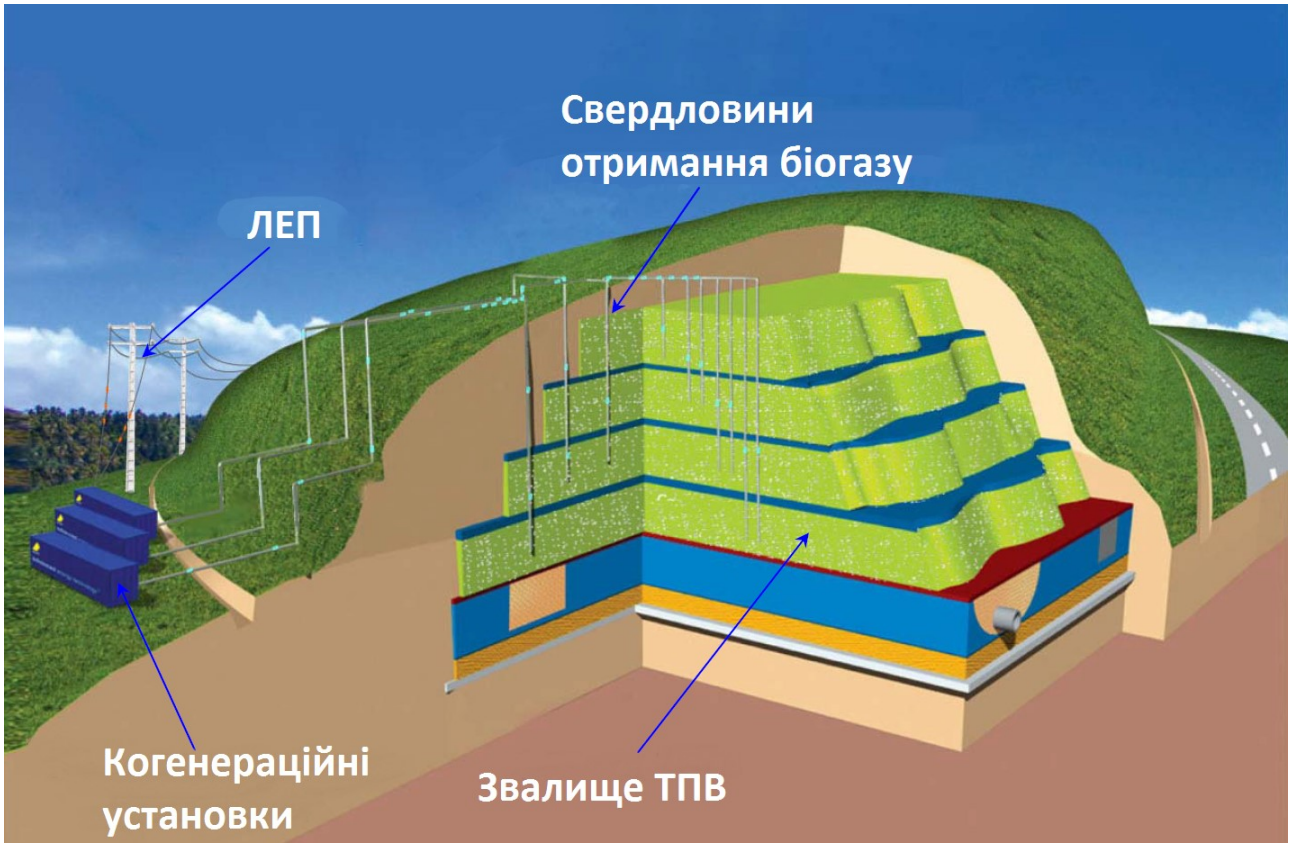

Рис. 2.9. Схема виробництва електричної енергії

Когенераційні установки мають такі переваги:

- забезпечення споживачів електричною енергією зі стабільними параметрами за частотою та напругою;

- забезпечення споживачів тепловою енергією зі стабільними параметрами за температурою і якістю гарячої води;

- ефективність використання палива на 30 % - 40 % вище, ніж у традиційного обладнання;

- простота та ефективність у обслуговуванні.

З 1м^3 біогазу можна одержати (1,6 – 2) кВт·год електричної енергії та (1,6 – 2,85) кВт·год рекуперованої теплової енергії в разі його використання у когенераційній установці.

Біогаз полігонів побутових відходів, що використовується у когераційних установках має відповідати вимогам, наведеним у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Технічні вимоги до біогазу, що використовується у когенераційних установках

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Тиск газу	кПа	від 1,5 до 100
Теплота згоряння	кВт·год/ нм³	не менше ніж 5
Вміст метану мінімальний	%	від 55 до 6550
Теплотворна здатність	МДЖ/кг ккал/кг	не менше ніж 5500 не менше ніж 23,01
Вміст хлору (CI)	мг/ нм³ CH_4	не більше ніж 100
Вміст фтору (F)	мг/ нм³ CH_4	не більше ніж 50
Сумарний вміст хлору і фтору	мг/ нм³ CH_4	не більше ніж 100
Вміст пилу менше ніж 5 мкм	мг/ нм³ CH_4	не більше ніж 10
Мастильні пари	мг/ нм³ CH_4	не більше ніж 400
Вміст кремнію	мг/ нм³ CH_4	не більше ніж 5
Вміст сірки	мг/ нм³ CH_4	не більше ніж 300
Вміст сірководню	мг/ нм³ CH_4	не більше ніж 306
Вміст аміаку	мг/ Нм³ CH_4	не більше ніж 38
Відносна волога	%	не більше ніж 60
Температура газової суміші	°С	не менше 10 не більше 30

Когенераційна установка (КГУ) це установки які працюють аналогічно тепловим мережам, КГУ у процесі своєї роботи не залежить від фінансового стану теплоенергетичних компаній, вона виробляє як електричну так і теплову енергію і відношенні ~1:1,2.

Сьогодні на енергетичному ринку найрозповсюдженішими типами КГУ є:

- ДВЗ із теплообмінником, які забезпечують утилізацію теплоти, рис. 2.10.

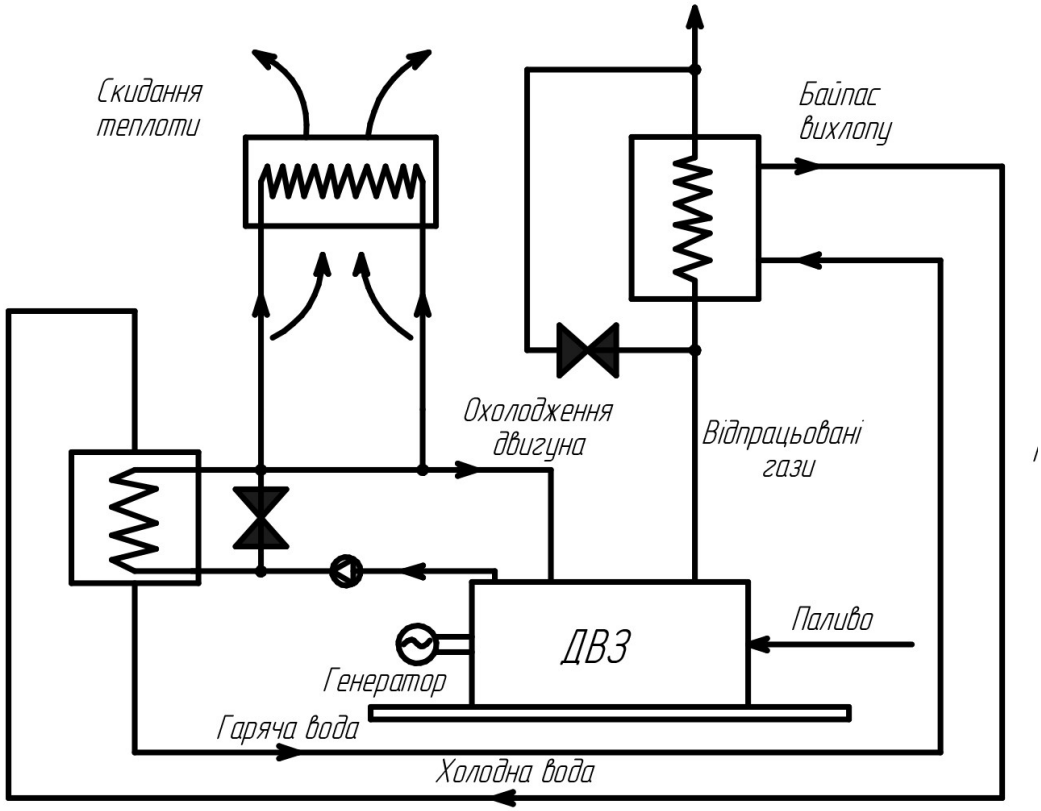

Рис. 2.10. Типова схема роботи когенераційної установки з двигуном внутрішнього згорання

В роботі застосовують в основному наступні типи двигунів:

Запалення стисканням (як автомобільний чи судновий), що працюють на дизелі або газі (з додаванням дизелю). Існують моделі з вихідною електричною потужністю від 3 кВт до 6 МВт.

З іскровим запаленням (як бензиновий двигун) із вихідною електричною потужністю на (15 - 20) % нижче, ніж у дизельних двигунів.

Газотурбінний двигун – це тепловий двигун, в якому газ стискається і нагрівається, а потім енергія стисненого і нагрітого газу перетворюється в механічну роботу на валу газової турбіни.

Схему газотурбінного двигуна показано на рис. 2.11.

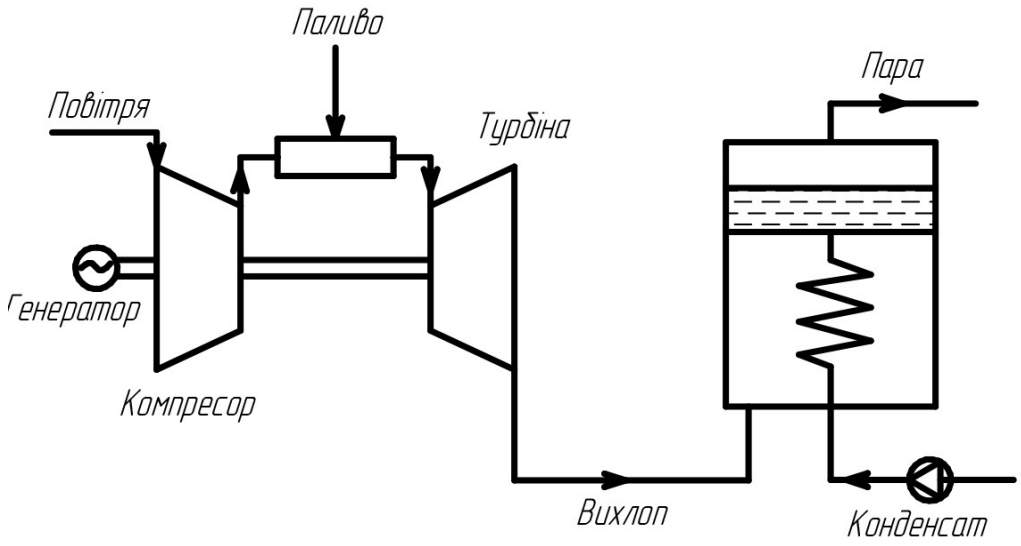

Рис. 2.11. Типова схема роботи когенераційної установки з газотурбінним двигуном

Робота когенераційної установки з газотурбінним полягає у нагнітанні компресором газу в камеру згоряння де він змішується з повітрям і загорається. Високотемпературні (900 - 1200) °С продукти подаються на лопатки і починають обертати вал турбіни.

Температура газів рівна 450 - 550 °С. Електричний ККД газової турбіни становить 25 - 35 %, залежно від параметрів роботи конкретної моделі турбіни і характеристик палива.

Отже, для нашого полігону ми можемо запропонувати біоенергетичну установку, технічні характеристики якої приведені в таблиці 2.3.

GE Jenbacher – 650 одночасно з виробництвом електричної енергії, виробляє і теплову яка використовується для потреб в технологічному процесі виробництва біогазу так може використовуватись для потреб допоміжного господарства полігону та сторонніх споживачів.

Таблиця 2.3.

Основні технічні характеристики когенераційної установки

***GE Jenbacher* - 650**

№	Найменування характеристики, параметра показника	Значення
1	Позначення:	
	заводське	*GE Jenbacher* - 650
2	Тип електроагрегата	Газопоршневий
3	Номінальна потужність (н.у.), *кВт*	600
4	Максимальна потужність, *кВт*	600
5	Частота обертання на номінальній потужності, *об/хв*	1500
6	Мінімально стійка частота обертання (х.х.), *об/хв*	500
7	Максимальна частота обертання холостого ходу, *об/хв*	1300
8	Струм	Змінний, трифазний
9	Напруга, *В*	400
10	Частота, *Гц*	50
11	Коефіцієнт потужності (індуктивний)	0,8
12	Розхід газу в номінальному режимі, *м³/год*	120
13	Питомий розхід масла (угар) в номінальному режимі, *кВт/год*	1,55
14	Маса електроагрегата суха, *кг*	1800
15	Габаритні розміри, *мм*	
	довжина	2500
	ширина	1200
	висота	1700
16	Ресурс до капітального ремонту, *год*	20000

Загальний вигляд когенераційної установки показано на рис.2.12.

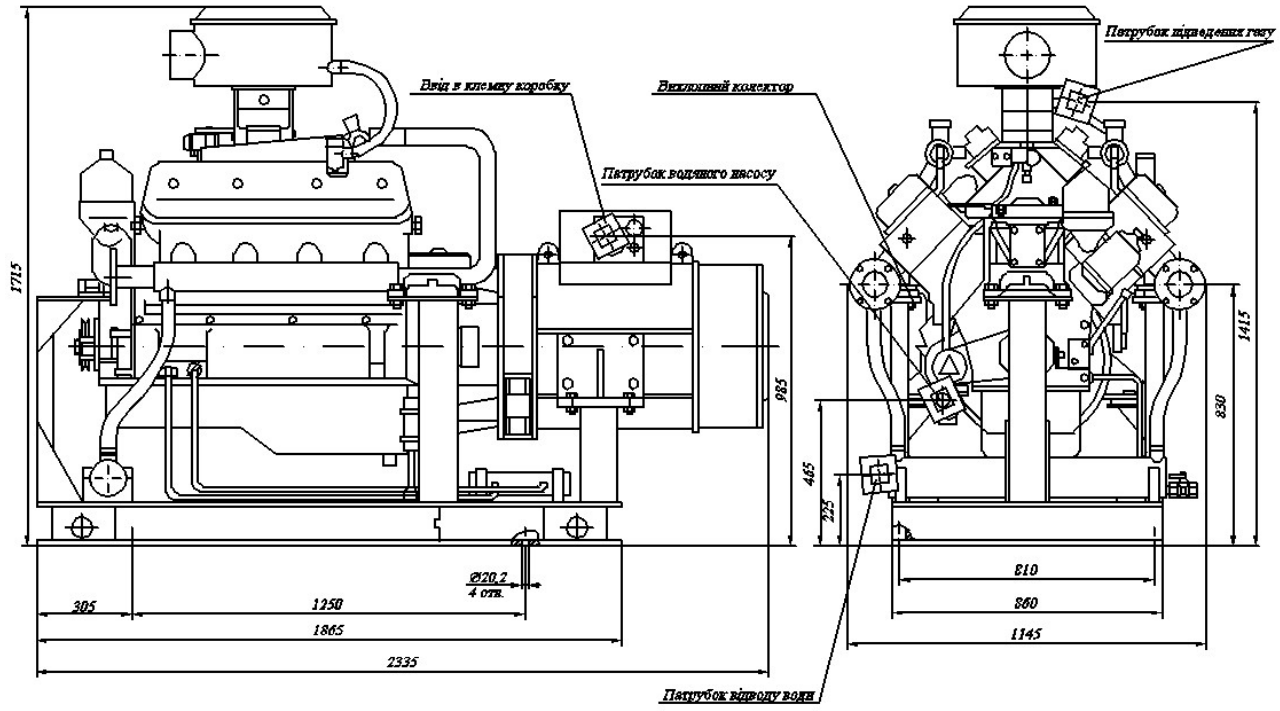

Рис. 2.12. Загальний вигляд когенераційної установки

2.3.7. Біогаз як моторне паливо

Для застосування БГ з полігонів ТПВ в якості палива для автомобілів він потребує поглибленого його очищення від оксиду вуглецю (CO), діоксиду вуглецю (CO_2), водню (H_2), сірководню (H_2S), що є його неминучими супутниками. Для очищення БГ де використовуються цеолітові і вугільні фільтри.

Тоді схема збору біогазу матиме наступний вигляд рис.2.13.

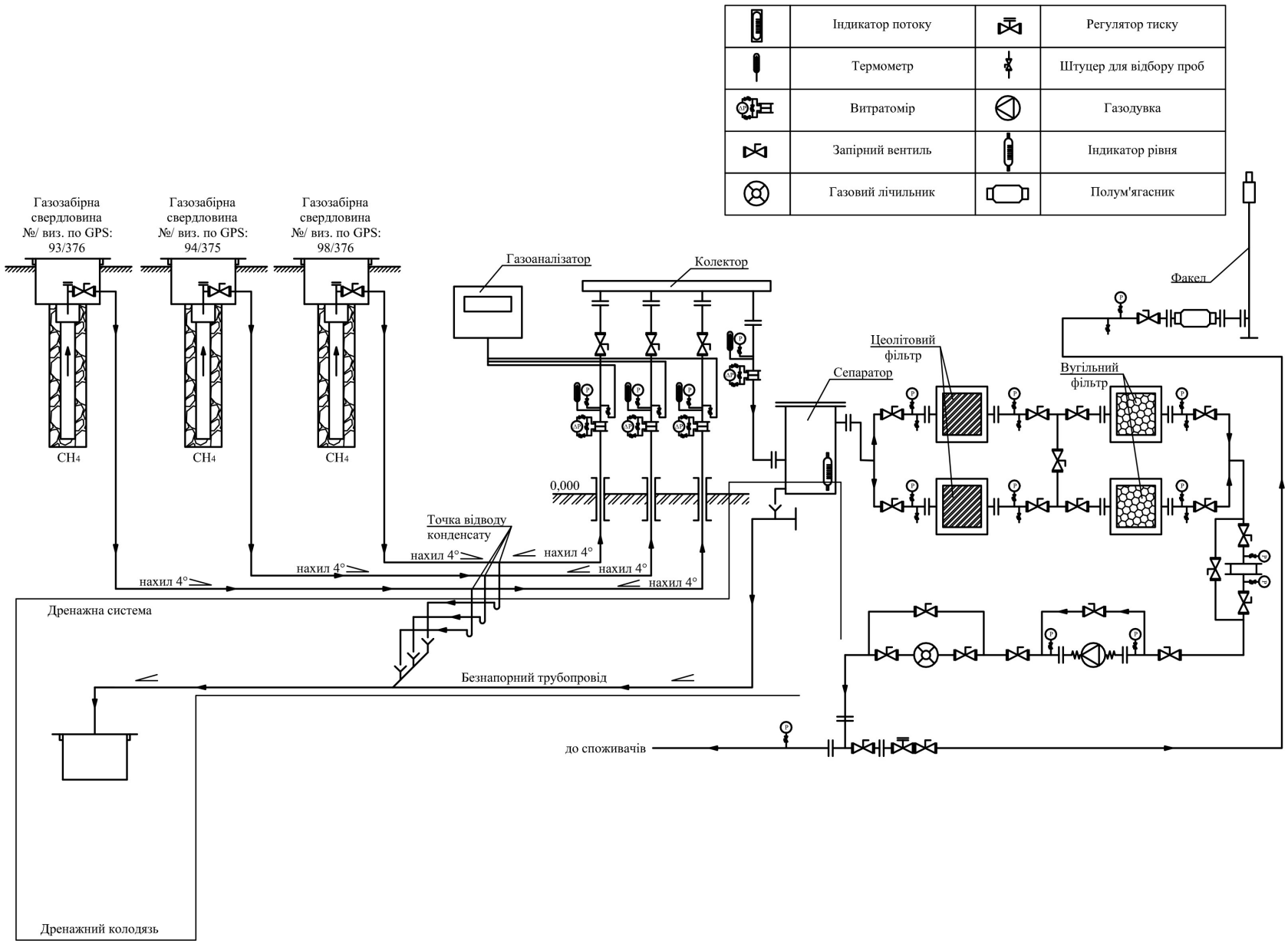

Рис. 2.13. Схема збору та очищення біогазу для застосування в якості палива для автомобілів

2.4. Висновки до розділу 2

1. Розглянуто існуючі технології отримання біогазу з діючих та закритих полігонів твердих побутових відходів.

2. Запропоновано схеми утилізації біогазу для полігону твердих побутових відходів, що обслуговує населений пункт з населенням 500 тисяч чоловік.

РОЗДІЛ 3

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Опис типових програмних засобів використаних у магістерській роботі

3.1.1. Програма Word для Windows

Текстовий редактор Word є одним з найпоширеніших текстових редакторів. Це обумовлюється в першу чергу його численними перевагами, до яких у першу чергу належать широкі функціональні можливості. Текстовий редактор Word для Windows (далі просто Word) входить до групи програм Microsoft Office. Крім текстового редактора, ця група включає електронну таблицю Excel і систему управління базою даних Access, тобто основні програми, які можуть використовуватися для формування документообігу в установах. Широкому використанню Word сприяють також вбудовані в нього, засоби перетворення файлів, створених іншими текстовими редакторами, в файли формату Word і навпаки.

Для запуску Word слід виконати команду Пуск /Програми / Microsoft **Word**, після чого на екрані з’являється вікно редактора. Вікно редактора Word має декілька стандартних елементів. Одні з них постійно присутні на екрані, інші можна викликати за бажанням користувача.

В рядку заголовка виведено ім'я програми. Крім цього, в рядку заголовка є чотири кнопки: одна з лівого краю і три - з правого. Крайня ліва кнопка є кнопкою виклику управляючого меню. Праворуч розміщені відповідно кнопка згортання, відновлення та закриття вікна. Під рядком заголовка у вікні розміщується рядок меню, який містить такі пункти: **Файл** - робота з файлами документів; **Правка** - редагування документів; **Вид** - перегляд документів;

Вставка - вставка в документ малюнків, діаграм, поточної дати і часу, формул та інших об'єктів; **Формат** - форматування документів (встановлення шрифтів, параметрів абзацу); **Сервис** - сервісні функції (перевірка орфографії, встановлення параметрів настроювання Word); **Таблица** - робота з таблицями; **Окно** - робота з вікнами документів; **?** - довідкова інформація про Word.

В підменю потрібний пункт може бути вибрано або за допомогою миші (встановити курсор миші на потрібний пункт і натиснути ліву кнопку), або за допомогою клавіатури (клавішами вертикального переміщення курсора вибрати потрібний пункт і натиснути клавішу [Enter]).

Під рядком меню розміщуються звичайно панелі інструментів. Панелі інструментів - це рядок кнопок, при натискуванні на які виконується певна дія. Для натискування кнопки слід клацнути мишкою по кнопці. При фіксації курсору миші на кнопці під нею з'являється її назва, а в рядку стану - коротка довідка про призначення кнопки. Ряд кнопок дублюють відповідні команди меню. Word забезпечує користувача декількома панелями інструментів. Вводити і редагувати можна тільки текст активного вікна.

Перед введенням символів слід вибрати шрифт, його розмір, формат. Символи клавіатури вводяться в позицію текстового курсора. Виділений фрагмент можна вилучити, перемістити, скопіювати. За таких операцій часто використовують буфер обміну Windows. Через цей буфер редактор Word може обмінюватись інформацією з іншими програмами, що працюють у середовищі Windows. Вилучити виділений фрагмент можна за допомогою команди **Правка/Вырезать** або кнопки **Удалить** панелі інструментів **Стандартная**. Вилучити виділений фрагмент можна і за допомогою клавіші [Del], але при цьому фрагмент у буфер обміну не заноситься. Вставка фрагменту з буферу обміну здійснюється командою **Правка/Вставить** або кнопки **Вставить** панелі інструментів **Стандартная**. Фрагмент вставляється в позицію текстового курсора. Скопіювати фрагмент можна за допомогою послідовно виконаних двох команд: **Правка/Копировать** і **Правка/Вставить**. Команди редагування

діють і при роботі з документами в різних вікнах. Це дає змогу обмінюватись фрагментами тексту між різними документами.

Поля - це спеціальні фрагменти тексту, які розміщуються в документі і забезпечують автоматичне внесення в документ деякої інформації (дати, часу, назви документа і т.д.).

3.1.2. Програма «AUTO CAD»

Програма завантажує асоційовані файли що мають розширення *.dws* – файл шаблона із стандартними визначеннями об’єктів креслення.

Після запуску програми відкривається один із варіантів графічного інтерфейсу: в звичайному варіанті завантажується графічне вікно програми з шаблоном *Acadiso.dwt* (метричні одиниці вимірювання), який задає точність одиниць вимірювання з чотирма знаками після коми, ліміти креслення – тобто прямокутну границю зони креслення і крок сітки і дискретний рух курсору 10x10.

Під шаблоном *Auto Cad* розуміється малюнок що містить необхідні надбудови і використовується для створення інших малюнків.

Рядок заголовка. Містить назву програми та ім’я файлу який відкрили. В правій частині є три кнопки. Рядок меню, Стандартна панель інструментів і панель з списками що розкривається текстових і розмірних стилів. Рядок містить панель управління шарами і панель властивостей об’єктів, всі панелі плаваючі.

Самий нижній рядок графічного вікна називається рядок стану. В лівій частині цього рядка координати *X,Y,Z.* Положення курсору в зоні малювання вікна і в середній частині рядка знаходять кнопки, які управляють викликом прозорих команд. Прозорі команди запускаються за допомогою кнопок, які знаходяться на панелі інструментів або вводяться в командну строку з префіксом у вигляді символу апострофа. Після завершення прозорої команди відновляється робота поточної команди:

Grid – сітка

Snap – крок

Zoom – покажи

Вище над рядком стану знаходяться вікно команд, яке складається з трьох рядків що починається зі слова *Command.*

Перший знизу рядок активний в нього вводяться команди і дані які управляють роботою програми. Люба комбінація символів що набираються на клавіатурі автоматично попадає в рядок програм. Повний запис з протокола роботи з програмами можна переглядати в текстовому вікні яке викликається (видаляється) на екран за допомогою клавіші F2. В кожній частині вікна знаходиться закладка *Model* і одна або декілька *layaut*. Закладка *Model* забезпечує доступ у простір моделювання, простір листа використовується для виконання рамок.

Ліворуч і праворуч від зони креслення встановлені плаваючі панелі інструментів призначені для виклику команд креслення і редагування створюваних об'єктів. Вікно має смуги прокрутки. На парвій межі зони креслення *Tool Palletes* – сервісні палітри яке за замовчуванням має три вкладки: піктограми малюнків, блоків, зразків штриховки. Довідкова система аналогічна довідковим системам інших програм.

Завершення роботи програми

Файл→Закрить

File→Close

Alt+F4.

3.2. Алгоритм програми теплового розрахунку когенераційної установки яка працює на біогазі

```
unit Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Grids, StdCtrls, ExtCtrls;
```

```
type
  TForm1 = class(TForm); Label3: TLabel; ComboBox1: TComboBox; Label4: TLabel; Edit1: TEdit; Tabl1: TStringGrid; Tabl2: TStringGrid; Label8: TLabel; Label9: TLabel; Button1: TButton;  Label25: TLabel; Label26: TLabel; ComboBox14: TComboBox; ComboBox15: TComboBox; Label5: TLabel; Edit11: TEdit; Edit12: TEdit; Edit13: TEdit; Label28: TLabel; Edit14: TEdit; Label40: TLabel; Label41: TLabel; Edit23: TEdit; Edit24: TEdit; Label42: TLabel; Edit25: TEdit; Label2: TLabel; Label7: TLabel;
    Edit27: TEdit; Label13: TLabel; Label15: TLabel; Button2: TButton; Label6: TLabel; Label14: Label;
    Label16: TLabel; Label17: TLabel; Label18: TLabel; Label19: TLabel; Label20: TLabel; Label21: TLabel; Label22: TLabel; Label23: TLabel; Label24: TLabel; Label27: TLabel; Label29: TLabel;  Label30: TLabel; Label31: TLabel; Label32: TLabel; Label33: TLabel; Label34: TLabel; Label35: TLabel; Label36: TLabel; Label37: TLabel; Label38: TLabel; Label39: TLabel;  Label43: TLabel;  Label44: TLabel; Label45: TLabel; Label46: TLabel; Label47: TLabel; Label48: TLabel; Label50: TLabel;  Label51: TLabel; Label53: TLabel; Label54: TLabel; Label56: TLabel; Label57: TLabel;  Label58: TLabel; Label68: TLabel; Edit2: TEdit; Label60: TLabel; Label61: TLabel; Label62: TLabel; Label63: TLabel; Label64: TLabel; Label65: TLabel; Label66: TLabel; Label67: TLabel; Label59: TLabel; Label10: TLabel; Label11: TLabel; Label12: TLabel; Label49: TLabel; Label52: TLabel;  Label55: TLabel; Label69: TLabel; Label70: TLabel; Label71: TLabel; Label72: TLabel; Label73: TLabel; Label74: TLabel; Label75: TLabel; Label76: TLabel; Label77: TLabel; Label78: TLabel;
    Label79: TLabel; Label80: TLabel; Label81: TLabel; Label82: TLabel; Label84: TLabel; Label88: TLabel; Label89: TLabel; Label90: TLabel; Label91: TLabel; Edit3: TEdit;ComboBox2: TComboBox;  Edit5: TEdit; Edit6: TEdit; Edit7: TEdit; Edit15: TEdit; Button3: TButton; Label93: TLabel; Label94: TLabel; Label95: TLabel; Label96: TLabel; Label97: TLabel; Label98: TLabel; Label99: TLabel; Label100: TLabel; Label101: TLabel; Label102: TLabel; Label103: TLabel; Label104: TLabel; Label105: TLabel; Label106: TLabel; Label107: TLabel; Label83: TLabel; Label85: TLabel;  Label86: TLabel; Label87: TLabel; Label92: TLabel; Label108: TLabel; Label110: TLabel; Label111: TLabel;  Label112: TLabel; Label113: TLabel; Label115: TLabel; Label116: TLabel; Label109: TLabel; Label114: TLabel;  Label117: TLabel; Label118: TLabel; Label119: TLabel; Label120: TLabel;  Label121: TLabel; Label122: TLabel; Label123: TLabel; Label124: TLabel; Label125: TLabel;  Label126: TLabel; Label127: TLabel; Label128: TLabel; Label129: TLabel; Label130: TLabel;  Label131: TLabel; Label132: TLabel; Label133: TLabel; Label135: TLabel; Label136: TLabel;  Label137: TLabel; Label138: TLabel; Label139: TLabel; Label140: TLabel; Label141: TLabel; Label142: TLabel; Label143: TLabel; Label144: TLabel; Label145: TLabel; Label146: TLabel; Label147: TLabel; Label148: TLabel; Edit4: TEdit; ComboBox3: TComboBox;  Edit8: TEdit; Edit9: TEdit; Edit10: TEdit; Edit16: TEdit; Button4: TButton; Label149: TLabel;  Edit17: TEdit; Label150: TLabel;  Label134: Label; Label151: TLabel; Label152: TLabel;  Label153: TLabel; Label154: TLabel; Label155: TLabel; Label156: TLabel; Label157: TLabel; Label158: TLabel;  Label159: TLabel; Label160: TLabel; Label1: TLabel; Label161: TLabel; Label162: TLabel;  Label163: TLabel; Label165: TLabel; Label166: TLabel; Label167: TLabel;  Label168: TLabel; Label169: TLabel; Label170: TLabel;  Label171: TLabel; Edit18: TEdit; Label164: TLabel; Label172: TLabel; Label173: TLabel; Label174: TLabel; Label175: TLabel; Label176: TLabel; Label177: TLabel; Label178: TLabel; Label179: TLabel; Label180: TLabel; procedure FormActivate(Sender: TObject); procedure ComboBox1Change(Sender: TObject); procedure ComboBox15Change(Sender: TObject); procedure Button1Click(Sender: TObject); procedure ComboBox14Change(Sender: TObject); function ctro2(t:real):real; function ctn2(t:real):real; function cth2o(t:real):real; function ctv(t:real):real;
function ig(t,alfa,v0,vro2,vn2,vh2o:real):real; function lag(t:real):real; function nug(t:real):real;
function Prg(t:real):real; procedure Button2Click(Sender: TObject); procedure utton3Click(Sender: TObject); procedure ComboBox2Change(Sender: TObject); procedure ComboBox3Change(Sender: TObject); procedure Button4Click(Sender: TObject); private { Private declarations } public { Public declarations }  end;var Form1: TForm1;implementation
{$R *.DFM}
  function TForm1.ctro2(t:real):real;
  begin ctro2:=0.0000000000410584*t*t*t*t-0.0000002765*t*t*t+0.0007562*t*t+1.69*t-8.206;
  end;
 function TForm1.ctn2(t:real):real;
 begin ctn2:=0.000000000003487*t*t*t*t-0.000000042*t*t*t+0.0001957*t*t+1.228*t+6.217;
 end;
 function TForm1.cth2o(t:real):real;
 begin cth2o:=-0.000000000011033*t*t*t*t+0.000000010779*t*t*t+0.00028755*t*t+1.4292*t+6.4447;
   end;
 function TForm1.ctv(t:real):real;
begin  ctv:=0.0000000000037804*t*t*t*t-0.000000046023*t*t*t+0.00020814*t*t+1.2676*t+4.1136;
   end;
  function TForm1.ig(t,alfa,v0,vro2,vn2,vh2o:real):real;
   begin  ig:=ctro2(t)*vro2+ctn2(t)*vn2+cth2o(t)*vh2o+(alfa-1)*ctv(t)*v0;
   end;
  function TForm1.lag(t:real):real;
```

```
    begin  lag:=0.000000001*t*t+0.00008*t+0.0229;
    end;
  function TForm1.nug(t:real):real;
  begin  nug:=0.007939*exp(1.425587*ln(t))+15.844;
   end;
  function TForm1.Prg(t:real):real;
  begin  Prg:=0.740095-0.003217*exp(0.573072*ln(t));
  end;
procedure TForm1.FormActivate(Sender: TObject);
begin
 Tabl2.Cells[0,0]:='Складова';
 Tabl2.Cells[1,0]:='Вміст, %';
 Tabl2.Cells[0,1]:='C';      Tabl2.Cells[1,1]:='30,6';
 Tabl2.Cells[0,2]:='H2';     Tabl2.Cells[1,2]:='3,66';
 Tabl2.Cells[0,3]:='S';      Tabl2.Cells[1,3]:='0,0';
 Tabl2.Cells[0,4]:='W';      Tabl2.Cells[1,4]:='40,0';
 Tabl2.Cells[0,5]:='N2';     Tabl2.Cells[1,5]:='0,36';
 Tabl2.Cells[0,6]:='O2';     Tabl2.Cells[1,6]:='25,02';
 Tabl2.Cells[0,7]:='A';      Tabl2.Cells[1,7]:='0,36';
 Tabl1.Cells[0,0]:='Складова';
 Tabl1.Cells[1,0]:='Вміст, %';
 Tabl1.Cells[0,1]:='CH4';   Tabl1.Cells[1,1]:='98,9';
 Tabl1.Cells[0,2]:='C2H6';  Tabl1.Cells[1,2]:='0,3';
 Tabl1.Cells[0,3]:='C3H8';  Tabl1.Cells[1,3]:='0,1';
 Tabl1.Cells[0,4]:='C4H10'; Tabl1.Cells[1,4]:='0,1';
 Tabl1.Cells[0,5]:='C5H12'; Tabl1.Cells[1,5]:='0';
 Tabl1.Cells[0,6]:='H2';    Tabl1.Cells[1,6]:='0';
 Tabl1.Cells[0,7]:='N2';    Tabl1.Cells[1,7]:='0,4';
 Tabl1.Cells[0,8]:='CO2';   Tabl1.Cells[1,8]:='0,2';
 Tabl1.Cells[0,9]:='O2';    Tabl1.Cells[1,9]:='0';
 Tabl1.Cells[0,10]:='H2S';  Tabl1.Cells[1,10]:='0';
end;
procedure TForm1.ComboBox1Change(Sender: TObject);
begin
 Label6.Visible:=False;  Label14.Caption:='';
 case ComboBox1.Itemindex of
   0: begin
      Label26.Caption:='Газопровід';Combobox15.visible:=TRUE; Combobox14.visible:=FALSE;
      Tabl2.visible:=FALSE; Tabl1.visible:=TRUE; Label6.Top:=240; Label14.Top:=240;
      Edit18.Visible:=False; Label171.Visible:=False; Label172.Visible:=False;Label173.Visible:=False;
      Label164.Visible:=False;Label176.Visible:=False;Label177.Visible:=False;
     end;
   1: begin
      Label26.Caption:='Родовище'; Combobox14.visible:=TRUE; Combobox15.visible:=FALSE;
      Tabl1.visible:=FALSE; Tabl2.visible:=TRUE; Label6.Top:=210;Label14.Top:=210;
      Edit18.Visible:=TRUE;                                                    Label171.Visible:=TRUE;
Label172.Visible:=TRUE;Label173.Visible:=TRUE;Label164.Visible:=TRUE;
      Label176.Visible:=TRUE;Label177.Visible:=TRUE;
     end;
 end;
end;
procedure TForm1.ComboBox15Change(Sender: TObject);
begin
   Form1.Label9.visible:=TRUE;
   Form1.tabl1.visible:=TRUE;
   Form1.tabl2.visible:=FALSE;
   Label6.Visible:=False;  Label14.Caption:='';
   case ComboBox15.Itemindex of
   0: begin
   Tabl1.Cells[1,1]:='98,9'; Tabl1.Cells[1,2]:='0,3'; Tabl1.Cells[1,3]:='0,1'; Tabl1.Cells[1,4]:='0,1'; Tabl1.Cells[1,5]:='0';
Tabl1.Cells[1,6]:='0'; Tabl1.Cells[1,7]:='0,4'; Tabl1.Cells[1,8]:='0,2'; Tabl1.Cells[1,9]:='0'; Tabl1.Cells[1,10]:='0';
       end;
```

```
    1: begin
Tabl1.Cells[1,1]:='98,5';  Tabl1.Cells[1,2]:='0,2';  Tabl1.Cells[1,3]:='0,1';  Tabl1.Cells[1,4]:='0';  Tabl1.Cells[1,5]:='0';
Tabl1.Cells[1,6]:='1,0'; Tabl1.Cells[1,7]:='0,2'; Tabl1.Cells[1,8]:='0'; Tabl1.Cells[1,9]:='0'; Tabl1.Cells[1,10]:='0';
    end;
    2: begin
        Tabl1.Cells[1,1]:='94,1';          Tabl1.Cells[1,2]:='3,1';          Tabl1.Cells[1,3]:='0,6';          Tabl1.Cells[1,4]:='0,2';
Tabl1.Cells[1,5]:='0,8';  Tabl1.Cells[1,6]:='1,2';  Tabl1.Cells[1,7]:='0';  Tabl1.Cells[1,8]:='0';        Tabl1.Cells[1,9]:='0';
Tabl1.Cells[1,10]:='0';
   end;
    3: begin
        Tabl1.Cells[1,1]:='93,8'; Tabl1.Cells[1,2]:='3,6'; Tabl1.Cells[1,3]:='0,7'; Tabl1.Cells[1,4]:='0,2';
        Tabl1.Cells[1,5]:='0,4'; Tabl1.Cells[1,6]:='0,7'; Tabl1.Cells[1,7]:='0,6'; Tabl1.Cells[1,8]:='0'; Tabl1.Cells[1,9]:='0';
Tabl1.Cells[1,10]:='0';
    end;
    4: begin
        Tabl1.Cells[1,1]:='64,0'; Tabl1.Cells[1,2]:='0'; Tabl1.Cells[1,3]:='0'; Tabl1.Cells[1,4]:='0';    Tabl1.Cells[1,5]:='0';
Tabl1.Cells[1,6]:='0'; Tabl1.Cells[1,7]:='0'; abl1.Cells[1,8]:='35,0';   Tabl1.Cells[1,9]:='0'; Tabl1.Cells[1,10]:='1,0';
        end;
    else begin
        Tabl1.Cells[1,1]:='';       Tabl1.Cells[1,2]:='';    Tabl1.Cells[1,3]:='';    Tabl1.Cells[1,4]:='';          abl1.Cells[1,5]:='';
Tabl1.Cells[1,6]:=''; Tabl1.Cells[1,7]:=''; Tabl1.Cells[1,8]:=''; abl1.Cells[1,9]:='';   Tabl1.Cells[1,10]:='';
        end;
    end;
end;
procedure TForm1.ComboBox14Change(Sender: TObject);
begin
   Form1.Label9.visible:=TRUE;
   Form1.tabl1.visible:=FALSE;
   Form1.tabl2.visible:=TRUE;
   Label6.Visible:=False;  Label14.Caption:='';
   case ComboBox14.Itemindex of
    0: begin
        Tabl2.Cells[1,1]:='49,3'; Tabl2.Cells[1,2]:='3,6'; Tabl2.Cells[1,3]:='3,0'; Tabl2.Cells[1,4]:='13,0';
        Tabl2.Cells[1,5]:='1,0'; Tabl2.Cells[1,6]:='8,3'; Tabl2.Cells[1,7]:='21,8';
 end;
    1: begin
        Tabl2.Cells[1,1]:='55,2'; Tabl2.Cells[1,2]:='3,8'; Tabl2.Cells[1,3]:='3,2';   Tabl2.Cells[1,4]:='8,0';
        Tabl2.Cells[1,5]:='1,0'; Tabl2.Cells[1,6]:='5,8'; Tabl2.Cells[1,7]:='23,0';
      end;
    2: begin
        Tabl2.Cells[1,1]:='62,7';          Tabl2.Cells[1,2]:='3,1';          Tabl2.Cells[1,3]:='2,8';          Tabl2.Cells[1,4]:='5,0';
Tabl2.Cells[1,5]:='0,9'; Tabl2.Cells[1,6]:='1,7'; Tabl2.Cells[1,7]:='23,8';
        end;
    3: begin
        Tabl2.Cells[1,1]:='66,6'; Tabl2.Cells[1,2]:='2,6'; Tabl2.Cells[1,3]:='2,4'; Tabl2.Cells[1,4]:='5,0';
        Tabl2.Cells[1,5]:='1,0'; Tabl2.Cells[1,6]:='1,5'; Tabl2.Cells[1,7]:='20,9'; end;
    4: begin
        Tabl2.Cells[1,1]:='55,5'; Tabl2.Cells[1,2]:='3,7'; Tabl2.Cells[1,3]:='2,6'; Tabl2.Cells[1,4]:='10,0';
        Tabl2.Cells[1,5]:='0,9';   Tabl2.Cells[1,6]:='7,5'; Tabl2.Cells[1,7]:='19,8';
       end;
    5: begin
        Tabl2.Cells[1,1]:='53,7';          Tabl2.Cells[1,2]:='3,6';          Tabl2.Cells[1,3]:='3,1';          abl2.Cells[1,4]:='8,0';
Tabl2.Cells[1,5]:='0,7'; Tabl2.Cells[1,6]:='5,1';  Tabl2.Cells[1,7]:='25,8';
        end;
    6: begin
        Tabl2.Cells[1,1]:='24,7';          Tabl2.Cells[1,2]:='2,6';          Tabl2.Cells[1,3]:='0,1';          Tabl2.Cells[1,4]:='50,0';
Tabl2.Cells[1,5]:='1,1'; Tabl2.Cells[1,6]:='15,2'; Tabl2.Cells[1,7]:='6,3';
        end;
    7: begin
Tabl2.Cells[1,1]:='30,6';          Tabl2.Cells[1,2]:='3,66';          Tabl2.Cells[1,3]:='0';          Tabl2.Cells[1,4]:='40,0';
Tabl2.Cells[1,5]:='0,36'; Tabl2.Cells[1,6]:='25,02'; Tabl2.Cells[1,7]:='0,36';
        end;
```

```
   8: begin
 Tabl2.Cells[1,1]:='43,35'; Tabl2.Cells[1,2]:='5,185'; Tabl2.Cells[1,3]:='0'; Tabl2.Cells[1,4]:='15,0';
 Tabl2.Cells[1,5]:='0,51'; Tabl2.Cells[1,6]:='35,445'; Tabl2.Cells[1,7]:='0,51';
       end;
   else begin
 Tabl2.Cells[1,1]:='';      Tabl2.Cells[1,2]:='';      Tabl2.Cells[1,3]:='';      Tabl2.Cells[1,4]:='';      Tabl2.Cells[1,5]:='';
Tabl2.Cells[1,6]:=''; Tabl2.Cells[1,7]:='';
end;
end;
end;
   {розрахунок об"ємів та ентальпій продуктів згорання}
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var
 Sum,ch4,c2h6,c3h8,c4h10,c5h12,c,s,co2,h2s,n,o,w,a,h,v0,vro2,v0n2,v0h2o,vn2,vh2o,vg0,
 vg,rro2,rh2o,rn,muz,ivg,ihp,alfa,qnr,thp,tvg:real;
 s1:string[7]; s2:string[5]; s3:string[5];s4:string[5];s5:string[5];
 s6:string[5]; s7:string[5]; s8:string[5];s9:string[5];s10:string[5];
 s11:string[5]; s12:string[7]; s13:string[5];s14:string[5];s15:string[5];
 R1:string[15]; R2:string[15];
begin
  if tabl1.visible=TRUE then
   begin
     ch4:=StrToFloat(tabl1.Cells[1,1]); c2h6:=StrToFloat(tabl1.Cells[1,2]);
     c3h8:=StrToFloat(tabl1.Cells[1,3]); c4h10:=StrToFloat(tabl1.Cells[1,4]);
     c5h12:=StrToFloat(tabl1.Cells[1,5]); h:=StrToFloat(tabl1.Cells[1,6]);
     n:=StrToFloat(tabl1.Cells[1,7]); co2:=StrToFloat(tabl1.Cells[1,8]);
     o:=StrToFloat(tabl1.Cells[1,9]); h2s:=StrToFloat(tabl1.Cells[1,10]);
     Sum:=ch4+c2h6+c3h8+c4h10+c5h12+h+n+co2+o+h2s;
     qnr:=ch4*358+c2h6*591+c3h8*913+c4h10*1187+c5h12*1461+h*108+h2s*234;
     v0:=0.0476*(0.5*h+1.5*h2s+2*ch4+3.5*c2h6+5*c3h8+6.5*c4h10+8*c5h12-o);
     vro2:=0.01*(h2s+co2+ch4+2*c2h6+3*c3h8+4*c4h10+5*c5h12);
     v0n2:=0.79*v0+0.01*n;
     v0h2o:=0.01*(h+h2s+0.124*10+2*ch4+3*c2h6+4*c3h8+5*c4h10+6*c5h12)+0.0161*v0;
     R1:='м3/м3';
     R2:='кДж/м3';
     Label6.Visible:=True;  Label14.Caption:=FloatToStr(Sum);
   end
  else begin
     c:=StrToFloat(tabl2.Cells[1,1]); h:=StrToFloat(tabl2.Cells[1,2]);
     s:=StrToFloat(tabl2.Cells[1,3]); w:=StrToFloat(tabl2.Cells[1,4]);
     n:=StrToFloat(tabl2.Cells[1,5]); o:=StrToFloat(tabl2.Cells[1,6]);
     a:=StrToFloat(tabl2.Cells[1,7]);
     Sum:=c+h+n+w+o+s+a;
     qnr:=c*338+1025*h-108.5*(o-s)-25*w;
     v0:=0.0899*(c+0.375*s)+0.265*h-0.033*o;
     vro2:=0.01866*(c+0.375*s);
     v0n2:=0.79*v0+0.008*n;
     v0h2o:=0.111*h+0.0124*w+0.0161*v0;
     R1:='куб.м/кг';
     R2:='кДж/кг';
     Label6.Visible:=True;  Label14.Caption:=FloatToStr(Sum);
   end;
   if sum<>100 then ShowMessage('Перевірте відсотковий склад палива');
   tvg:=StrToFloat(Edit11.Text); thp:=StrToFloat(Edit14.Text);alfa:=StrToFloat(Edit1.Text);
   vg0:=vro2+v0n2+v0h2o; vn2:=v0n2+(alfa-1)*v0; vh2o:=v0h2o+0.0161*(alfa-1)*v0; vg:=vro2+vn2+vh2o;
   rro2:=vro2/vg; rh2o:=vh2o/vg; rn:=rro2+rh2o; muz:=0.1*StrToFloat(Edit2.Text)*a/vg;
   ihp:=1.3*thp*v0; ivg:=ig(tvg,alfa,v0,vro2,v0n2,v0h2o);
   s2:=FloatToStr(vro2); s3:=FloatToStr(v0n2); s4:=FloatToStr(v0h2o);
   s5:=FloatToStr(vg0); s6:=FloatToStr(vn2); s7:=FloatToStr(vh2o);s8:=FloatToStr(vg);
   s9:=FloatToStr(rro2); s10:=FloatToStr(rh2o); s11:=FloatToStr(rn);s12:=FloatToStr(muz);
   s15:=FloatToStr(v0);
   Label10.caption:=FloatToStr(qnr); Label63.caption:=FloatToStr(ivg); Label60.caption:=FloatToStr(ihp);
```

```
  Label21.caption:=s2; Label22.caption:=R1;  Label24.caption:=s3;  Label27.caption:=R1;
  Label30.caption:=s4; Label31.caption:=R1;  Label33.caption:=s5;  Label34.caption:=R1;
  Label36.caption:=s6; Label37.caption:=R1;  Label39.caption:=s7;  Label43.caption:=R1;
  Label45.caption:=s8; Label46.caption:=R1;  Label48.caption:=s9;  Label51.caption:=s10;
  Label54.caption:=s11;Label57.caption:=s12; Label66.caption:=s15; Label67.caption:=R1;
  Label58.caption:='кг/кг';
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
 var
 q2,kkd,fi,br,qnr,ivg,ihp,gv:real;
 s1:string[5]; s2:string[6]; s3:string[6]; s4:string[5]; s5:string[5]; s6:string[5];
 s7:string[8]; s8:string[6]; s9:string[6];
begin
  qnr:=StrToFloat(Label10.caption); s1:=FloatToStr(qnr); Label18.caption:=s1;
  ivg:=StrToFloat(Label63.Caption); s2:=FloatToStr(ivg); Label11.Caption:=s2;
  ihp:=StrToFloat(Label60.Caption); s3:=FloatToStr(ihp); Label12.Caption:=s3;
  q2:=(ivg-StrToFloat(Edit1.Text)*ihp)/qnr*(100-StrToFloat(Edit24.Text))/100*100;
  kkd:=100-(StrToFloat(Edit23.Text)+StrToFloat(Edit24.Text)+StrToFloat(Edit25.Text)+q2);
  fi:=1-StrToFloat(Edit25.Text)/(kkd+StrToFloat(Edit25.Text));
  br:=StrToFloat(Edit27.Text)/(kkd/100*qnr)*(100-StrToFloat(Edit24.Text))/100;
  gv:=StrToFloat(Edit27.Text)/(4.19*(StrToFloat(Edit12.Text)-StrToFloat(Edit13.Text)));
  s4:=FloatToStr(q2); s5:=FloatToStr(kkd); s6:=FloatToStr(fi); s7:=FloatToStr(br); s8:=FloatToStr(gv);
  Label52.caption:=s4; Label70.caption:=s5; Label73.caption:=s6;
  if tabl1.visible=TRUE then begin s9:='кДж/м3'; Label76.caption:='м3/с'; end
                  else begin s9:='кДж/кг'; Label76.caption:='кг/с'; end;
  Label19.caption:=s9; Label61.caption:=s9; Label64.caption:=s9; Label55.caption:='%';
  Label71.caption:='%';Label78.caption:=s8; Label75.caption:=s7; Label79.caption:='кг/с';
end;
procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);            {розрахунок топки}
var
 qk,ta1,ta,q1,psi,s,tsr,rv,tt,tt2,m,m0,cghg,igt2,qpr,vcp,prns,kg,k,bu,bu1,fi:real;
 s1:string[5]; s2:string[6]; s3:string[6]; s4:string[5]; s5:string[5]; s6:string[5];
 s7:string[8]; s8:string[6]; s9:string[6]; s10:string[6];
begin
  qk:=StrToFloat(Label18.caption)*(100-StrToFloat(Edit23.Text)-StrToFloat(Edit24.Text))/
     (100-StrToFloat(Edit24.Text))+StrToFloat(Edit1.Text)*StrToFloat(Label12.caption);
  s1:=FloatToStr(qk); Label95.caption:=s1; Label96.caption:=Label19.caption;
  ta1:=100;
  repeat {розрахунок адиабатної температури}
    ta1:=ta1+5;
    q1:=ig(ta1,StrToFloat(Edit1.Text),StrToFloat(Label66.caption),StrToFloat(Label21.caption),
        StrToFloat(Label24.caption),StrToFloat(Label30.caption));
  until (qk-q1)/qk<0.005;
    ta:=ta1;
    s:=3.6*StrToFloat(Edit15.Text)/StrToFloat(Edit5.Text);
    psi:=StrToFloat(Edit6.Text)*StrToFloat(Edit3.Text)/StrToFloat(Edit5.Text);
    rv:=StrToFloat(Label45.caption)/(StrToFloat(Label24.caption)+StrToFloat(Label21.caption));
    if ComboBox1.Itemindex=0 then
cghg:=0.12*(0.25*StrToFloat(tabl1.Cells[1,1])+0.333*StrToFloat(tabl1.Cells[1,2])+3/8*StrToFloat(tabl1.Cells[1,3])+
0.4*StrToFloat(tabl1.Cells[1,4])+ 5/12*StrToFloat(tabl1.Cells[1,5]))
 else cghg:=StrToFloat(tabl2.Cells[1,1])/StrToFloat(tabl2.Cells[1,2]);
  case ComboBox2.Itemindex Of
  0: m0:=0.4;
  1: m0:=0.36;
  2: begin
  m0:=0.46;
  if ComboBox1.Itemindex=0 then ShowMessage('Шарова топка на газовому паливі?');
 end;
 end;
  if ComboBox2.Itemindex=2 then m:=m0*(1+StrToFloat(Edit7.Text))*exp(0.3333*ln(rv))
 else m:=m0*(1-0.4*StrToFloat(Edit7.Text))*exp(0.3333*ln(rv));
  tt:=900;
```

```
  repeat {розрахунок температури на виході з топки}
    tt2:=tt;
    tsr:=(tt2+ta)/2;
    igt2:=ig(tt2,StrToFloat(Edit1.Text),StrToFloat(Label66.caption),StrToFloat(Label21.caption),
    StrToFloat(Label24.caption),StrToFloat(Label30.caption));
    qpr:=StrToFloat(Label73.caption)*(qk-igt2);
    vcp:=(qk-igt2)/(ta-tt2);
    prns:=0.1*StrToFloat(Label54.caption)*s;
kg:=((7.8+16*StrToFloat(Label51.caption))/(exp(0.5*ln(10*prns)))-1)*(1-
0.00037*(tt2+273))*StrToFloat(Label54.caption);
    if ComboBox2.Itemindex=2 then          k:=kg+(10000*StrToFloat(tabl2.Cells[1,7])/exp(0.6667*ln(tt2+273)))*
StrToFloat(Label57.caption)/(1+1.2*StrToFloat(Label57.caption)*s)
else k:=kg+0.1*1.2/(1+exp(2*ln(StrToFloat(Edit1.Text))))*exp(0.4*ln(cghg))*(0.0016*(tt2+273)-0.5);
 bu:=k*0.1*s;
 bu1:=1.6*ln((1.4*bu*bu+bu+2)/(1.4*bu*bu-bu+2));
 tt:=(ta+273)/(1+m*exp(0.3*ln(bu1))*exp(0.6*ln(5.67*psi*StrToFloat(Edit5.Text)*exp(3*ln(ta+273))/
/(100000000000*StrToFloat(Label73.caption)*StrToFloat(Label75.caption)*vcp))))-273;
  until abs((tt-tt2)/tt)<0.01;
  s2:=FloatToStr(ta); Label98.caption:=s2; Label99.caption:='град.С';
  s3:=FloatToStr(tt); Label101.caption:=s3; Label83.caption:='град.С';
  s4:=FloatToStr(qpr); Label103.caption:=s4; Label104.caption:=Label19.caption;
  s5:=FloatToStr(igt2); Label106.caption:=s5; Label107.caption:=Label19.caption;
  s6:=FloatToStr(s); Label86.caption:=s6; Label87.caption:='м';
  s7:=FloatToStr(prns); Label108.caption:=s7; s8:=FloatToStr(k); Label111.caption:=s8;
  s9:=FloatToStr(Bu); Label116.caption:=s9; s10:=FloatToStr(m); Label113.caption:=s10;
  Label150.caption:=FloatToStr(cghg);
end;
procedure TForm1.ComboBox2Change(Sender: TObject);
begin
 if ComboBox2.Itemindex=2 then Label84.caption:='Відношення дзеркала горіння до стін топки, м2/м2'
else Label84.caption:='Відносна висота пальників, м/м';
 if ComboBox2.Itemindex=1 then Edit7.Text:='0';
end;
procedure TForm1.ComboBox3Change(Sender: TObject);
begin
 if ComboBox3.Itemindex=0 then begin
Label118.visible:=false; Edit10.visible:=false;Label149.visible:=false;
Edit17.visible:=false;Edit17.text:='0';Edit10.text:='0';
  end
 else begin
      Label118.visible:=true; Edit10.visible:=true; Label149.visible:=true;
      Edit17.visible:=true;
      if ComboBox3.Itemindex=1 then begin Label149.visible:=false; Edit17.visible:=false; end;
      if ComboBox3.Itemindex=2 then Label149.caption:='Відносний крок згину, м/м';
      if ComboBox3.Itemindex=3 then Label149.caption:='Відносний крок згину, м/м';
      if ComboBox3.Itemindex=4 then Label149.caption:='Діаметр інтенсифікатора, м';
      if ComboBox3.Itemindex=5 then Label149.caption:='Діаметр інтенсифікатора, м';
    end;
end;
procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject); {розрахунок пучка}
var
 h,fg,de,q1,psi,s,tsr,cghg,a,qp,dt,prns,kg,k,bu,wg,Reg,tst,alfag,alfaprg,tvst,epr,qvsttr,
 qkvst,qprgvst,alfaprgvst,alfapr,alfa1,kto,qp1,ee,ee1,tst1,tkond,tsmol,tkond2:real;
 s1:string[5]; s2:string[6]; s3:string[6]; s4:string[5]; s5:string[5]; s6:string[5];s7:string[8];s8:string[6]; s9:string[6];
  s10:string[6]; s11:string[6]; s12:string[6];s13:string[6];s14:string[6];s15:string[6];s16:string[6];s17:string[6];
begin
  h:=3.14*StrToFloat(Edit8.Text)*StrToFloat(Edit4.Text)*StrToFloat(Edit9.Text);
  fg:=(3.14*exp(2*ln(StrToFloat(Edit16.Text)))/4-
StrToFloat(Edit16.Text)*StrToFloat(Edit10.Text))*StrToFloat(Edit4.Text);
  de:=4*fg/(5.14*StrToFloat(Edit16.Text))/StrToFloat(Edit4.Text);
 if  ComboBox3.Itemindex=4 then begin
 de:=StrToFloat(Edit16.Text)-StrToFloat(Edit17.Text);
```

```
fg:=0.785*(StrToFloat(Edit16.Text)*StrToFloat(Edit16.Text)StrToFloat(Edit17.Text)*StrToFloat(Edit17.Text))*StrTo
Float(Edit4.Text); end;
  tsr:=(StrToFloat(Edit11.Text)+StrToFloat(Label101.caption))/2;
  s:=0.9*de;
  prns:=0.1*StrToFloat(Label54.caption)*s;
  kg:=((7.8+16*StrToFloat(Label51.caption))/(exp(0.5*ln(10*prns)))-1)*(1-
0.00037*(tsr+273))*StrToFloat(Label54.caption);
  if ComboBox2.Itemindex=2 then
k:=kg+(10000*StrToFloat(tabl2.Cells[1,7])/exp(0.6667*ln(tsr+273)))*StrToFloat(Label57.caption)/(1+1.2*StrToFloat(
Label57.caption)*s)
  else
k:=kg+0.1*1.2/(1+exp(2*ln(StrToFloat(Edit1.Text))))*exp(0.4*ln(StrToFloat(Label150.caption)))*(0.0016*(tsr+273)-
0.5);
  bu:=k*0.1*s;
  a:=1-exp(-bu);
  qp:=StrToFloat(Label73.caption)*(StrToFloat(Label106.caption)-StrToFloat(Label11.caption));
  dt:=((StrToFloat(Label101.caption)-StrToFloat(Edit13.Text))-(StrToFloat(Edit11.Text)-StrToFloat(Edit12.Text)))/
      ln((StrToFloat(Label101.caption)-StrToFloat(Edit13.Text))/(StrToFloat(Edit11.Text)-StrToFloat(Edit12.Text)));
  wg:=StrToFloat(Label45.caption)*StrToFloat(Label75.caption)*(tsr+273)/(273*fg);
  tst:=(StrToFloat(Edit13.Text)+StrToFloat(Edit12.Text))/2+25;
  Reg:=wg*StrToFloat(Edit16.Text)/nug(tsr)*1000000;
  case ComboBox3.Itemindex of
  0:alfag:=0.062*exp(0.693*ln(Reg))*exp(0.43*ln(Prg(tsr)))*(1+2.4/exp(0.68*ln(StrToFloat(Edit9.Text)
 /StrToFloat(Edit8.Text))))*lag(tsr)/StrToFloat(Edit16.Text);
1:alfag:=1.67*0.062*exp(0.693*ln(Reg))*exp(0.43*ln(Prg(tsr)))*(1+2.4/exp(0.68*ln(StrToFloat(Edit9.Text)/StrToFloa
t(Edit8.Text))))*lag(tsr)/StrToFloat(Edit16.Text);
2:alfag:=0.27*exp(0.44*ln(Reg))*exp(0.43*ln(Prg(tsr)))*exp(1.06*ln(StrToFloat(Edit17.Text)))*lag(tsr)/StrToFloat(Ed
it16.Text);3:alfag:=0.12*exp(0.786*ln(Reg))*exp(0.43*ln(Prg(tsr)))*exp(0.68*ln(StrToFloat(Edit17.Text)))*lag(tsr)/St
rToFloat(Edit16.Text);
4:alfag:=1.4*exp(0.33*ln(Reg*de/StrToFloat(Edit9.Text)))*exp(0.43*ln(Prg(tsr)))*(1+2.4/exp(0.68*ln(StrToFloat(Edit
9.Text)/de)))*lag(tsr)/de;
  5:if Reg>2300 then alfag:=1.4*exp(0.33*ln(Reg*de/StrToFloat(Edit9.Text)))*exp(0.43*ln(Prg(tsr)))*
 *(1+2.4/exp(0.68*ln(StrToFloat(Edit9.Text)/de)))*lag(tsr)/de*1.8
 else
alfag:=1.4*exp(0.33*ln(Reg*de/StrToFloat(Edit9.Text)))*exp(0.43*ln(Prg(tsr)))*(1+2.4/exp(0.68*ln(StrToFloat(Edit9.
Text)/de)))*lag(tsr)/de*2.04;
  end;
  alfaprg:=0.0000000567*0.9*a*exp(3*ln(tsr+273))*(1-exp(3.6*ln((tst+273)/(tsr+273))))/(1-(tst+273)/(tsr+273));
epr:=1/(1/0.8+2*StrToFloat(Edit16.Text)*StrToFloat(Edit9.Text)/(3.14*StrToFloat(Edit16.Text)*StrToFloat(Edit9.Tex
t))*(1/0.8-1));
  tvst:=tsr;
  if ComboBox3.Itemindex<>0 then begin
  repeat
  tvst:=tvst-1;
  qvsttr:=5.67*epr*2*StrToFloat(Edit16.Text)*StrToFloat(Edit9.Text)*(exp(4*ln((tvst+273)/100))-
exp(4*ln((tst+273)/100)));
  qkvst:=alfag*2*StrToFloat(Edit16.Text)*StrToFloat(Edit9.Text)*(tsr-tvst);
  qprgvst:=alfaprgvst*2*StrToFloat(Edit16.Text)*StrToFloat(Edit9.Text)*(tsr-tvst);
  alfaprgvst:=0.0000000567*0.9*a*exp(3*ln(tsr+273))*(1-exp(3.6*ln((tvst+273)/(tsr+273))))/(1-(tvst+273)/(tsr+273));
  if ComboBox3.Itemindex=4 then begin qkvst:=alfag*3.14*StrToFloat(Edit17.Text)*StrToFloat(Edit9.Text)*(tsr-
tvst);
        qprgvst:=alfaprgvst*3.14*StrToFloat(Edit17.Text)*StrToFloat(Edit9.Text)*(tsr-tvst); end;
  if ComboBox3.Itemindex=5 then begin qkvst:=alfag*3.14*StrToFloat(Edit17.Text)*StrToFloat(Edit9.Text)*(tsr-
tvst);
        qprgvst:=alfaprgvst*3.14*StrToFloat(Edit17.Text)*StrToFloat(Edit9.Text)*(tsr-tvst); end;
  until abs((qvsttr-(qkvst+qprgvst))/qvsttr)<0.01;
  end;
  alfapr:=qvsttr/(3.14*StrToFloat(Edit16.Text)*StrToFloat(Edit9.Text))/(tsr-tst);
  alfa1:=alfag+alfaprg+alfapr;
  kto:=0.8*alfa1/(alfa1/600+1);
  if ComboBox2.Itemindex=2 then kto:=0.7*alfa1/(alfa1/600+1);
  qp1:=kto*h*dt/1000/StrToFloat(Label75.Caption);
```

```
  ee:=(qp-qp1)/qp*100;
  ee1:=(StrToFloat(Label18.caption)*StrToFloat(Label70.caption)/100-(qp1+StrToFloat(Label103.caption)))/
      (StrToFloat(Label18.caption)*StrToFloat(Label70.caption)/100)*100;
  tst1:=StrToFloat(Edit12.Text)+qp1*StrToFloat(Label75.Caption)*1000/h/600;
tkond:=614.41*StrToFloat(Label51.Caption)*StrToFloat(Label51.Caption)*StrToFloat(Label51.Caption)-
654*StrToFloat(Label51.Caption)*StrToFloat(Label51.Caption)+298*StrToFloat(Label51.Caption)+21.677;
  tkond2:=tkond;
  if ComboBox1.Itemindex=1 then if StrToFloat(tabl2.Cells[1,3])<>0 then if StrToFloat(tabl2.Cells[1,7])<>0 then
  tkond2:=tkond+125*exp(0.3333*ln(4190*StrToFloat(tabl2.Cells[1,3])/StrToFloat(Label18.Caption)))/
  exp(4190*StrToFloat(Edit2.Text)*StrToFloat(tabl2.Cells[1,7])/StrToFloat(Label18.Caption)*ln(1.05));
  tsmol:=29.04*exp(0.1707*ln(StrToFloat(Edit18.Text)));
  if tst1>tkond2+5 then Label175.Caption:='не відбуватиметься' else Label175.Caption:='відбуватиметься';
  if tst1>tsmol+5 then Label177.Caption:='не відбуватиметься' else Label177.Caption:='відбуватиметься';
  s1:=FloatToStr(h); Label125.caption:=s1; Label126.caption:='м2';
  s2:=FloatToStr(fg); Label128.caption:=s2; Label129.caption:='м2';
  s3:=FloatToStr(dt); Label131.caption:=s3; Label138.caption:='град.С';
  s4:=FloatToStr(wg); Label136.caption:=s4; Label137.caption:='м/с';
  s5:=FloatToStr(Reg); Label133.caption:=s5;
  s6:=FloatToStr(alfag); Label151.caption:=s6; Label152.caption:='Вт/м2К';
  s7:=FloatToStr(alfaprg); Label140.caption:=s7; Label153.caption:='Вт/м2К';
  s8:=FloatToStr(tvst); Label142.caption:=s8; Label154.caption:='град.С';
  s9:=FloatToStr(alfapr); Label144.caption:=s9; Label156.caption:='Вт/м2К';
  s10:=FloatToStr(alfa1); Label148.caption:=s10; Label155.caption:='Вт/м2К';
  s11:=FloatToStr(kto); Label146.caption:=s11; Label157.caption:='Вт/м2К';
  s12:=FloatToStr(ee); Label159.caption:=s12; Label160.caption:='%';
  s13:=FloatToStr(ee1); Label162.caption:=s13; Label163.caption:='%';
  s14:=FloatToStr(tst1); Label166.caption:=s14; Label167.caption:='град.С';
  s15:=FloatToStr(tkond); Label169.caption:=s15; Label170.caption:='град.С';
  s16:=FloatToStr(tsmol); Label172.caption:=s16; Label173.caption:='град.С';
  s17:=FloatToStr(tkond2); Label179.caption:=s17; Label180.caption:='град.С';
end;
```

РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Економічне обґрунтування інженерних рішень

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) дає змогу оцінити сукупність різноманітних технічних аспектів інвестиційного проекту та зробити відповідні висновки про техніко-технологічну, економічну обґрунтованість запропонованих проектних рішень. Інвестор не може ігнорувати цього етапу інвестиційного проектування, оскільки саме на ньому можна з'ясувати можливість технічного здійснення проекту з прийнятним рівнем витрат. Перед виділенням коштів на таке обґрунтування доцільно з метою мінімізації витрат на ТЕО здійснити попереднє оцінювання ідеї проекту за допомогою попереднього обґрунтування. Витрати на попереднє ТЕО становлять 0,25 – 1,5 % загальної вартості інвестиційного. ТЕО для невеликих промислових проектів становить до 3 % загальної вартості проекту; ТЕО у сфері великої промисловості або для проектів з дослідними технологіями чи складними ринками – 2 – 10 % .

Попереднє обґрунтування є проміжною стадією між вивченням проектних можливостей і докладним техніко-економічним обґрунтуванням. ТЕО повторює основні питання попереднього ТЕО, але більш детально опрацьовуються всі його розділи та аналізуються проектні альтернативи для головних компонентів обґрунтування.

Економічне обґрунтування інженерних рішень має певні особливості, тому повинно проводитись з врахуванням наступних вимог і умов:

1. Великомасштабні інженерні рішення мають міжгалузевий чи галузевий характер. Тому необхідно детально скласти схему їх міжгалузевих зв’язків для визначення загальної суми одноразових та поточних витрат по всіх організаціях, пов’язаних з кожним проектом.

2. Економічне обґрунтування інженерних рішень не повинне обмежуватись розрахунками ефекту, який буде одержано в рік завершення впровадження всього проекту. Такі розрахунки слід виконувати щорічно за тривалий період та визначити інтегральний ефект.

3. Розрахунок очікуваного інтегрального ефекту вимагає прогнозування рівня відповідних економічних показників на тривалий період, використовуючи методи екстраполяції даних.

4. Кожне інженерне рішення має свої особливості за обсягом впровадження, географією розміщення, структурою зв'язків тощо. Тому важливо підбирати аналоги для співставлення економічних показників при обґрунтуванні доцільності використання інновацій. Більш практичним вважають зосередження уваги на порівнянні різних варіантів конкретного інженерного рішення та виборі оптимального.

4. Визначення економічної ефективності варіанта інженерного рішення доцільно виконувати за допомогою спеціального балансового розрахунку, де капітальні вкладення відображають в часовому аспекті, поступовому переході в основні фонди з метою прискореного одержання доходу.

4.2. Техніко-економічне обґрунтування енергетичної утилізації біогазу

Техніко-економічне обгрунтування енергетичної утилізації біогазу (БГ) проводилося для полігонів твердих побутових відходів (ТПВ), які обслуговують міста з населенням від 100 тис. до 1 млн. жителів за умови виробництва електроенергії і продажу її в мережу за зеленим тарифом (ставка зеленого тарифу для біомаси - 1,26 грн/кВт·год (без ПДВ) з 01.07.2015 р. по 31.12.2019 р). Передбачалося, що норма утворення відходів складає 350 кг/рік на одного жителя, усі відходи вивозяться на полігон, термін експлуатації полігону 10 років, збір і утилізація БГ починається відразу після закриття полігону. У таблиці 4.1 приведена оцінка вартості компонентів системи збору і енергетич-ного використання біогазу з ТПВ в Україні.

Таблиця 4.1.

Оцінка вартості компонентів системи збору і енергетичного використання біогазу з ТПВ в Україні

Стаття витрат	Витрати
Підготовка проекту, розробка проектної документації	10% інвестиційних витрат
Будівництво системи збору газу	200 тис. грн./га
Рекультивація полігону	600 тис. грн./га
Компресорна станція (с газопідготовкою[1])	1000 тис. грн.
Когенераційна установка	
Підключення до мережі	500 тис. грн.
Газові двигуни-генератори	7500 грн./кВт

[1] Газопідготовка – осушування, видалення твердих часток

Ефективність збору біогазу визначається ефективністю роботи окремої свердловини (75%), коефіцієнтом технічної готовності системи збору (90%) і мірою покриття полігону системою збору. Останній параметр залежить від геометрії полігону, зростаючи для великих полігонів. Загальна ефективність збору, що використовувалась в розрахунках, склала від 57 до 63%.

Параметри полігону і основні техніко-економічні показники проекту приведені в таблиці 4.2 і на рис.4.1. Бачимо, що фінансові показники проекту залежать від масштабу проекту (річного завезення ТПВ або обслуговуваного населення). Рентабельність проектів швидко падає при зменшенні населення нижче 200 тис.

Таблиця 4.2.

Техніко-економічні показники утилізації БГ з виробництвом електроенергії

Населення	ТПВ	П	КВ	М	ВНР	ПТО	ДТО
тис. чол	млн. т	га	млн. грн.	$МВт_{эл}$	%	роки	роки
100	0,35	4,5	7,500	0,25	4,2	7,68	-
200	0,70	7,8	12,650	0,52	13,0	5,23	6,54
300	1,05	10,9	17,750	0,79	17,6	4,59	5,33
500	1,75	17,0	28,000	1,34	21,3	4,17	4,68
1 000	3,50	31,5	53,100	2,75	25,3	3,82	4,17

П - площа, КВ - капітальні витрати, ВНР - внутрішня норма рентабельності, ПТО - простий термін окупності, ДТО - дисконтований термін окупності.

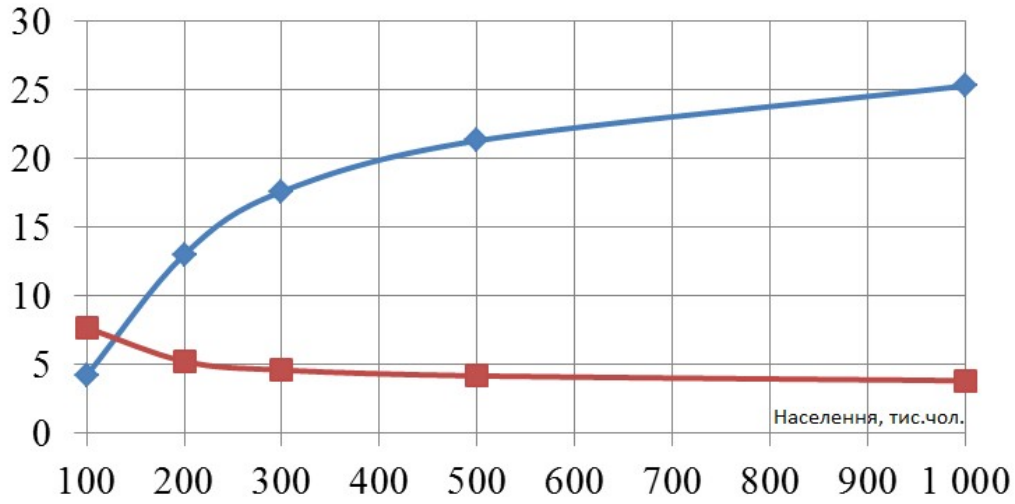

Рис. 4.1. Залежність ВНР і ПТО проекту від кількості обслуговуваного населення

На економічні показники істотно впливає вихід БГ - при зменшенні дебету БГ на 30-50% рентабельність зменшується в 2-3 рази. Тому правильна оцінка потенціалу газоутворення має велике значення для реалізації таких проектів. Аналіз чутливості, проведений для полігону з населенням 500 тис.чол (рис. 4.2) показав, що:

– економічні показники проекту найбільш чутливі до тарифів на електроенергію, при зниженні тарифу на 25% ВНР зменшується з 21 до 10%, проект стає фінансово непривабливим;

– іншим чинником є об'єм зібраного БГ, який залежить від якості експлуатації полігону на етапі заповнення, залишкового потенціалу на момент закриття полігону, міри окислення відходів, а також ефективності роботи системи збору БГ;

– швидкість розкладання ТПВ (параметр k) несуттєво впливає на фінансові показники проекту;

– ефективним способом поліпшення економічних параметрів проекту є зниження капітальних витрат, яке в першу чергу може бути досягнуте за рахунок зниження вартості підготовки поверхні полігону(рекультивації) або винесення її вартості за рамки проекту.

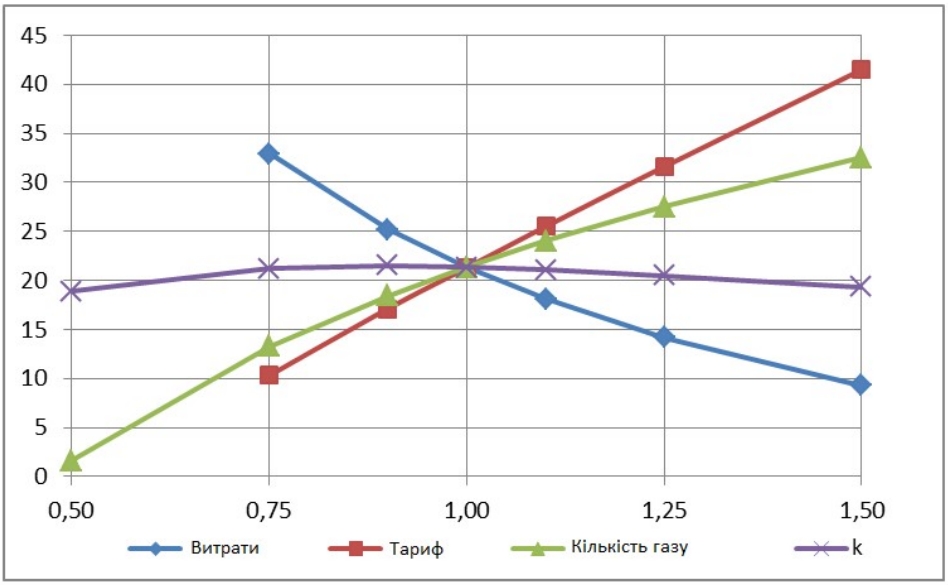

Рис. 4.2. Залежність ВНР від величини КВ, тарифів на електричну енергію, об'єму зібраного БГ і швидкості розкладання ТПВ

Оцінимо детальніше різні способи утилізації БГ для полігону, обслуговуючого 500 тисяч чоловік. Першим способом утилізації БГ розглянуто спалювання на факелі. До складу технологічної схеми спалювання включена система збору біогазу і факельна установка компанії *Hofstetter* (*HOFGAS - Ready*), як найчастіше використовуваний варіант устаткування у вже реалізованих проектах в Україні. Капітальні і експлуатаційні витрати по спалюванню БГ на факелі розраховувалися на підставі комерційних пропозицій виробників устаткування і питомих кошторисних вартостей будівництва елементів системи збору. Як джерело доходу приймався продаж одиниць скорочення викидів (ОСВ) від деструкції метану. Передбачалося, що ОСВ можуть бути реалізовані за ціною 100 грн. /т $CO_{2\text{-екв}}$ у рамках механізмів. Результати розрахунку витрат і економічні показники проекту представлені в таблиці. 4.3.

Наступним способом утилізації БГ розглянуто використання в двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) для виробництва електроенергії. До складу технологічної схеми проекту, окрім системи збору і факельної установки, включені два ДВЗ компанії *GE Jenbacher* потужністю 650 кВт кожен.

Капітальні і експлуатаційні витрати на ДВЗ оцінювалися за даними виробника. Передбачалося, що електроенергія продається в мережу за тарифом 0,82 грн/кВт·год без ПДВ. Також розглянутий потенційний варіант продажу за «зеленим тарифом», 11,98 грн/кВт·год без ПДВ. Крім того, розглянутий варіант продажу ОСВ (таблиця. 4.3).

В якості альтернативи використання БГ в ДВЗ були розглянуті капітальні і експлуатаційні витрати проекту подання БГ в котельню для виробництва теплової енергії. До складу технологічної схеми проекту входила система збору БГ, факельна установка, транспортний трубопровід до котельної завдовжки 1 км і пальник компанії *Weishaupt*, призначений для спалювання БГ. Витрати на будівництво магістрального трубопроводу оцінені на основі кошторисної документації подібного проекту, а капітальні і експлуатаційні витрати, пов'язані з пальником, отримані на підставі комерційної пропозиції виробника. Оцінювався прибуток від продажу біогазу в перерахунку на метан за ціною природного газу для комунальної сфери (КС) і промисловості (ПМ), які на момент проведення розрахунків складали 5,9 і 6,36 грн/м^3 відповідно (таблиця. 4.3).

Останнім варіантом розглянутий спосіб очищення БГ від домішок (вуглекислий газ і азот), його стискання і накопичення в резервуарі з метою продажу метану в якості палива для автомобілів. Технологічна схема проекту, окрім системи збору БГ і факельної установки, включала систему очищення (сепаратор, компресор, абсорбція і регенеративні очисні колони від вуглекислого газу, дожимний компресор, накопичувальний резервуар), а також газозаправну колонку. Капітальні і експлуатаційні витрати системи очищення і заправки отримані на підставі комерційних пропозицій. Економічні параметри проекту оцінені на підставі продажу метану за ціною 6,36 грн/м^3, а також з урахуванням ОСВ (таблиця. 4.3). Відмітимо, що доцільність використання біометану з ТПВ багато в чому визначається складом початкового біогазу, зокрема, вмістом в ньому азоту. У свою чергу, збільшення вмісту азоту у біогазі

може спостерігатися після пізніх стадій еволюції полігону або ж в результаті занадто активного газовідбору.

Таблиця 4.3.

Техніко-економічне обгрунтування різних способів утилізації БГ

Основні показники	Спалюв. на факелі	Утилізація в ДВЗ		Утилізація в котлах		Паливо для автомоб.
		Існуючі тарифи	Зелений тариф	Коммун. сфера	Пром.	
Теплова потужність, кВт Електр. потужність., кВт	4 000 -	1 404 1 250		3 000 -		- -
Капітальні витрати, млн. грн.	16,031	31,958		22,219		31,688
Експлуатаційні витрати, млн. грн.	1,087	1,703		1,139		2,672
Чиста приведена вартість, млн. грн.	-6,56	1,67	2,16	-0,56	- 2,83	7,21
Внутрішня норма рентабельності, %	-2	3	33	16	12	26
Простий термін окупності, років	>10	4,6	3,4	5,0	5,7	3,8

Легко переконатися, що усі способи утилізації БГ при прийнятих цінах є малопривабливими, оскільки мають простий термін окупності від трьох і більше років.

Використання «зеленого тарифу» на електроенергію в проектах утилізації БГ в ДВЗ виводить останні на прийнятний рівень рентабельності.

4.3. Висновки до розділу 4

Таким чином, аналіз альтернативних способів утилізації БГ - спалювання в котельнях і печах, заміщення природного газу (ПГ) - показав, що їх економічна привабливість залежить від вартості ПГ, що заміщається. Собівартість БГ в перерахунку на метан без урахування витрат на транспортування до споживача коливається від 1064 до3936 гривен за 1000 м^3 для проектів з населенням 100 і 1000 тис. відповідно. При застосуванні цін для промислових

підприємств і бюджетного сектора (6,88 грн/м^3 ПГ) навіть дрібномасштабні проекти рентабельні. У разі ж застосування цін для ЖКГ і населення (1,18-4,01 грн/ м^3 ПГ) навіть великі проекти є низькорентабельними.

Способи прямого заміщення ПГ, пов'язані зі збагаченням БГ (подача в газові мережі, автомобільне паливо), можуть бути доцільними тільки у виняткових випадках для великих проектів.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Охорона праці та техніка безпеки при виробництві біогазу та експлуатації біогазових установок

5.1.1. Заходи безпеки при виробництві біогазу

1. Біогаз за токсикологічною характеристикою відноситься до речовин 4 класу небезпеки відповідно до ГОСТ 12.1.007.

2. Біогаз відноситься до групи речовин, здатних утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші, для біогазу конкретного складу концентраційні межі спалахнення визначають відповідно до ГОСТ 12.1.044.

3. Нижню межу вибухонебезпеки суміші біогазу полігонів побутових відходів з повітрям приймають - 4%, верхню межу вибухонебезпеки - 12%. Категорія вибухонебезпечної суміші - IIA - T1.

4. Гранично допустима концентрація метану біогазу у повітрі робочої зони дорівнює 300 мг/м^3 в перерахунку на вуглець відповідно до ГОСТ 12.1.005. Гранично допустима концентрація сірководню в повітрі робочої зони - 10 мг/м^3, сірководню в суміші з метаном - 3 мг/м^3.

5. Вихлопні гази від когенераційної установки відводяться вихлопним трубопроводом в атмосферу на висоту, що забезпечує їх рівномірне розсіювання.

5. Звукоізоляція когенераційної установки здійснюється за допомогою шумозахисного капоту або контейнера у поєднанні з високоефективним глушником. Керування такими установками здійснюється з віддаленого пульту управління.

7. Замкнута система охолодження двигуна виключає утворення виробничих стоків та скид води у систему каналізації.

8. Пожежогасіння здійснюється первинними засобами пожежогасіння: встановленням повітряно-пінного вогнегасника з площею гасіння 30 м^2, встановленням ящика з піском. Крім того, для пожежогасіння мають бути використані засоби полігона, встановлені з розрахунку на 5000 м^2 один пожежний щит (стенд). Комплектацію щита треба приймати відповідно до НАПБ А.01.001.

9. Безпека персоналу забезпечується:

- використанням обладнання із закритими рухомими частинами;

- теплоізоляцією нагрітих поверхонь, в результаті чого температура в місцях, з якими можливо стикання, не може перевищувати 45^{O}С;

- конструктивним захистом від вибухів на всіх вузлах установки;

- споруди має обслуговувати спеціально навчений персонал та такий, що має кваліфікаційну групу відповідно до НПАОП 40.1-1.21.

Складання та затвердження інструкцій, умови їх перегляду здійснюють відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.15.

Проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці повинно проводиться відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до вимог НПАОП 0.004.01.

Заходи із захисту від шкідливого та небезпечного впливу статичної електрики треба здійснювати відповідно до НПАОП 0.00-1.29. Засоби захисту працівників від небезпечного та шкідливого впливу статичної електрики повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.124.

10. Заходи з охорони праці та техніки безпеки під час використання біогазу у когенерційних установках здійснюють з урахуванням вимог НПАОП 0.00-1.14, НПАОП 0.00-1.41, НПАОП 0.00-1.07, НПАОП 0.00-1.18, НПАОП 0.00-4.33, НПАОП 40.1-1.21.

5.1.2. Правила безпеки при експлуатації біогазових установок

Обладнання, яке використовує газ, по якому він подається, регулюється та обліковується, належить до об'єктів підвищеної небезпеки і вимагає особливої обережності при експлуатації. Біогаз це той же горючий газ, як і так природний газ, тільки в природному газі метану більше 90% а в біогазі - 45-75 %. Метан легший за повітря. При кімнатній температурі і нормальному атмосферному тиску практично не вступає в хімічні реакції. Другий значний за обсягом компонент біогазу - вуглекислий газ (CO_2).

На підприємствах, що використовують газ як паливо, наказом роботодавця призначаються особи, відповідальні за безпечну експлуатацію газового господарства, а для забезпечення нагляду за його технічним станом створюється газова служба, або ці функції по договору виконує районна служба газового господарства. Газопроводи, газорегуляторні пункти і газорегуляторні установки, що розташовані на території та в приміщеннях підприємства, працюють під тиском до 0,6 МПа. Тому їх експлуатацію треба здійснювати у відповідності із затвердженими Держнаглядохоронпраці України «Правилами безпеки в газовому господарстві».

Працівники, що експлуатують газові установки, проходять періодичну перевірку знань з безпечних прийомів роботи щорічно, а інженерно-технічні працівники – один раз на три роки.

Приміщення, де розташовують газові установки, обов'язково обладнуються спеціальними автоматичними звуковими та світловими індикаторами, або сигналізаторами наявності вибухонебезпечних концентрацій газу у повітрі, а також постійно діючою приточно-витяжною вентиляцією та аварійною вентиляцією.

Усі дефекти в роботі газових об'єктів усуваються тільки після припинення подачі газу. Місце роботи огороджують і охороняють. Роботи у газонебезпечних місцях повинні виконувати не менше двох робітників при

наявності протигазів, а у газових колодязях чи котлованах – ще й при наявності страхового пристрою.

5.2. Пожежна безпека

5.2.1. Можливі причини виникнення пожежі при експлуатації біогазових установок

Для виникнення горіння необхідна одночасна наявність трьох чинників - горючої речовини, окислювача та джерела запалювання. При цьому, горюча речовина та окисник повинні знаходитися в необхідному співвідношенні один до одного і утворювати таким чином горючу суміш, а джерело запалювання повинно мати певну енергію та температуру, достатню для початку реакції. Горючу суміш визначають терміном «горюче середовище». Це - середовище, що здатне самостійно горіти після видалення джерела запалювання. Для повного згоряння необхідна присутність достатньої кількості кисню, щоб забезпечити повне перетворення речовини в його насичені оксиди. При недостатній кількості повітря окислюється тільки частина горючої речовини. Залишок розкладається з виділенням великої кількості диму. В цих умовах також утворюються токсичні речовини, серед яких найбільш розповсюджений продукт неповного згоряння - оксид вуглецю (CO), який може призвести до отруєння людей. На пожежах, як правило, горіння відбувається за браком окисника, що серйозно ускладнює пожежегасіння внаслідок погіршення видимості або наявності токсичних речовин у повітряному середовищі. Горіння може бути гомогенним та гетерогенним.

При гомогенному горінні речовини, що вступають в реакцію окиснення, мають однаковий агрегатний стан - газо- чи пароподібний.

Якщо початкові речовини знаходяться в різних агрегатних станах і наявна межа поділу фаз в горючій системі, то таке горіння називається гетерогенним.

5.2.2. Заходи для запобігання виникнення пожежі

Як уже зазначалось, вибухопожежна безпека об'єкта забезпечується системами:

- попередження вибухів і пожеж;
- протипожежного та противибухового захисту;
- організаційно-технічних заходів.

Система попередження вибухів і пожеж має за мету не допустити виникнення вибухів і пожеж.

Заходи і засоби попередження утворення горючого середовища в кожному конкретному випадку визначаються реальними умовами, що розглядаються, вибухопожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що використовуються у технологічному циклі.

Попередження утворення горючого середовища може забезпечуватись загальними заходами або їх комбінаціями, що наведені в ГОСТ 12.1.007.-91.

Найбільш радикальним заходом попередження утворення горючого середовища є заміна горючих речовин і матеріалів, що використовуються, на негорючі та важкогорючі.

Тому попередження виникнення в горючому середовищі або внесення до нього джерел запалювання є головним стратегічним пріоритетом у роботі щодо запобігання пожежам. Джерелом запалювання може бути нагріте тіло чи екзотермічний процес, які здатні нагріти деякий об'єм горючої суміші до температури, коли швидкість тепловиділення ініційованого нагрівом процесу окислення перевищує швидкість тепловідводу із зони реакції.

5.3. Організація цивільної оборони на енергетичних об'єктах

Забезпечення безпеки та захисту населення в Україні, об'єктів економіки і національного надбання держави від негативних наслідків надзвичайних

ситуацій повинно розглядатися як невід'ємна частина державної політики національної безпеки і державного будівництва, як одна з найважливіших функцій центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної республіки Крим, місцевих державних адміністрацій, виконавчих органів рад.

Колишня цивільна оборона була комплексом загальнодержавних оборонних заходів, спрямованих на захист населення і об'єктів народного господдарства від застосування зброї масового ураження.

Сучасна цивільна оборона є державною системою органів управління, сил і засобів, яку створено для організації і забезпечення захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного, природного, екологічного і воєнного походження.

Чорнобильська катастрофа, інші тяжкі надзвичайні ситуації об'єктивно довели необхідність докорінних змін в призначенні цивільної оборони, формах її функціонування, забезпечення, фінансування та в інших сферах. Позачерговими кроками на шляху цих змін були такі, як вихід з-під протекторату Міноборони і підпорядкування системи Цивільної оборони органам влади, переміщення акцентів з воєнного призначення на завдання мирного часу, реформування і переоснащення сил відповідно до нового призначення.

Вирішальним кроком є прийняття Закону України «Про Цивільну оборону України» від 24 березня 1999 року, в якому держава виступає, як гарант права кожної людини на захист свого життя і здоров'я від наслідків аварій, катастроф, пожеж, стихійного лиха, створює систему цивільної оборони, яка має своєю метою захист населенні від наслідків аварій і катастроф техногенного, екологічного, природного та воєнного характеру, в статті 8 керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального та колективного захисту, організовує здійснення евакозаходів, створює сили для ліквідації наслідків НС та забезпечує їх готовність до практичних дій, виконує інші заходи з ЦО і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати в

порядку та обсягах, передбачених законодавством.

Закон України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» від 8 червня 2000 року визначає стратегічні напрями та засоби вирішення проблеми захисту населення, реальне створення територіальних і функціональних підсистем Єдиної державної системи запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного і природного характеру та реагування на них.

Цивільна оборона України є складовою частиною соціальних та захисних заходів, які проводяться в мирний і воєнний час з метою захисту населення і народного господарства від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха і сучасних засобів ураження.

Цивільна оборона України організовується за територіально-виробничим принципом на всій території і являє собою сукупність структур державного управління, підприємств, організацій і спеціально створених органів керівництва та сил цивільної оборони. Заходи цивільної оборони проводяться на всій терторії держави, як правило, заздалегідь, з врахуванням особливостей кожного району.

Основні завдання Цивільної оборони:

– походження і проведення заходів щодо зменшення збитків та втрат під час аварій, катастроф, вибухів, великих пожеж та стихійного лиха;

– оповіщення населення про загрозу і виникнення надзвичай-них ситуацій у мирний і воєнний час та постійне інформування його про наявну і обстановку;

– захист населення від наслідків аварій, катастроф, великих пожеж,

– стихійного лиха та застосування засобів ураження;

– організація життєзабезпечення населення під час аварій, катастроф, стихійного лиха та у воєнний час;

– організація і проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у районах лиха і осередках ураження;

– створення систем аналізу і прогнозування управління, оповіщення і зв'язку, спостереження і контролю за радіоактивним, хімічним бактеріологіч-

ним зараженням, підтримання їх готовності для сталого функціонування у надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу;

– підготовка і перепідготовка керівного складу цивільної оборони, її органів управління та сил, навчання населення вмінню застосовувати засоби індивідуального захисту і діяти в надзвичайних ситуаціях.

5.4. Забезпечення проведення рятувальних та інших невідкладних робіт

Всебічне забезпечення дій формувань – одна із вирішальних умов успішного проведення РіНР. Організація і проведення цієї роботи покладається на начальника ЦО, начальників служб і командирів формувань. Забезпечення дій формувань при проведенні РіНР включає; розвідку, радіаційний і хімічний захист, матеріальне, технічне та медичне забезпечення.

Безперебійне забезпечення формувань проводиться з метою отримання даних обстановки, зниження дії уражаючих факторів надзвичайних ситуацій та створення сприятливих умов для проведення РіНР.

Розвідка – основний вид забезпечення дій формувань. Вона організовується та ведеться з метою своєчасного добування даних про обстановку для прийняття рішення і успішного проведення РіНР в осередках ураження, в районах стихійного лиха, аварій та катастроф. Розвідка ведеться безперервно всіма формуваннями.

Організація розвідки – важливий обов’язок начальника ЦО об’єкта і командирів формувань. Командир формування (начальник штабу) ставить завдання розвідці, виділяє необхідні для цього сили і засоби і вказує, де зосередити основні зусилля.

Забезпечення радіаційно-хімічного захисту. Начальник ЦО об’єкта організовує та керує проведенням заходів щодо захисту формувань, а командири формувань забезпечують їх виконання. На це спрямовано ряд узгоджених заходів:

– організовують безперервну розвідку, чіткі дії за сигналами оповіщення, здійснюють інженерне улаштування районів розташування формувань враховуючи захисні властивості місцевості;

– здійснюють постійний контроль за зараженістю повітря та місцевості, безпекою формувань при діях у зонах формувань, завалів, пожеж, зараження, затоплення, проведенням профілактичних заходів. Важливе значення в системі. захисних заходів відведено санітарній обробці особового складу формувань, знезараженню техніки та майна, а також забезпеченню формувань засобами захисту.

Начальник ЦО об’єкта організовує та керує проведенням заходів радіаційного і хімічного захисту, а командири формувань забезпечують виконання усіх заходів.

Командир формування при організації захисту вказує:

– як організувати і вести розвідку;

– сигнали оповіщення;

– обсяг та терміни інженерного улаштування районів розташування;

– порядок проведення контролю на зараженість;

– міри безпеки, обсяг робіт, сили та засоби, що необхідні для ліквідації наслідків НС;

– де і коли проводити спеціальну обробку.

Матеріальне забезпечення передбачає організацію і здійснення своєчасного та в повному обсязі постачання формувань технікою, засобами захисту, зв’язку, приладами радіаційної і хімічної розвідки та іншими засобами, необхідними для проведення РіНР і вирішення завдань ЦО.

Технічне забезпечення організовується для підтримування у справному стані і в постійній готовності до використання усіх видів автотранспортної, інженерної та іншої техніки. Завдання технічного забезпечення: організація евакуації та поточного ремонту техніки, постачання формувань запасними частинами і ремонтними матеріалами та технічне обслуговування машин.

Технічне забезпечення організовує командир формування. У своєму розпорядженні він вказує: терміни готовності техніки до виконання завдань; залучені сили та засоби для ремонту та евакуації техніки; порядок поповнення запасними частинами і ремонтними матеріалами; місця розгортання збірних пунктів пошкоджених машин; порядок управління та зв’язку.

Медичне забезпечення організовується та здійснюється для збереження здоров’я і працездатності особового складу формувань, своєчасного надання медичної допомоги пораненим і хворим, їх евакуація, лікування та найшвидше повернення до лав діючих, а також для попередження виникнення інфекційних захворювань серед особового складу формувань. Медичне забезпечення передбачає: лікувально-профілактичні, санітарно-гігієнічні, протиепідемічні і лікувально-евакуаційні заходи. Ці заходи проводяться медичною службою Цивільної оборони об’єкта на усіх етапах дій формувань.

Медичний пункт при проведенні РІНР розгортається безпосередньо на ділянці (об’єкті) робіт формування, на місці, яке зручне для перенесення ураженого особового складу на транспорт і забезпечує його захист в умовах надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 6

ЕКОЛОГІЯ

6.1. Вплив застосування біогазу з полігонів ТПВ на навколишнє середовище

В даний час потік твердих побутових відходів, що поступає щорічно в біосферу, досяг майже геологічного масштабу і складає близько 400 млн. тон на рік. Вплив потоку ТПВ гостро позначається на глобальних геохімічних циклах ряду біофільних елементів, зокрема органічного вуглецю. Так, маса цього елементу, що поступає в навколишнє середовище з відходами, складає приблизно 85 млн. тон в рік, тоді як загальна природна притока вуглецю в ґрунтовий покрив планети складає лише 41,4 млн. тон в рік.

Будь-який полігон твердих побутових відходів є великий біохімічний реактор, в надрах якого в процесі експлуатації, а також протягом декількох десятиліть після закриття в результаті анаеробного розкладання відходів рослинного і тваринного походження утворюється біогаз. Біогаз є сумішшю метану і вуглекислого газу приблизно в рівній пропорції. Домішки інших газів незначні і зазвичай не перевищують 1%.

Макрокомпонентами біогазу є метан (CH_4) і діоксид вуглецю (CO_2) їх співвідношення може мінятися від 40-70% до 30-60% відповідно. У істотно менших концентраціях, на рівні перших відсотків присутні як правило - азот (N_2), кисень (O_2), водень (H_2). Як мікродомішки до складу біогазу можуть входити десятки різних органічних сполук.

Біогаз неминуче потрапляє в атмосферу, що викликає ряд негативних наслідків. Відомо багато випадків отруєння при технічному обслуговуванні поглиблених інженерних комунікацій. Накопичення газу в тілі звалища часто викликає самозагоряння ТПВ. Процес горіння супроводжується утворенням

токсичних речовин, зокрема, діоксину. Останнім часом особливу актуальність придбали парникові властивості метану, що міститься в біогазі, у зв'язку з проблемою потепління земного клімату. Це додає йому глобальну значущість і робить його об'єктом пильної уваги світової спільноти.

Вільне розповсюдження біогазу в навколишньому середовищі викликає ряд негативних ефектів як локального, так і глобального масштабів, обумовлених його специфічними властивостями.

При накопиченні біогазу можуть формуватися вибухо - пожеженебезпечні умови в будівлях і спорудах, розташованих поблизу поховань ТПВ. Часті пожежі на полігонах також в основному є наслідком стихійного, безконтрольного розповсюдження біогазу.

Накопичення біогазу в замкнутих просторах також небезпечно з токсикологічної точки зору, і надає згубну дію на рослинний покрив.

Вільне розповсюдження біогазу приводить також до забруднення атмосфери прилеглих територій, токсичними і такими, що погано пахнуть з'єднаннями. І нарешті, як вже наголошувалося, складові біогазу є парниковими газами, які підсилюють ефект зміни клімату Землі в цілому.

В результаті реалізації цього проекту відбудуться наступні потенційні екологічні ефекти:

Людина

Збір і утилізація біогазу скоротить ризики вибухів і отруєння жителів довколишніх територій і працівників полігону.

При цьому існує декілька ризиків, пов'язаних з дією факела і газогенераторної установки, подібних до будь-яких інших індустріальних ризиків, при використанні джерела вогню. Запобіжники на факелі і газогенераторній установці зменшать цей ризик.

Флора і фауна

Консервація полігону скоротить присутність птахів, що шукають здобич і продовольство, зменшить кількість паразитів і джерел хвороб. Проект також

зменшить виділення в атмосферу метану, що знищує рослинність в безпосередній близькості з полігоном.

Повітря

Завдяки високопродуктивному згоранню гарантовано майже повне руйнування газів. При цьому виділення шкідливих газів буде набагато меншим, ніж у разі відсутності проекту.

Встановлене устаткування не чинить ніякого істотного шуму, оскільки воно буде розміщено в шумоізольованому контейнері або будівлях, які будуть побудовані із застосуванням звукоізоляційних матеріалів.

Ландшафт

Покриття поверхні полігону ізолюючим матеріалом сприятиме кращій узгодженості панорами полігону з навколишнім ландшафтом. Присутність газогенераторної установки, шум і вібрація будуть обмежена локалізацією полігону.

Полігон твердих побутових відходів - це своєрідний реактор, у надрах якого, за анаеробних умов, відбувається розкладання залишків органічного походження. В результаті процесу розкладання утворюється біогаз, неконтрольна емісія якого в навколишнє середовище призводить до негативних наслідків як локального, так і глобального характерів. Біогаз з полігону ТВП є причиною підвищеної пожежо- та вибухонебезпечності звалищ ТПВ, пригнічує розвиток рослинного покриву, має здатність заповнювати підземні комунікації й цим самим створювати погрозу для життя людини. На глобальному рівні біогаз є одним з основних факторів, що призводять до посилення парникового ефекту на планеті. Крім того, необхідно зазначити, що полігон ТПВ є джерелом емісії неметанових органічних сполук, які формують на полігоні та на навколо його специфічний негативний запах.

Система дегазації полігону ТПВ передбачає:

– будівництво й конструктивну облаштованість газозбиральних свердловин;

– прокладання газових трубопроводів;

– установку колекторів;

– установку фільтратовідокремлювачів;

– монтаж вузла видобування, обліку й утилізації біогазу.

У заздалегідь пробурені свердловини встановлюються перфоровані труби й зв'язуються мережею магістральних трубопроводів. За допомогою вакуумного насоса біогаз із тіла полігону подається до пункту утилізації, де встановлене обладнання по моніторингу кількості зібраного газу. Проектом передбачена установка фільтратовідокремлювачів, які будуть збирати фільтрат, що утворився в магістральних трубопроводах та повертати його в тіло полігону. Це буде підвищувати величину вологості відходів і таким чином сприяти поліпшенню газоутворення.

Основним способом утилізації біогаза буде виробництво електроенергії за рахунок спалювання біогазу у двигунах внутрішнього згорання. Електроенергія може бути використана для забезпечення власних потреб полігону ТВП та для продажу у мережу електропостачання.

Використання передбаченої проектом технології дозволить:

– проводити добування біогазу в темпах його утворення протягом усього строку експлуатації полігонів ТПВ;

– скоротити емісію парникових газів в атмосферу з полігону;

– підвищити безпеку умов експлуатації полігону ТПВ;

– запобігти поширенню неприємного запаху шляхом руйнування основних летких органічних сполук.

Впровадження системи дегазації для полігону ТПВ дозволить значно підвищити безпечність його експлуатації, частково нормалізувати стан навколишнього середовища навколо нього, а також буде сприяти виконанню положень Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату.

6.2. Оцінка скорочень викидів парникових газів в результаті реалізації проекту

Викиди за проектом складаються з викидів метану, який не утилізувався (з непокритою системою збору біогазу площі полігону, втрат при зборі біогазу), викидів від утилізації біогазу і викидів в процесі будівництва системи збору та утилізації біогазу. Маса вуглекислого газу, який виділяється у складі біогазу, участі в розрахунках не бере, оскільки залишається незмінною як при базовому, так і при проектному варіанті.

В проектному варіанті площа полігона буде покрита системою збору та утилізації біогазу на 80%. Ефективність системи збору складе 75%. Викидів від утилізації біогазу при виробленні електроенергії дорівнюють 0%. Викиди в процесі будівництва системи збору та утилізації біогазу не враховуються, оскільки вони не значущі.

При проведенні розрахунків прогнозованих викидів проекту реальні вологість, тиск і температура біогазу прийняті як нормальні.

Таким чином, прогнозовані викиди проекту (PE_y) розраховані по формулі:

$$PE_y = BE_{CH4} \cdot (1 - \varepsilon_P), \quad (6.1)$$

де BE_{CH4} - викиди із полігону CO_2, т;

ε_P – ефективність системи збору та утилізації біогазу.

Враховуючи, що $\varepsilon_p = 0,8 \cdot 0,75 = 0,6$ для розрахунку витоків проекту можливо використати формулу (7.1) в наступному вигляді:

$$PE_y = BE_{CH4} \cdot (1 - 0,6) = 0,4 \cdot BE_{CH4} \quad (6.2)$$

Дані розрахунків представлено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1.

Скорочення викидів за проектом

Роки	BE_{CH4}, т	PE_y, т
2013	34 992	13996,8
2014	33 512	13404,8
2015	32 102	12840,8
2016	30 259	12103,6
2017	28 994	11597,6
2018	27 788	11115,2
2019	25 250	10100,1
2020	22 840	9136,4
Разом	**235737**	**94295**

Висновки

Збір біогазу і його утилізація мають істотний позитивний вплив на стан навколишнього середовища. Скорочується емісії парникових і вибухонебезпечних газів, неприємних запахів від газів і від пожеж, що викликаються ними, запобігають вибухи, знижується збиток, що наноситься живій природі.

Додатково, проект проводитиме:

– позитивний вплив на клімат і якість повітря;

– позитивний вплив на навколишню флору і фауну;

– поліпшення умов для життя і роботи місцевих жителів і працівників полігону.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що теоретично можливий потенціал генерації біогазу визначається кількістю вивезених на полігони України ТПВ і долі ТПВ, що розкладаються в аеробних умовах без утворення метану. Технічно досяжний потенціал збору БГ визначається ефективністю збору БГ на полігонах різної величини. Економічний потенціал енергетичної утилізації БГ визначається доцільністю використання БГ на полігонах, обслуговуючих міста з населенням не менше 100 тисяч мешканців.

2. Розглянуто існуючі технології отримання біогазу з діючих та закритих полігонів твердих побутових відходів.

3. Запропоновано схеми утилізації біогазу для полігону твердих побутових відходів, що обслуговує населений пункт з населенням 500 тисяч чоловік, з одночасним виробництвом електричної чи теплової енергії

4. Доведено, що економічна привабливість біогазу залежить від вартості природного газу, що заміщається. Собівартість біогазу в перерахунку на метан без врахування витрат на транспортування до споживача коливається від 1064 до 3936 гривень за 1000 м^3 для проектів із населенням 1 млн. і 100 тис. відповідно. При застосуванні цін для промислових підприємств і бюджетного сектору (6,88 грн/м^3 природного газу) навіть дрібномасштабні проекти рентабельні. У разі ж застосування цін для ЖКГ і населення (1,18-4,01 грн/ м^3 природного газу) ці проекти є низькорентабельними. Способи прямого заміщення природного газу, пов'язані із збагаченням біогазу (подача в газові мережі, автомобільне паливо), можуть бути доцільними тільки у виняткових випадках для великих проектів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бабаев В. Н. Энергетический потенциал метанообразования при мезофильном анаэробном разложении органической составляющей отходов [Текст] / В. Н. Бабаев, Н. П. Горох, И. В. Коринько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. - 4/6 (52). – с.59-65

2. Березюк О. В. Виявлення параметрів впливу на питомий об'єм видобування звалищного газу [Текст] / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту.– 2012. – № 3. С.20-23. УДК 662.767.241. – ISSN 1997-9266.

3. Бородай Г. И. Пособие по мониторингу полигонов твердых бытовых отходов./ Г. И. Бородай. – Донецк: Тасис, 2004.

4. Бичелдей Т. К. Биогаз как антропогенный фактор воздействия на популяцию человека, проживающего вблизи полигонов твердых бытовых «Самосырово» и «Каргашино» [Текст]: дис. … канд. биолог. наук: 03.02.08 / Бичелдей Тайра Каадыр-Ооловна. - Москва, 2011. – 199 с.

5. Бучинська А. В Дослідження складу біогазу на полігонах твердих побутових відходів Львівської області [Електронний ресурс] / А. В. Бучинська [та ін.] // Материалы 6-й Международной конференции WasteEco: сотрудничество для решения проблемы отходов, 8-9 апреля 2009 г., Харьков, Украина. – Режим доступу: http://waste.ua/eco/2009/municipal-waste/biogas

6. Гелетуха Г. Г. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине [Текст] / Г. Г. Гелетуха, З. А. Марценюк // Экотехнологии и ресурсосбережение . — 1999. – № 4. – С. 6-14.

7. Державні будівельні норми України. Проектування. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування. ДБН В.2.4-2-2005 //

Київ: Держбуд України, 2005. – 49 с.

8. Дмитренко Л. В. Результаты инвентаризации парниковых газов в секторе «отходы» для национального кадастра парниковых газов [Текст] / Л. В. Дмитренко, М. В. Березницкая, С. Л. Барандич // Наукові Праці УкрНДГМІ. –2007. – Вип. 256. – С. 331-345

9. Ефремова Т. В. Исследование и оптимизация системы сбора биогаза на полигонах твердых отходов в целях обеспечения экологической безопасности [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 03.00.16, 05.23.03 / Ефремова Татьяна Васильевна; Волгоградский гос-ный архитек.-строит. ун-те. - Волгоград, 2004. – 148 с.

10. Каллистова А. Ю. Аэробное окисление метана в покрывающей почве полигона твердых бытовых отходов [Текст]: дис. … канд. биолог. наук: 03.00.07 / Каллистова Анна Юрьевна; Ин-ут микробиологии им. С. Н. Виноградского. - Москва, 2007. – 141 с.

11. Кожухар В. Я. Емісія звалищного газу з полігону твердих побутових відходів «Дальницькі кар'єри» [Текст] / В. Я. Кожухар, Д. В. Миронов, О. А. Стратулат // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. – Вип. 2(22). – С.1-5

12. Костарев С. Н. Математическая модель управления состоянием полигона твердых бытовых отходов [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 05. 13. 18 / Костарев Сергей Николаевич; Пермский ин-ут Московского гос-ного ун-та коммерции. – Томск, 2004. – 199 с.

13. Кучерявий В. П. Полігони твердих побутових відходів західного лісостепу Україні та проблеми їх фіто меліорації [Текст] / В. П. Кучерявий, В. В. Попович // Науковий вісник НЛТУ України. –2012. – Вип.22.2. – С.56-66

14. Куцый Д. В. Тенденции развития технологий энергетической утилизации биогаза с производством электроэнергии на полигонах ТБО [Текст] / Д. В. Куцый, Ю. Б. Матвеев, А. Ю. Пухнюк // Пром. теплотехника . – 2011. – Т. 33. - № 6. – С. 64-72.

15. Куцый Д. В. Экономические аспекты использования биогаза из ТБО [Электронный ресурс]: труды 6-й Международной конференции "Энергия из биомассы" / Д. В. Куцый, Ю. Б. Матвеев, И. М. Мушинская. — К.: ООО "Биомасса", 2010. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Систем. требования: 128 Mb RAM; CD-ROM ; Windows 2000–2003/XP; Flash Player 8; Internet Explorer; Acrobat Reader 7.0. — Название с перечня материалов.

16. Лиллепярг Е. Р. Методика определения энергетического потенциала полигонов твердых бытовых отходов [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 05.14.08 / Лиллепярг Елена Руубеновна; С.-Пб. гос-ный политех. ун-т. – Санкт-Петербург, 2004. – 116 с.

17. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990–2009 гг. / Панченко Г. Г. [и др.] – К.: Гос-экоинвестагентство, 2011. — 551 с.

18. Максимова С. В. Геоэкологические основы освоения территории закрытых свалок и полигонов захоронения твердых бытовых отходов [Текст]: дис. … д-ра техн. наук: 11.00.11 / Максимова Светлана Валентиновна; Перм. гос-ный техн. ун-т - Пермь, 2004. – 244 с.

19. Матвеев Ю. Б. Энергетическое использование ТБО как средство решения проблем управления отходами [Текст] / Матвеев Ю. Б., Гелетуха Г. Г. // Альтернативное топливо. — 2011. — Т. 41-42. - № 1-2. — С. 14-21.

20. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов. [Электронный ресурс] / [Н. Ф. Абрамов [и др.]. – М.: 2004. – Режим доступа: http://www.gostrf.com/Basesdoc/47/47223/index.htm

21. Перфилов Е. Д. Снижение антропогенного воздействия полигонов твердых бытовых отходов на воздушную среду [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 03.00.16 / Перфилов Евгений Владимирович; Волгоградский гос-ный архитек.-строит. ун-те. - Волгоград, 2006. – 140 с.

22. Попович О. Р. Проблеми утилізації твердих побутових та промислови відходів Львівської області [Електронний ресурс] / О. Р. Попович, О. Р. Ярема // http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Vnulp/Ximia/2008_609/64.pdf

23. Пухнюк А. Ю. Исследование газообразования на старых украинских полигонах твердых бытовых отходов // Пром. теплотехника. — 2012. — Т. 34. – № 4. — С. 83-93.

24. Пухнюк А. Ю. Моделирование газообразования на полигонах твердых бытовых отходов Украины [Текст] / А. Ю. Пухнюк, Ю. Б. Матвеев. // Промышленная теплотехника. — 2012. — Т. 34. — № 7. — С. 108-122.

25. Пятничко А. И. Результаты обследования полигонов ТБО Украины для установления объемов добычи и состава биогаза [Текст] // А. И. Пятничко, Г. В. Жук, В. Е. Баннов // Технические газы. — 2010. — № 2. – С.63-66.

26. Ситник О. І. Просторово-часовий аналіз динаміки режиму зволоження та аридизації на прикладі міжзонального екотону правобережного лісостепу і степу україни. Природні і антропогенні ландшафти у сфері природокористування Наукові записки [Текст] / О. І. Ситник. - 2010. - № 1.

27. Скрипник А. П. Анализ морфологического состава твердых бытовых отходов Украины как составляющая подхода к решению проблемы отходов [Текст] / Скрипник А. П. // Вісник Одеського державного екологічного університету. — 2007. — Вип. 4. — С. 78–86.

28. Федоров П. М. Мониторинг геоэкологической системы «полигонов твердых бытовых отходов» [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 25.00.36 / Федоров Петр Михайлович; С.-Пб. гос. политехн. ун-т. - Санкт-Петербург, 2005. – 130 с.

29. Фізична географія України. 8 клас. Дидактичні матеріали для формування предметної компетентності учнів. Методичний посібник для вчителів [Текст] – Харків: Видавнича група “Основа”, 2009. – Частина 1. - 90 с.; частина 2. – 112 с.

30. Черемисин А. В. Методика расчета теплового режима искусственных геосистем (на примере полигонов твердых бытовых отходов) [Текст]: дис. …

канд. техн. наук: 25.00.36 / Черемисин Алексей Владимирович; С.-Пб. гос. политехн. ун-т - Санкт-Петербург, 2004. – 112 с.

31. Шаимова А. М. Повышение экологической безопасности полигонов твердых бытовых отходов путем оптимизации производства биогаза [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 03.00.16 / Шаимова Алсу Маратовна; Уфим. гос-ный нефт. техн. ун-т. - Уфа, 2009. – 178 с.