

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**  
другий (магістрський) рівень  
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз ефективності використання когенераційних установок на  
промисловому підприємстві

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1411  
спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації   
(код і назва спеціалізації)  
освітньої програми 141.00.11 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
(назва освітньої програми)

Ревков А.А.  
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Єрофєєва А.А.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Коваленко В.Л.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти другий (магістрський) рівень \_\_\_\_\_  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

д.т.н., доц. /з/ В.Л. Коваленко

« 01 » грудня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

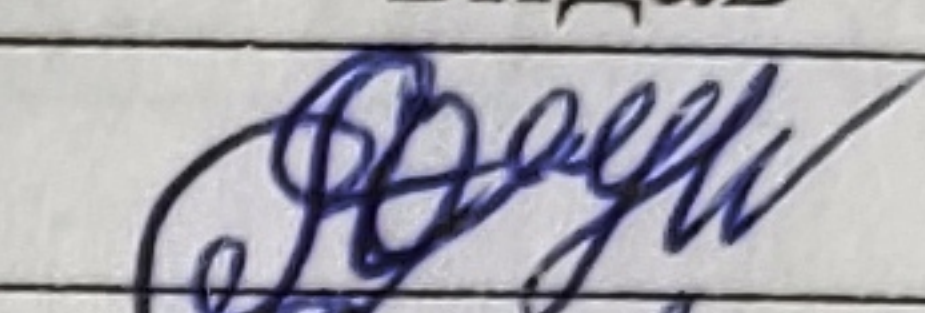
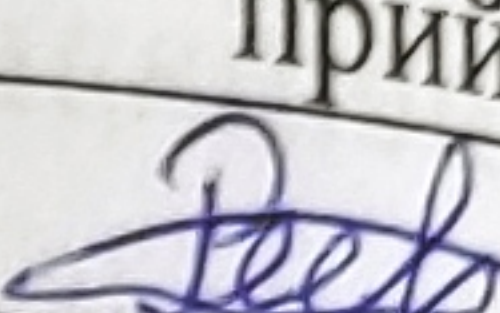
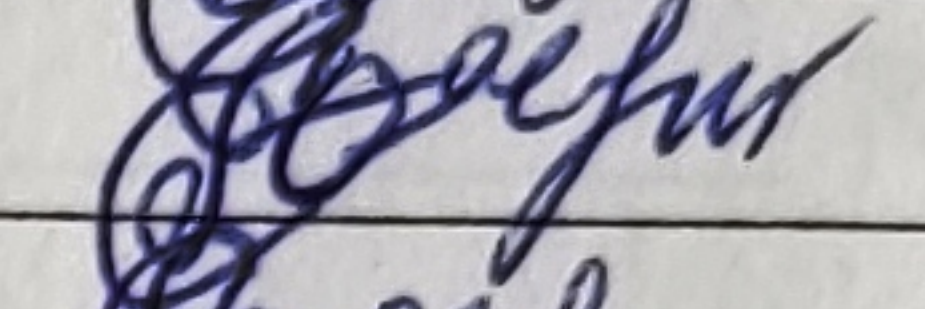
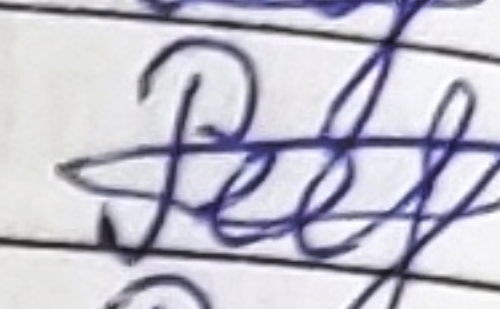
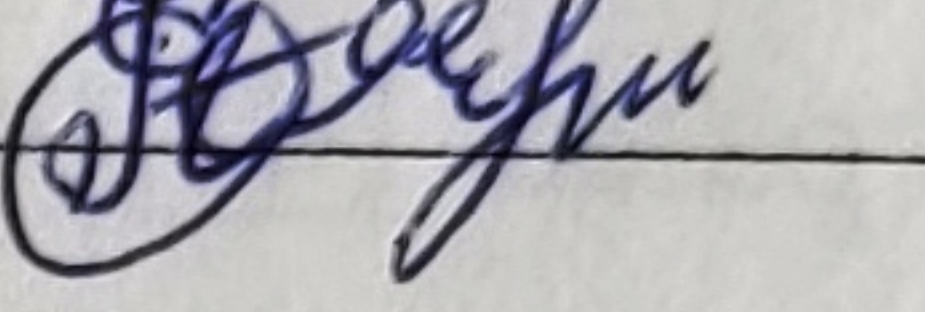
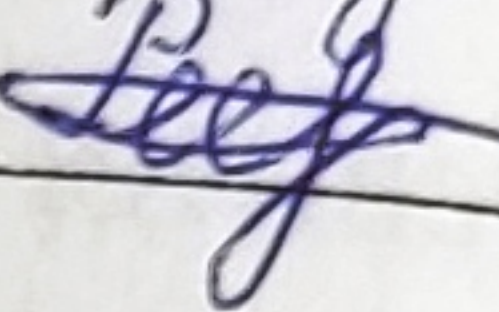
Ревков Андрій Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи «Аналіз ефективності використання когенераційних установок на промисловому підприємстві»  
керівник роботи Єрофєєва Аліна Анатоліївна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом ЗНУ від « 02 » червня 2022 року № 597 - с
- 2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2022 р.
- 3 Вихідні дані до роботи : споживання електричної енергії обладнанням ад'юстажа сортових станів ПрАТ «Дніпроспецсталь», властивості компонентів перетворювача SINAMICS S120, схема підключення мережі Profibus.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз когенераційних установок. 2) Розробка заходів щодо енергетичного потенціалу полігону для вироблення електричної енергії. 3) Техніко-економічні показники запропонованого заходу.
- 5 Перелік графічного матеріалу 1) Динаміка зростання біогазових потужностей в Україні. 2) Ситуаційна карта-схема району розміщення полігону ТПВ м.Енергодар. 3) Розрахунок кількості метану, що утворюється. 4) Розрахунок проектної потужності об'єкту проектування. 5) Технічні характеристики понижуючого трансформатора. 6) Порівняльний аналіз ринку газопоршневих установок. 7) Технічні характеристики газопоршневої

генераторної установки Caterpillar G3406LE-190. 8) Техніко-економ  
показники запропонованих заходів.

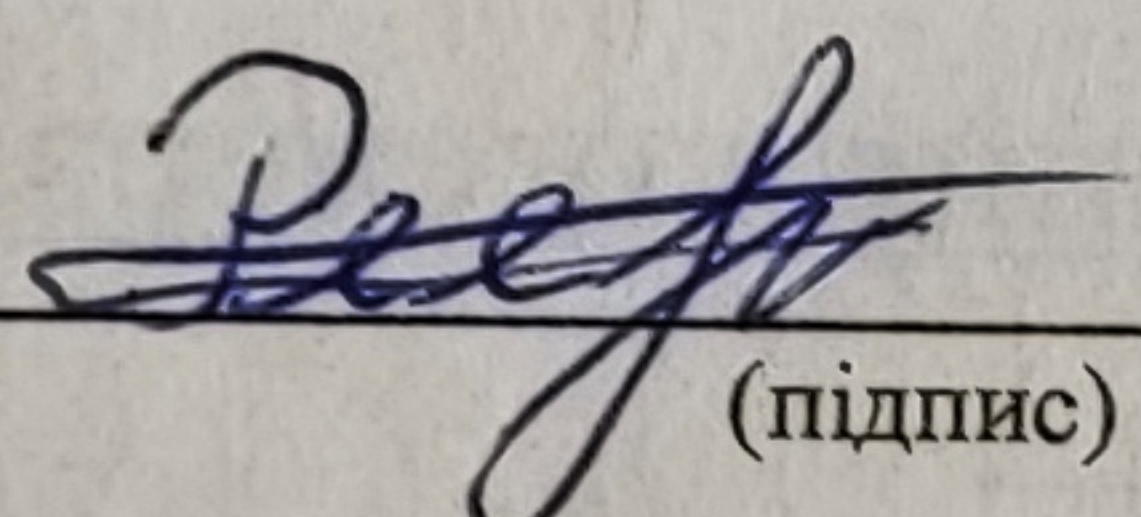
### 6 Консультанти розділів роботи

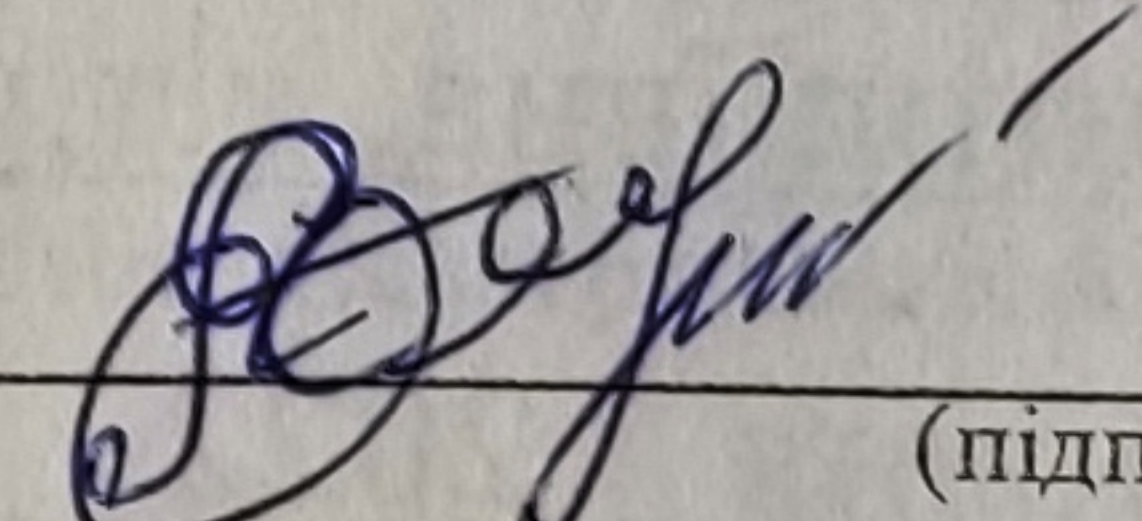
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент		
Розділ 2	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент		
Розділ 3	Єрофєєва А.А. к.т.н., доцент		

7 Дата видачі завдання 01.09.2022 р.

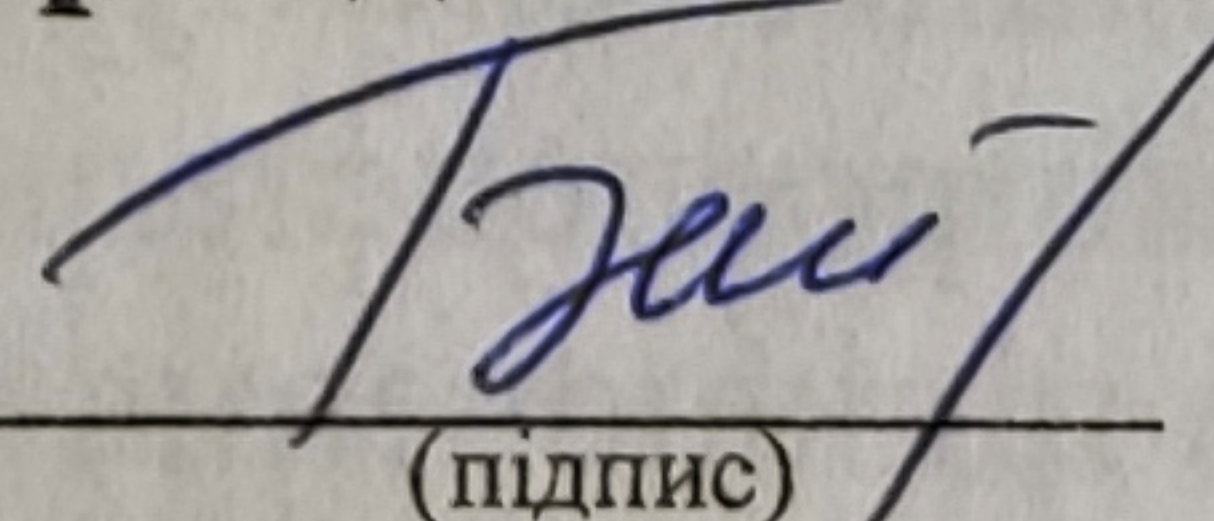
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз когенераційних установок	30.09.2022	
2	Розробка заходів щодо енергетичного потенціалу полігону для вироблення електричної енергії.	30.10.2022	
3	Техніко-економічне обґрунтування показників запропонованого заходу	19.11.2022	

Студент  (підпис) Ревков А.А. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи  (підпис) Єрофєєва А.А. (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер  (підпис) С.В. Башлій (ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Ревков А.А. Аналіз ефективності використання когенераційних установок на промисловому підприємстві.

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник А.А.Єрофєєва. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2022.

Проведено аналіз конструктивних особливостей когенераційних установок, запропоновано будівництво системи збору і утилізації біогазу на полігоні твердих побутових відходів . У роботі пропонується використання біогазу в якості альтернативного палива для газопоршневого електроагрегату з метою виробництва електричної енергії.

Проведений аналіз ринку газопоршневих установок та для проекту обрана газопоршнева генераторна установка G 3406 LE – 190 компанії «Caterpillar».

Ключові слова: ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ГЕНЕРАТОРНА УСТАНОВКА, БІОГАЗ, КОГЕНЕРАЦІЙНА УСТАНОВКА

## ABSTRACT

Revkov A.A. Analysis of the effectiveness of using cogeneration units at an industrial facility.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, supervisor A.A. Yerofieieva. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2022.

An analysis of the design features of cogeneration plants was carried out, the construction of a biogas collection and utilization system at the solid household waste landfill was proposed. The work proposes the use of biogas as an alternative fuel for a gas-piston electric unit for the purpose of producing electricity.

An analysis of the market of gas piston units was carried out and the gas piston generator set G 3406 LE - 190 of the company "Caterpillar" was selected for the project.

Keywords: TRANSFORMER SUBSTATION, LOSSES OF ELECTRIC ENERGY, GENERATING PLANT, BIOGAS, COGENERATION PLANT

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз когенераційних установок.....	9
1.1 Класифікація та основні показники когенераційних установок.....	9
1.2 Аналіз біогазового потенціалу полігону твердих побутових відходів.....	16
1.3 Аналіз ринку газопоршневих установок для використання біогазу.....	25
2 Розробка заходів щодо використання енергетичного потенціалу полігону для вироблення електричної енергії .....	39
2.1 Схема прийнятих технічних заходів.....	39
2.2 Характеристика обладнання вузла утилізації біогазу.....	43
2.3 Розрахунок потужності об'єкту проектування.....	49
2.4 Організація будівництва.....	64
3 Техніко- економічні показники запропонованого заходу.....	68
3.1 Характеристика інноваційного проекту.....	68
3.2 Розрахунок економічної ефективності інноваційного проекту .....	70
Висновки.....	76
Перелік посилань.....	78
Додаток А.....	82

## ВСТУП

*Актуальність роботи.* Енергетична ефективність біоенергетики достатньо висока для того, щоб можна було виділити її до окремого напрямку енергетичного господарства. В Україні є необхідний енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і необхідні науково-технічна а також промислова база задля розвитку вказаної області енергетики.

На території Запорізької області щорічно утворюється понад 5,5 млн. тон промислових відходів, з яких переробляється більше одного млн. тон і знешкоджується близько 4 тис. тон. Загальна кількість промислових і побутових відходів, накопичених у сховищах організованого складування області, в даний час становить близько 150 млн. тон.

Приймаючи до уваги фактори негативного впливу біогазу на навколишнє середовище (з однієї сторони), а також енергетичну цінність (з другої сторони), стає актуальною задача збору та утилізації біогазу на полігонах ТПВ. Основним способом, який забезпечує вирішення цього завдання, являється технологія «екстракції» (дегазації) масиву звалища.

Впровадження системи збору та спалювання біогазу зменшує викиди метану в атмосферу. У разі виробництва енергії, додаткові скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферу будуть отримані шляхом заміни частини електричної енергії з викопного палива електроенергією, що вироблена з біогазу.

*Мета роботи* - Аналіз ефективності використання когенераційних установок на промисловому підприємстві

*Задачі дослідження.* Для досягнення зазначеної мети дослідження в магістерській роботі вирішуються такі задачі:

- аналіз когенераційних установок;
- аналіз біогазового потенціалу полігону твердих побутових відходів у м. Енергодар;
- аналіз ринку газопоршневих установок для використання біогазу;

- розробка заходів щодо використання енергетичного потенціалу полігону для вироблення електричної енергії ( розрахунок потужності об'єкту проектування, розробка системи збору біогазу і використання його енергетичного потенціалу );
- розрахунок економічної ефективності інноваційного проекту.

*Апробація роботи.* Результати роботи представлені на II Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» 18-20 жовтня 2022 р.

*Структура та обсяг роботи.* Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилання з 31 позиції. Загальний обсяг складає 94 сторінки, у тому числі 10 ілюстрації та 21 таблиця.



## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК

### 1.1 Класифікація та основні показники ефективності когенераційних установок

Поняття "когенерація" (від англ. "cogeneration" або "CHP - Cogeneration Heating Power"), "когенераційна установка" з'явилися порівняно нещодавно і обумовлено це розвитком нових технологій в енергетиці, які характеризуються вищою термодинамічною та енергетичною ефективністю [1–4].

Законом України "Про комбіноване вироблення теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання знижкового енергопотенціалу" термін "когенерація" визначається як "спосіб одночасного виробництва електричної та теплової енергії в рамках одного технологічного процесу в результаті згоряння палива" [5]. Але й давно прийнятий і широко використаний термін "теплофікація" також характеризує "централізоване теплопостачання з урахуванням комбінованого виробництва електроенергії та тепла на ТЕЦ" [6].

Оскільки й когенерація і теплофікація означають комбіноване виробництво електроенергії та теплоти (на відміну від роздільного, при якому електроенергія виробляється на електростанції, а теплота – у котельнях), виникає питання: чому використовуються різні поняття, хоча вони характеризують однакову технологію?

Існують численні підходи до визначення способу комбінованого отримання електроенергії та теплоти, що характеризується як "когенерація". Усі вони мають близькі між собою формулювання і за своєю суттю практично нічим не відрізняються від визначень способу, що характеризується як "теплофікація". Однак слід зазначити, що деякими авторами здійснюються спроби дати відмінність цих способів. Ось деякі з визначень:

1. “Когенерація – використання відведеної теплоти внаслідок виробництва електроенергії. Наприклад, відпрацьованих газів газотурбінної установки для промислових процесів або центрального опалення” [7].

2. “У загальноприйнятому розумінні термін когенерація означає спільне вироблення електричної та теплової енергії в установці, що складається з електрогенератора та утилізатора теплоти.

У класичному розумінні когенерація по суті те саме, що і відома і широко застосовувана теплофікація, тобто використання вторинної теплоти теплоелектростанцій для теплопостачання. Відмінність когенерації від теплофікації достатньо умовна і полягає в масштабі виробітку електроенергії, хоча судячи з літературних даних, вона поступово згладжується. Ця різниця насамперед полягає у типі найчастіше застосовуваного устаткування (в когенераційних установках використовується для приводу електрогенераторів, зазвичай, газові двигуни внутрішнього згоряння чи газові турбіни, а останнім часом – мікротурбіни чи паливні елементи)” [8].

Нам представляється, що в термодинамічному аспекті відмінність когенерації від теплофікації пов'язана з особливостями власне термодинамічних циклів, які реалізуються відповідно в одному випадку як когенераційний, в іншому - теплофікаційний. Цю відмінність легше виявити і вона стає виразною, якщо розглянути та порівняти технологію та термодинамічний цикл когенерації та, відповідно, теплофікації.

У численних когенераційних технологіях і схемах реалізації передбачається використання різних теплових двигунів (нині: двигун внутрішнього згоряння, газотурбінна установка, хоча можуть розглядатися й інші двигуни: термоелектричний, термоемісійний, магнітогідродинамічні генератори). Вони застосовуються для виробництва електроенергії як надбудови, наприклад, над котлами, паротурбінними установками з подальшою утилізацією в них скидної теплоти надбудов та перетворенням таких комбінованих установок на міні-теплоелектроцентральної або парогазові установки. У термодинамічному циклі цих когенераційних схем

використовують, як правило, два робочі тіла. Наприклад, у надбудові застосовуються продукти згоряння (або плазма) з вищою середньою початковою температурою (приблизно 1200 °С і більше 2500 °С для плазми), а в котлах або паротурбінних установках – водяна пара з робочою температурою близько 600 °С. Якщо надбудова здійснюється над паросиловим циклом, весь комбінований цикл перетворюється на бінарний.

У традиційних теплофікаційних установках ТЕЦ відсутні подібні надбудови, в них для виробництва теплоти використовується потенціал пари, яка вже частково відпрацювала в турбіні для виробництва електроенергії. Для теплофікаційних схем застосовується одне робоче тіло – водяна пара.

З урахуванням цих технологічних особливостей схеми та цикли когенераційних або теплофікаційних установок можна охарактеризувати наступним чином:

Когенерація – комбіноване виробництво теплоти та електроенергії з використанням у термодинамічному циклі робочого тіла з вищою середньою початковою температурою та утилізацією теплоти робочого тіла у високотемпературній частині термодинамічного циклу.

Теплофікація – комбіноване виробництво теплоти та електроенергії при утилізації теплоти робочого тіла у низькотемпературній частині термодинамічного циклу. При теплофікації вироблення та відпуск електроенергії є основним завданням, а відпуск теплоти – вторинним, що знижує собівартість виробництва електроенергії. При цьому економічний ефект визначається зниженням втрат у конденсаторах турбін за рахунок утилізації залишкової ексергії робочого тіла на кінцевому етапі технологічного процесу. Основною ж метою когенерації є вироблення теплової енергії потрібних параметрів і за заданим графіком навантаження, а отримана електрична енергія є супутнім продуктом, що підвищує економічність всієї установки.

Основні показники ефективності когенераційних установок наведені на рис.1.1.

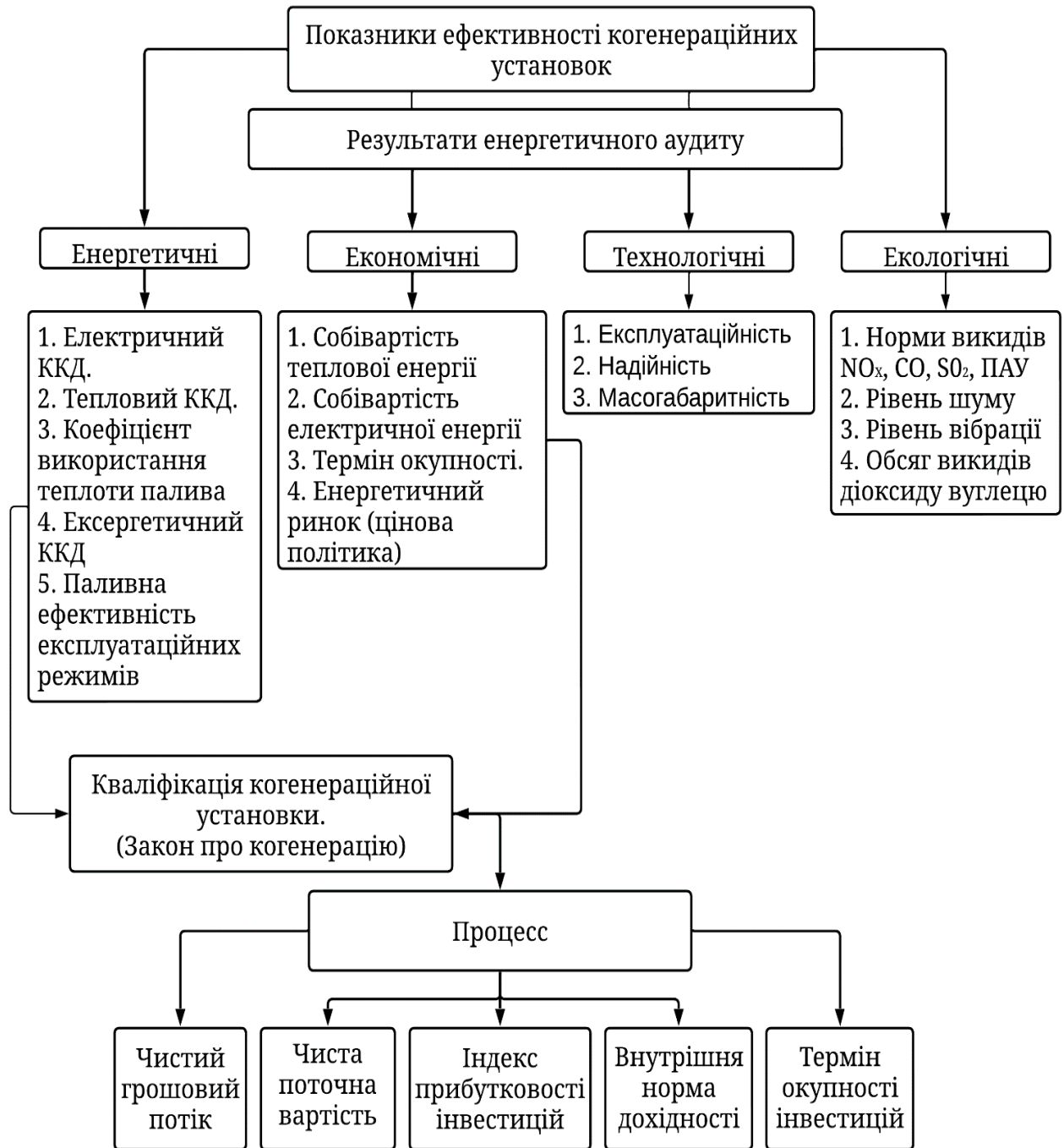


Рисунок 1.1. - Основні показники ефективності когенераційних установок

Економічний ефект при цьому визначається зниженням ексергетичних втрат на першому етапі технологічного процесу (за рахунок повнішого використання ексергії продуктів згоряння).

Досить оригінальна когенераційна технологія виробництва теплоти та електроенергії "STIG" (Steam Intention Gas Turbine) і "Водолій", реалізована з використанням як частина робочого тіла водяної пари, що подається в камеру згоряння газової турбіни, отримала назву монарної когенерації [9].

При виборі типу устаткування необхідно враховувати показники установки. Порівняння газопоршневих та газотурбінних двигунів за показниками роботи установки наведено у таблиці 1.1, взятій з роботи [10].

Визначення кваліфікації когенераційної установки наведено у [5].

До основних показників енергетичної ефективності можна віднести електричний, тепловий та ексергетичний ККД установок, які визначаються відповідно до формул 1.1;1.2;1.3, коефіцієнт використання теплоти палива, який головним чином визначає інтегральну енергоефективність установки, формула 1.4. Методика визначення ексергетичного ККД когенераційних установок представлена в роботі [13].

Електричний ККД :

$$\eta_{el} = \frac{N_{el}}{BQ_P^H} \cdot \quad (1.1)$$

Тепловий ККД :

$$\eta_T = \frac{N_{el}}{BQ_P^H} \quad (1.2)$$

Ексергетичний ККД :

$$\eta_{ex} = \frac{E''}{E'} \cdot \quad (1.3)$$

Коефіцієнт використання теплоти :

$$\eta_Q = \frac{N_{el} + N_T}{BQ_P^H} \cdot \quad (1.4)$$

Таблиця 1.1.- Порівняння газопоршневих та газотурбінних двигунів за показниками роботи установки

Показник	Газопоршневий двигун	Газотурбінна установка
1	2	3
Довговічність	без обмеження при дотриманні правил експлуатації та обслуговування	
Ремонтопридатність	капітальний ремонт проводиться на місці; вимагає менше часу	капітальний ремонт проводиться на спеціальних заводах; витрати часу та коштів на транспортування, центрування тощо
Збереженість	не втрачає властивостей при правильному зберіганні	
Економічність	ККД мало змінюється при навантаженні від 100 % до 50 %	ККД різко знижується на часткових навантаженнях
Питома витрата палива при 100 % та 50 % навантаженнях	(9,3...11,6) МДж/кВтч (0,264...0,329) м <sup>3</sup> /кВтч	(13,2...17,7) МДж/кВтч (0,375...0,503) м <sup>3</sup> /кВтч
Падіння напруги і час відновлення після 50% накидання навантаження	22 % 8 с	40 % 38 с
Розміщення у будівлі	вимагає більше місця, тому що має більшу вагу на одиницю потужності; не вимагає компресора дожиму газу, робочий тиск газу на вході - (0,1..0,35)*10 <sup>5</sup> Па	при потужності електростанції 5 МВт виграш від меншого розміру приміщення не значний; мінімальний робочий тиск газу на вході — (8...12)*10 <sup>5</sup> Па, потрібен газ високого тиску, або дожимний компресор

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Вплив змінного навантаження	не бажана тривала робота на навантаж. менше 50 % (занадто впливає на інтервали обслуговування); при меншій одиничній потужності агрегату, гнучкіша робота електростанції в цілому і вище надійність енергопостачання	робота на часткових навантаженнях (менше 50 %) не впливає на стан турбіни; при високій одиничній потужності агрегату, відключення викликає втрату (30...50) % потужності електростанції
Обслуговування	зупинка після кожної 1000 годин роботи, заміна масел, свічок; капітальний ремонт через 64000 годин експлуатації, виконується на місці установки	зупинка після кожних 2000 годин роботи (данні фірми "Solar"); капітальний ремонт через 60000 годин, виконується на спеціальному заводі

До складу економічних показників когенераційної установки, що виробляє електричну та теплову енергію, входить наявність ринку збуту теплової та електричної енергії за тарифами, що задовольняють споживача. При визначенні цих показників виникають труднощі, зумовлені тим, що вельми не просто розділити паливо, що використовується на виробку різних видів енергії [12]. У цьому випадку можна розглянути оцінки та можливості системи показників паливної ефективності експлуатаційних режимів когенераційних установок, запропонованих у [14]. До технологічних показників можна віднести експлуатаційний показник ефективності. Він включає наявність сучасних систем АСУ ТП, можливість роботи установки в різних технологічних умовах, кількість обслуговуючого персоналу. Залежно від типу когенераційної установки для неї необхідний персонал різної

кваліфікації та кількість. Показник надійності характеризує як ресурс роботи установки до капітального ремонту, а також ремонтпридатність. Надійність роботи установки залежить не тільки від типу, а й від фірм виробника, проектування та монтажу.

На рисунку 1.2 представлена класифікація галузі застосування когенераційних установок різних типів. Когенераційні технології також можуть характеризуватись структурною схемою, представленою на рис.1.3.

## 1.2 Аналіз біогазового потенціалу полігону твердих побутових відходів

Енергетичний потенціал біомаси відрізняються від інших відновлювальних джерел енергії тим, що, крім кліматометеорологічних умов, він у значній мірі залежить і від багатьох інших факторів, в першу чергу від господарської діяльності. Потенціал відновлювальної енергетики України наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Потенціал відновлювальної енергетики в Україні

№	ВДЕ	Річний технічно-досяжний потенціал	
		млрд кВт·год/рік	млн т.у.п/рік
1	Вітроенергетика	79,8	28
2	Сонячна енергетика , в тому числі:	38,2	6
2.1	– електрична	5,7	2
2.2	– тепла	32,5	4
3	Мала гідроенергетика	8,6	3
4	Біоенергетика, в тому числі:	178	31
4.1	– електрична	27	10,3
4.2	– тепла	151	20,7
5	Геотермальна тепла енергетика	97,6	12
6	Енергія доквілля	146,3	18
Загальні об'єми заміщення традиційних ПЕР		548,5	98



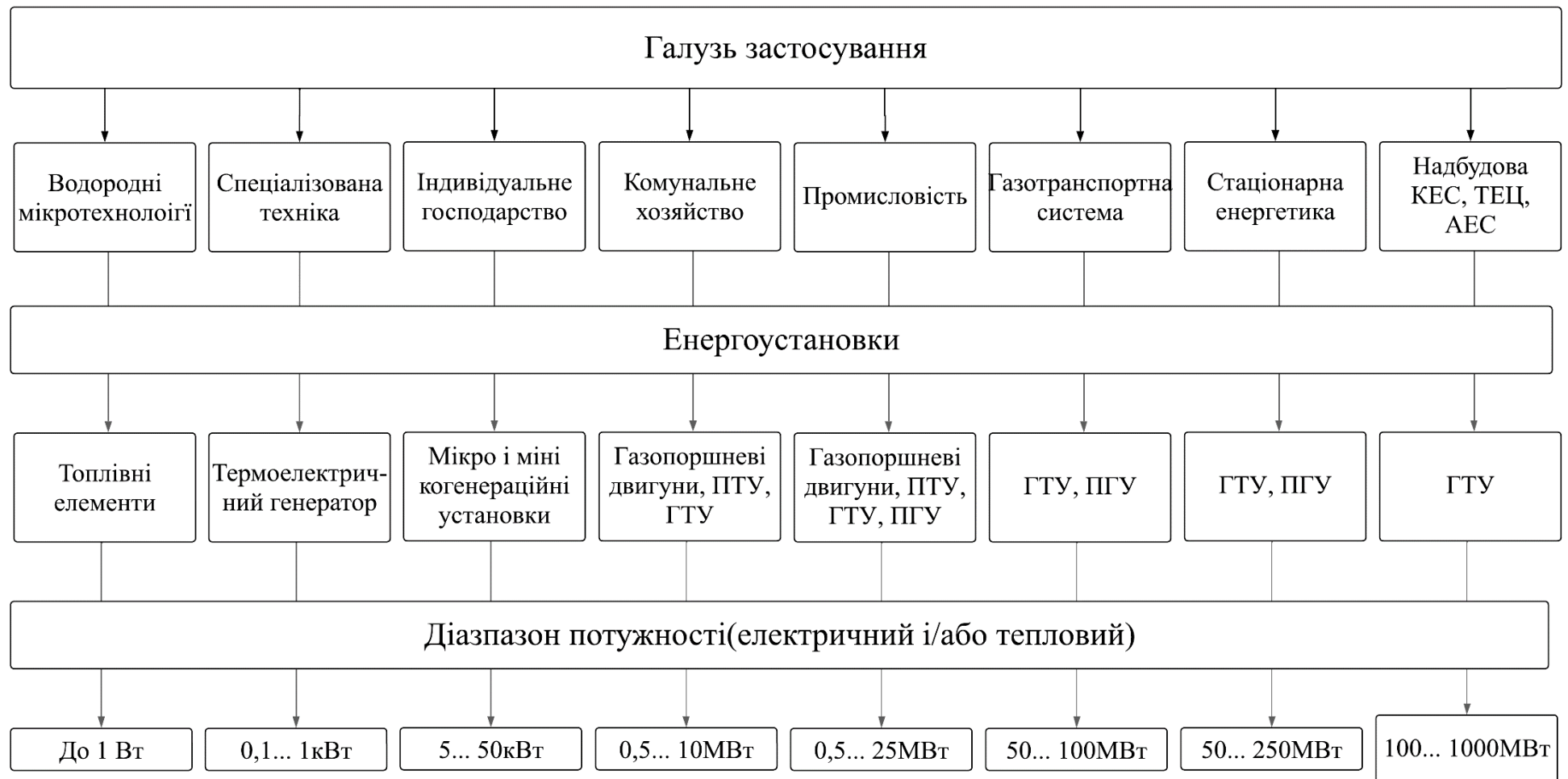


Рисунок 1.2. - Класифікація когенераційних технологій

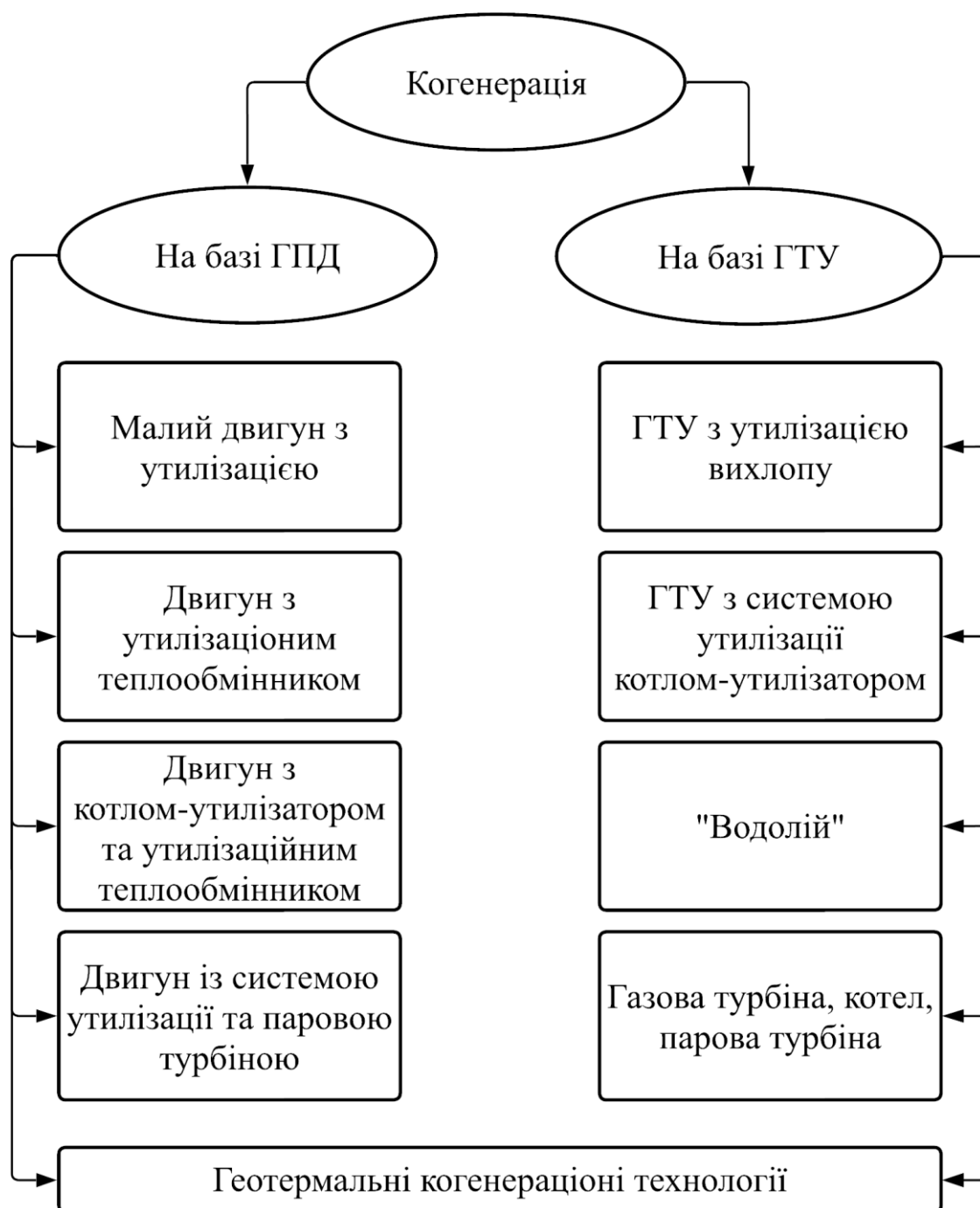


Рисунок 1.3 - Структурна схема когенераційних технологій

Динаміка зростання біогазових потужностей в Україні показана на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Динаміка зростання біогазових потужностей в Україні

Захоронення на полігонах твердих побутових відходів (звалища) являється найбільш поширеним способом поводження з твердими побутовими відходами. Щорічно в містах і селищах міського типу України утворюється понад 40 млн м<sup>3</sup> (10 млн т) ТПВ. На одного мешканця припадає 0,8 м<sup>3</sup> відходів на рік. Принаймні, 90 % ТПВ вивозиться і складається на більш, як 700 офіційно існуючих полігонах.

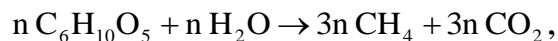
Кожен полігон ТПВ це - своєрідний біохімічний реактор, у надрах якого, при певних умовах, розвиваються процеси анаеробного розкладу компонентів органічного походження і внаслідок цього генерується біогаз (звалищний газ). Утворення біогазу (метанове бродіння) протікає при температурах (10...50) °С в трьох діапазонах: (10...25) °С – психофільний; (25...40) °С – мезофільний; (52...55) °С – термофільний. При цьому, вологість, що супроводжує процеси газоутворення, може мінятися в межах (8...90) % (оптимальна вологість відходів для генерації газу складає (40...50) %). Необхідною умовою утворення біогазу являється відсутність кисню в масиві звалища.

Як правило, до складу органічних відходів на звалищах входять компоненти з різною швидкістю розкладу. Вони значно відрізняються за своїми фізико-хімічними властивостями і темпами розкладу. Так, наприклад, біоконверсія «швидких» фракцій продовжується тільки (2...5) років, а для «повільних» фракцій цей процес протікає на протязі (10...15) років.

Макрокомпонентами біогазу являються метан (CH<sub>4</sub>) і діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>). Вміст метану може змінюватися в межах (30...70) %, а діоксиду вуглецю – (25...50) %. В значно менших концентраціях, на рівні перших процентів, в біогазі присутні азот, водень, сірководень. В якості мікроелементів в склад біогазу входять десятки різних неметалевих органічних сполук.

До числа параметрів, контролюючих біоконверсію, відносяться: вік полігону, щільність укладання, вологість, температура, рН середовища, товщина тіла поховання, склад органічних фракцій, способи експлуатації полігону.

В середньому газогенерація закінчується в звалищному тілі протягом (10...50) років, при цьому питомий вихід газу складає (120...200) м<sup>3</sup> на 1 т ТПВ. Процес газоутворення може бути описаний таким спрощеним рівнянням реакції:



де C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub> - крохмаль;

H<sub>2</sub>O - вода;

CH<sub>4</sub> - метан;

CO<sub>2</sub> - вуглецю діоксид.

Склад біогазу обумовлює ряд його специфічних властивостей. Передусім, він горючий. Середня калорійність згоряння біогазу складає 5530 ккал/м<sup>3</sup>. У певних концентраціях біогаз є токсичним. Конкретні

показники його токсичності визначають мікроелементи, такі, як сірководень ( $H_2S$ ). Зазвичай, біогаз характеризується різким неприємним запахом.

Суміш біогазу з повітрям вибухонебезпечна. Поріг вибухонебезпечних концентрацій метану в повітрі коливається в межах (5...18) %.

Біогаз також відноситься до числа так названих парникових газів, що надає йому категорію глобального значення і робить об'єктом пристальної уваги світового суспільства.

Приймаючи до уваги фактори негативного впливу біогазу на навколишнє середовище (з однієї сторони), а також енергетичну цінність (з другої сторони), стає актуальною задача збору та утилізації біогазу на полігонах ТПВ. Основним способом, який забезпечує вирішення цього завдання, являється технологія «екстракції» (дегазації) масиву звалища.

Енергетичний потенціал біомаси Запорізької області складає 1,19 млн т.у.п/рік.

Істотними джерелами антропогенного впливу на навколишнє середовище залишаються полігони та накопичувачі відходів.

Площа сховищ промислових і твердих побутових відходів (ТПВ) підприємств і організацій області становить 1043,0 га, в т.ч. під полігонами промислових підприємств - 833 га і під полігонами твердих побутових відходів - 210 га земель.

На території Запорізької області щорічно утворюється понад 5,5 млн. тон промислових відходів, з яких переробляється більше одного млн. тон і знешкоджується близько 4 тис. тон. Загальна кількість промислових і побутових відходів, накопичених у сховищах організованого складування області, в даний час становить близько 150 млн. тон.

Всього на території Запорізької області загальна кількість звалищ, полігонів шламонакопичувачів, відвальних господарств становить 54 одиниці.

Особливо гостро в області стоїть проблема переробки ТПВ. У містах і селах міського типу щороку нагромаджується близько 2 млн. м<sup>3</sup> сміття, яке зазвичай залишається в місцевих звалищах.

Для проекту було обрано полігон ТПВ м. Енергодару. Полігон розташований за межами міста, неподалік населеного масиву. Площа полігону ТПВ, яка підпорядкована під вилучення біогазу – 3,75 га. Полігон складається з п'яти секцій, чотири з яких закриті (завезення ТПВ на них припинено). Цінністю проекту є саме закриті секції.

Проектний об'єм біогазу з масиву полігону складає 184 м<sup>3</sup>/год (1,612 млн. м<sup>3</sup>/рік). Вартість впровадження проекту (будівництво системи збору та утилізації біогазу) для цього полігону складає, згідно зведеного кошторисного розрахунку, 10250,356 тис. грн.

Тестові дослідження на полігоні ТПВ м. Енергодару підтвердили розвиток тут активних процесів газоутворення. За результатами проведених аналізів, вміст метану у звалищному газі прогнозується на рівні (45...60) %.

Метою даного проекту являється будівництво системи збору біогазу і використання його енергетичного потенціалу для виробництва електричної енергії.

Позитивними аспектами після реалізації планованої діяльності у результаті утилізації біогазу полігонів твердих побутових відходів (ТПВ), який утворюється в умовах анаеробного розкладання органічної складової відходів є:

- 1) сприяти виконанню Україною зобов'язань щодо зменшення викидів парникових газів в атмосферу відповідно до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату та Кіотським протоколом.

Так, з 1 т сухої речовини ТПВ утворюється (170...200) м<sup>3</sup> біогазу, половину обсягу якого (25...30) % становить метан – найсильніший парниковий газ. Вплив звалищного метану ставиться в один ряд з найпотужнішими природними джерелами, його внесок у розвиток парникового ефекту оцінюється в 6 %. За інтенсивністю викидів метану з

одиниці площі поверхні (близько 200 т/рік з 1 га) полігони ТПВ перевершують всі інші джерела;

2) максимально можливо зменшити попадання біогазу в атмосферу для запобігання негативного впливу на навколишнє середовище;

3) сприяти розвитку внутрішнього ринку альтернативних джерел енергії.

Навіть з урахуванням недостатньо високого ККД використання зібраного біогазу, застосування його в якості палива з виробленням електричної або теплової енергії забезпечує значне зниження витрат на паливно-енергетичні ресурси;

4) запобігання пожежонебезпечної і вибухонебезпечної ситуації, що може виникнути на полігоні в стадії його експлуатації чи рекультивації.

Основні техніко-економічні показники об'єкту проектування наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні техніко-економічні показники об'єкту проектування

№ з/п	Показники	Одиниця виміру	Кількість
1	2	3	4
1	Площа полігону ТПВ, згідно державного акту на право користування землею серія ЯЯ №113188 від 30.01.2006 р.	га	7,1119
2	Площа масиву полігону ТПВ, охоплена системою збору біогазу	га	3,75
3	Площа промайданчику вузла утилізації біогазу	м <sup>2</sup>	390
4	Площа під'їзної дороги	м <sup>2</sup>	6000
5	Газовідвідні свердловини (кількість, довжина буріння)	шт./м	30/214
6	Довжина газовідвідних свердловин	м	220
7	Об'єм м'ятого суглинку	м <sup>3</sup>	20
8	Об'єм щебеневої обсіпки	м <sup>3</sup>	45
9	Кількість викидних колекторів	шт.	30
10	Довжина викидних колекторів	м. пог.	2722
11	Кількість газорегулюючих пунктів	шт.	4
12	Довжина магістральних колекторів	м. пог.	315

## Продовження таблиці 1.3.

1	2	3	4
13	Проектний об'єм вилучення біогазу з масиву полігону ТПВ макс. мін.	м <sup>3</sup> /год. м <sup>3</sup> /год.	92 30
14	Основне обладнання:		
	- вологовловлювач	шт.	1
	- газорегулюючий пункт	шт.	4
	- установка модуль насос-факел	шт.	1
	- газопоршнева генераторна установка	шт.	1
	- трансформаторна підстанція	шт.	1
	- компресор	шт.	1
	- система моніторингу	комплект	1
15	Проектна потужність об'єкту		
	- по електроенергії макс. мін.	кВт/год. кВт/год.	150 50
16	Термін видобування газу	рік	18
17	Загальна тривалість будівництва	місяць	5

Територія полігону ТПВ має вигляд витягнутого з півдня на північ прямокутника. Під полігон відведено ділянку землі площею 76 000 м<sup>2</sup>. Поверхня майданчика рівна, спланована до абсолютних відміток (27,26...28,40) м, із загальним ухилом у північно-східному напрямку. Майданчик полігону розбитий на технологічні карти (поля), куди автотранспортом завозяться побутові відходи. Всього на полігоні розбито 5 карт загальною площею 40 000 м<sup>2</sup>. Автопроїзди по периметру полігону і між полями складають 7 900 м<sup>2</sup> і виконані з монолітного бетонного покриття.

На в'їзді полігон має підсобно-побутову зону, що містить:

- одноповерхову адміністративно-побутову будівлю;
- гаряче і холодне водопостачання;
- електропостачання;
- телефонний зв'язок;
- майданчик для відстою спецтранспорту;



- протипожежний поливальний водопровід діаметром 108 мм по периметру уздовж в'їзної дороги зі східного боку і між полями з труб діаметром 89 мм.

Полігон по периметру має огорожу у вигляді кавальєру з піску висотою 3 м залізобетонних плит розміром 2,4 м х 6 м. Полігон ТПВ віддалений від промислових споруд на 1000 м.

Основні характеристики полігону:

- 1) адміністративна приналежність – Кам'яно-Дніпровський район м. Енергодар;
- 2) початок завозу ТПВ на полігон – 1975 рік;
- 3) рік закриття секцій 1, 2, 3, 4 (припинення завозу ТПВ): секція № 1 – 1997 рік; секція № 2 – 2010 рік; секція № 3 – 2002 рік; секція № 4 – 2006 рік;
- 4) середньорічна кількість ТПВ, які завозилися на полігон за останні 5 років – 20,0 тис. тон;
- 5) загальна кількість похованих ТПВ – 440 тис. тон;
- 6) площа полігону, яка підпорядкована під вилучення біогазу – 3,75 га;
- 7) глибина полігону (середня) – 10 метрів;
- 8) наявність гідроізоляції дна і стінок – екран по дну і укосах із ущільнених суглинистих ґрунтів;
- 9) наявність закриваючого шару ґрунтів – фрагментарно товщиною 0,60 метрів;
- 10) наявність міжшарових ґрунтових прошарків – 0,15 метрів, на кожних 2 м заборонених відходів;
- 11) рівень ґрунтової води у тілі полігону – 6,0 метра від земної поверхні;
- 12) вміст сміття (табл. 1.4).

Тверді побутові відходи надходять на полігон і класифікуються за місцем утворення:

- побутові відходи;
- комунально-змішані відходи;
- промислові відходи за списком, погодженим з органами санітарно-епідеміологічного нагляду.

Таблиця 1.4 – Вміст сміття полігону ТПВ

Назва типу відходів	Процентний вміст
Папір, картон	(32,5...41,9)
Харчові відходи	(27,5...34,0)
Дерево, листя	(1,9...9,9)
Чорний метал	(1,4...3,7)
Кольоровий метал	(0,4...0,)
Кістки	(0,4...0,7)
Шкіра, резина	(1,0...3,6)
Текстиль	(3,5...4,7)
Скло	(4,0...8,0)
Каміння	(0,5...2,0)
Полімерні матеріали	(1,6...3,1)
Відсів, менше 16 мм	(4,7...8,2)

13) віддаленість полігону від ліній електромережі – електромережі підведені до службових приміщень – 4,0 км;

14) віддаленість полігону від доріг з твердим покриттям – на відстані 100 м дорога на ЗАЕС і м. Енергодар;

15) під`їзна дорога на полігон – дорога з твердим покриттям.

Відповідно до вимоги Наказу МОЗ України №173 від 19.06.96 р. «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів», проєктований об'єкт (полігон ТПВ) відноситься до II класу небезпеки і його нормативна санітарно-захисна зона становить 500 м.

Клімат району в місці розташування полігону ТПВ м. Енергодар характеризується як помірно-континентальний із тривалою спекою влітку й нестійкою зимою, малосніжною (степова зона півдня України). Згідно кліматичному районуванню майданчик для будівництва розташований в

кліматичному районі «III-B». Кліматична характеристика району приводиться за даними найближчої метеостанції в м. Запоріжжя.

Зима починається наприкінці листопада на початку грудня й триває в середньому 102 дні. Температура повітря в цей період змінюється від  $+7^{\circ}\text{C}$  до  $-34^{\circ}\text{C}$  при середньому мінімумі  $-7,5^{\circ}\text{C}$ . Атмосферні опади випадають у більшості випадків у вигляді снігу, при відлигах у вигляді дощу зі снігом або дощу. Стійкий сніжний покрив з'являється в середині листопада й руйнується в середині лютого. Глибина промерзання ґрунтового покриву досягає 80 см. Для зимового періоду характерні високі швидкості вітру. Весна настає в середині березня. Це самий короткий сезон року, він складає 57 днів. У першій половині весни можливі снігопади, надалі характер опадів змінюється від обложних дощів до зливових.

Літо в описуваному районі спекотне, сухе. Починається воно в травні й триває 135 днів. На початку літа погода носить нестійкий характер, з кінця червня встановлюється суха малоохмарна погода. В окремі дні температура повітря досягає  $+(38\dots 39)^{\circ}\text{C}$ .

У теплу пору року випадає близько 60 % річної суми опадів, причому, найбільша кількість опадів випадає в червні місяці у вигляді зливових дощів. Річна сума опадів 486 мм при нормі випару з водної поверхні 850 мм і з поверхні ґрунту 490 мм. Середньорічні значення абсолютної вологості становлять  $(9,0\dots 9,2)$  мбар.

У третій декаді вересня настає осінній період. Для нього характерна на початку тепла суха погода, у жовтні починаються дощі, а в листопаді з'являється перший сніг. Тривалість осені близько 71 дня.

Для району полігона ЗНПВ характерна яскраво виражена вітрова діяльність. Переважними є північні, північно-східні й східні вітри. Відзначаються пилові бурі. Середні метеорологічні показники температур і швидкості вітру зафіксовані Гідрометцентром м. Запоріжжя представлені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Метеорологічні характеристики м. Енергодара

Найменування характеристик	Величина
Коефіцієнт, який залежить від стратифікації атмосфери, А	200
Коефіцієнт рельєфу місцевості	1
Середня максимальна температура зовнішнього повітря найбільш жаркого місяця року, Т, °С	33,8 (липень)
Середня температура зовнішнього повітря найбільш холодного місяця (для котельних, які працюють за опалювальним графіком)	- 4,3 (січень)
Середньорічна роза вітрів, %	
П	14,7
ПС	14,4
С	14,8
ПдС	13,3
Пд	10,8
ПдЗ	9,9
З	11,2
ПЗ	10,9
Швидкість вітру (за середніми багаторічними даними), повторення перевищення якої складає 5 %, U*, м/с	(8...9)

Наведене в таблиці 1.5 значення коефіцієнту А, який залежить від температурної стратифікації атмосфери, визначено згідно з розділом 2.2. ОНД-86 [15]; коефіцієнт рельєфу місцевості визначений згідно з розділом 4 ОНД-86 [15].

Проект включає збір біогазу та його спалювання на факелі, або використання для комбінованого виробництва електроенергії і тепла.

При спалюванні біогазу на факелі локальне середньорічне підвищення температури повітря в точці максимуму виділення тепла, що надходить в атмосферу, не вплине на зміну температури в іншому обсязі простору і не матиме впливу на мікроклімат прилеглих до полігонів ТПВ територій.

Впровадження системи збору та спалювання біогазу зменшує викиди метану в атмосферу. У разі виробництва енергії, додаткові скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферу будуть отримані шляхом заміни

частини електричної енергії з викопного палива електроенергією, що вироблена з біогазу.

Таким чином, збір біогазу сприяє скороченню викидів парникових газів в атмосферу, пом'якшенню впливу на клімат і мікроклімат.

Майданчик розміщення полігону побутових відходів межує з територією споруджень господарських побутових стоків і приурочений до I надпойменої тераси р. Дніпро з "кучугурним" еоловим рельєфом. Абсолютні відмітки рельєфу майданчика полігону (27,5...28,5) м.

Інженерно-геологічні розрізи в районі майданчиків очисних споруд та полігону побутових відходів на глибину (10...15) м представлені дрібними еолово-алювіальними пісками з лінзами супісків.

Дрібні піски мають рихле, середньощільне і щільне складання. Рихлі зони в дрібних пісках потужністю до 2,2 м зустрінуті на відмітках (20,0...29,0) м. Піски маловологі і вологі.

Піски середньої щільності у вигляді лінз і прослоїв потужністю (1,2...19,0) м залягають до відміток (19,0...23,3) м. Піски маловологі, вологі і водонасичені.

Максимальна пройдена потужність щільних пісків 10,0 м. Піски водонасичені.

Супіски (пластичної консистенції) зустрінуті на глибині 4,3 м в інтервалі відміток (20,5... 26,9) м у вигляді прослоїв потужністю до 7 м.

По величині корозійної активності піски ((200...2000) Ом), супіски (150 Ом) відносяться до ґрунтів з низькою корозійною активністю.

Рівень ґрунтових вод на час буріння встановився на відмітках (20,0...21,6) м – територія існуючих очисних споруд. Унаслідок сезонних коливань і техногенного режиму, що сформувався, межевий рівень можливий на відмітці 22,0 м. При аварійних ситуаціях можливий тимчасовий підйом рівня ґрунтових вод вище прогнозованого на 2,8 м.

За змістом карбонатній лужності ґрунтові води неагресивні до бетону конструкцій.

Інженерно-геологічні умови в цілому сприятливі для будівництва.

Полігон ТПВ м. Енергодар розташований за межами міста. Відстань від житлової забудови до границі полігону становить 4,0 км, що відповідає санітарним нормам.

Загальна площа полігону складає 7,1119 га. Під складування та захоронення відходів відведено близько 3,75 га. З 1975 року тут захоронено близько 500 тис. тон твердих побутових відходів.

На полігоні також розміщені наступні споруди та інженерні комунікації: контрольно-пропускний пункт, службові та побутові приміщення, гараж, лінія електропередач, водопровід та каналізація.

На полігоні застосовується висотна схема складання. На даний час висота техногенного відвалу складає 10 м. Використовується метод складування по типу «насування». Бульдозери переміщують відходи на робочу карту, створюючи шари висотою до 0,5 м. За рахунок (12...20) ущільнених шарів утворюється вал з пологими укосами висотою 2 м над рівнем майданчику розвантаження сміттєвозів. Ущільнений шар перекривається шаром піщаного матеріалу товщиною 0,15 м. Розвантаження сміттєвозів перед робочою картою виконується на шарі відходів, не раніше ніж через 3 місяці з часу його укладання та ізоляції. Ущільнення здійснюється важкими бульдозерами вагою 14 тон, при 4-кратній проходці досягається ущільнення до 900 кг/м<sup>3</sup>.

На полігон ТПВ м. Енергодар надходять побутові відходи з житлового фонду 4 класу небезпеки, побутові відходи з інших об'єктів (сфера обслуговування, підприємства, виробничі об'єкти) і промислові відходи 3 та 4 класів небезпеки, що завозяться промпідприємствами згідно дозволів, виданих Державним управлінням екології і природних ресурсів в Запорізькій області.

Полігон ТПВ м. Енергодар розташований на рівнинній місцевості, поверхня якої має незначний ухил на північ. Безпосередньо масив звалища утворює техногенний відвал, який на 7,8 м підведений над природним

рельєфом. Загальна площа масиву складає 7,1119 га. В плані він характеризується прямокутною формою. Більша частина - північна відповідає закритим секціям 1, 2, 3, 4 полігону ТПВ і охоплює площу 3,75 га. Її поверхня лежить на абсолютних відмітках 35,20 м. В межах ділянки на даний час зосереджено 440,0 тис. тон відходів, ущільнених до рівня 900 кг/м<sup>3</sup>.

В історичному плані склалося так, що після 1990 року в об'ємному відношенні на звалище стала потрапляти велика частка елементів полімерного походження (плівка, пакети, упаковка, пляшка ПЕТ, пластмасовий посуд та ін.) В результаті верхні горизонти звалищного тіла мають, в основному, крихку структуру, високу пористість та практично обезводнені. Ступень розкладу органіки в приповерхневих шарах незначний.

Нижче захоронені побутові відходи змішаного складу і фізичного стану. Це фрагменти полімерного походження і битого скла, які досить рівномірно розосереджені в сухій і напівсухий (слабо зволоженої) сірій і темно сірій масі. Інші компоненти сміття (деревина, текстиль, металеві елементи побутової техніки, будівельний брукт ) на глибинному інтервалі (3...10) метрів зустрічаються спорадично. Процеси анаеробного бродіння в цьому інтервалі знаходяться в стадії розвитку. На глибині 7,0 метрів і нижче від поверхні звалищного масиву розміщені відходи з високим ступенем розкладу. Тут різко знижується вміст синтетичних матеріалів і підвищується загальна вологість, а органічна складова сміття перетворена в однорідну густу масу, яка на окремих ділянках переходить в напіврідкій стан.

Вище зазначені загальні елементи будови вертикального розрізу тіла звалища поширюються на всю його площу. Як виключення, можна розглядати найнижчу техногенну терасу, яка заповнена, на всю товщину переважно сухим і напівсухим гумусовидним матеріалом.

Полігон ТПВ м. Енергодар відноситься до об'єктів захоронення відходів по схемі висотного складування. Робочі карти заповнюються способом насунання валів сміття, їх ущільнення та перекриття піщаним матеріалом. В такому варіанті насичення відходів атмосферними опадами відбувається

тільки в момент їх складування в дощові періоди. Інфільтрація дощових вод в тілі звалища відбувається по складній системі перетоків на границях поверхонь екранів. В результаті інфільтрації атмосферних опадів та їх перемішування з токсичними рідинами, що виділяються з ТПВ, в підшві масиву звалища постійно накопичуються певні об'єми фільтрату, які відносяться до категорії інтенсивних факторів забруднення навколишнього середовища.

Полігон ТПВ м. Енергодар відноситься до типового звалища міст України. В межах цих полігонів відсутня організація попереднього сортування та роздільного складування сміття. Загальна статистика показує, що на такі звалища потрапляє від 20 % до 50 % органічних речовин біологічного походження, які є основним продуктом анаеробного розкладу і утворення біогазу. Зрозуміло, що об'єми його генерації визначаються, в першу чергу, кількістю побутових відходів, які завозяться на полігон.

Середньорічна кількість ТПВ, вивезених на міське звалище протягом 5-ти минулих років склала більше 100 тис. тон. На даний момент на звалищі накопичено близько 500 тис. тон твердих побутових відходів.

При розрахунках біогазового потенціалу полігону ТПВ необхідно врахувати, окрім кількості самих відходів, швидкість їх розкладу, потенціал утворення метану і вік відходів. Якісний склад біогазу наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Якісний склад біогазу (згідно проекту)

Речовини	%
CH <sub>4</sub>	50
CO <sub>2</sub>	35
N <sub>2</sub>	5
H <sub>2</sub> S	0,03
O <sub>2</sub>	1
H <sub>2</sub> O (пар)	7
Інші гази (CO, H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , CH <sub>2</sub> CL <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> )	1,97



### 1.3 Аналіз ринку газопоршневих установок для використання біогазу

Діапазон одиничних потужностей ГПУ знаходиться в районі від 0,1 до десятків МВт. Загальний моторесурс знаходиться в межах 250 000 годин, ресурс до капітального ремонту становить (60 000...80 000) годин. Крім великого моторесурсу до переваг ГПУ варто віднести малу залежність температури навколишнього повітря на ККД двигуна, необхідний низький тиск паливного газу (0,01...0,035) МПа (не вимагають дотискного компресора), низьке зниження ККД при 50 % зниженні навантаження, необмежену кількість запусків. Окрім того ще одними із достоїнств газопоршневої установки є : проведення ремонту агрегату на місці, низькі експлуатаційні витрати та малі розміри ( це низькі інвестиційні витрати), можливість кластеризації ( виконання роботи паралельно декількома установками).

Один із найважливіших моментів при виборі типу ГПУ це - вивчення складу палива. Виробники газових двигунів висувають ряд своїх вимог до якості та складу палива для кожної моделі. Основними характеристиками є:

- метанове число газу (% вміст метану у об'ємі газу);
- теплота згоряння нижча та вища;
- ступінь детонації;
- вміст сірки.

В теперішній час велика кількість виробників проводять адаптацію своїх двигунів під відповідне паливо, що у більшості випадків не займає забагато часу і не потребує великих фінансових витрат.

Окрім природного газу, газопоршневими установками можуть використовуватися у якості палива: пропан, бутан, попутний нафтовий газ, газ хімічної промисловості, коксовий газ, деревний газ, піролізний газ, газ сміттєвих звалищ, газ стічних вод та ін.

Застосування у якості палива вищеперерахованих специфічних газів вносить значний внесок у збереження навколишнього середовища і також дає змогу використовувати регенеративні джерела енергії.

Газопоршневі установки відрізняються простотою, надійністю і високим ККД. Електричний ККД газопоршневих установок високий і в умовах роботи на природному газі складає приблизно (41...43) %.

Значна кількість марок газопоршневих станцій (установок) експлуатуються в режимі когенерації (як теплоелектростанція). Температура вихлопних газів на виході із двигуна газопоршневої станції складає приблизно  $390 \pm 10$  °С.

Вказана температура не дозволяє виробляти значну кількість теплової енергії. Співвідношення видачі двох видів енергій складає 1:1, тобто на 1 МВт встановленої електричної потужності є можливість одержання 1 МВт теплової енергії.

Система охолодження газопоршневих установок є рідинною. У випадку використання води для охолодження агрегатів необхідна її обов'язкова хімпідготовка.

Витрата моторного масла складає приблизно (0,3...0,95) кг/год на 1 МВт електричної потужності газопоршневої установки, зазвичай, необхідно його постійно доливати.

З ціллю відповідності екологічним вимогам у газопоршневих електростанціях необхідна установка каталізаторів вихлопних газів. Висота димової труби газопоршневих електростанцій визначається по рівню вмісту гранично допустимих концентрацій (ГДК) у навколишньому середовищі та рівню шкідливих складових емісій самої газопоршневої станції.

Середній рівень шумів, які виробляє газопоршнева установка, складає (75...78) дБ. При експлуатації ГПУ спостерігається досить сильний рівень вібрації, що потребує установки спеціальних віброопор.

Вибір газопоршневого електроагрегату.

Будь-яке виробництво електричної енергії, що використовує технологію спалювання палива, супроводжується виділенням тепла. У газопоршневих агрегатах максимальний ККД виробленню електроенергії становить близько 40 %. Тепловий ККД таких установок становить (40...45) %. Тобто корисно використовується лише половина енергії, що вивільняється, а інша половина йде з теплом в навколишнє середовище.

Ситуація змінюється, якщо використовувати технологію когенерації та тригенерації. Когенераційна установка, одночасно з виробництвом електроенергії корисно утилізує теплоту двигуна, виробляючи гарячу воду або пару. Це різко підвищує загальний ККД установки. У деяких випадках він досягає 90 %. Відношення електричної потужності до теплової становить 1:1,2.

Використання технології тригенерації дозволяє зберегти високий ККД цілодобово. Наприклад, влітку опалення не потрібно, але необхідно кондиціонування житлових приміщень, офісів, лікарень. У промисловості широко використовується холодна вода і холод. Тригенераційна установка до виробництва електроенергії і тепла додає ще й виробництво холоду по абсорбційній технології.

Іншим позитивним моментом для використання газопоршневих установок є можливість установки декількох агрегатів.

Секціонування когенераторних установок з декількох блоків, дозволяє досягти ефективності такої ж, як і у великої установки, при цьому отримуючи ряд значних переваг. Це точне управління потужністю (максимальний ККД досягається при завантаженні на 100 % - це означає, що в разі секціонування, в мінімальні години енергоспоживання, є можливість навантажити частину блоків, а частину залишити в неробочому стані). Це призводить до збільшення ресурсу всієї системи в цілому.

Останнім часом все більш очевидні переваги і перспективи використання поршневих газових двигунів внутрішнього згоряння задля комбінованого вироблення електричної та теплової енергії. Реальний шлях

підвищення ефективності енергетичного виробництва це - розвиток локальних автономних децентралізованих джерел для комбінованого виробництва електричної енергії і тепла газопоршневими установками. Незаперечні переваги останніх це: високий ККД, повна незалежність від регіональної енергомережі, і як наслідок, і від підвищення тарифів, надійність та відсутність витрат для будівництва підвідних і розподільчих мереж.

В основі експлуатації газопоршневих станцій лежить принцип дії двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). ДВЗ - це теплова машина, де хімічна енергія палива (зазвичай застосовується рідке чи газоподібне вуглеводневе паливо), яке згоряє у робочій зоні та перетворюється в механічну роботу.

На теперішній час у промисловості випускаються 2 типи поршневих двигунів, які працюють на газі: газові двигуни з електричним (іскровим) запалюванням та газодизелі із запалюванням газоповітряної суміші завдяки уприскуванню запального (рідкого) палива. Газові двигуни одержали широке використання у енергетиці завдяки зростаючій тенденції використання газу як більш дешевого палива (і природного і альтернативного) та екологічно більш безпечного (з точки зору викидів із вихлопними газами).

Для вибору газопоршневого електроагрегату проведемо аналіз ринку цього обладнання.

Газопоршнева електростанція - це установка, що складається з двигуна внутрішнього згоряння і генератора електричного струму, що дозволяє перетворювати енергію газу в електричну енергію. Головною складовою частиною газопоршневої установки є двигун внутрішнього згоряння, що використовує природний газ у вигляді палива. До відмінних переваг газопоршневих установок відносяться: простота конструкції, нескладне і доступне сервісне обслуговування, довгий термін експлуатації. Газопоршневі установки мають високий коефіцієнт корисної дії, що є додатковим плюсом на користь вибору даної системи генерації.

1) Газопоршневі електростанції компанії «Eltaco» (Словаччина).

Газопоршневі електростанції, що виробляються і реалізуються компанією, працюють на природному газі і належать до типу когенераційних установок, які дозволяють регулярно забезпечувати постачання електрикою як невеликих об'єктів, так і великих промислових підприємств. Більш ефективно використання газопоршневих установок можливе в тому випадку, якщо вони є основним джерелом енергопостачання, так як це буде економічно доцільно. Потужність, що розвивається газопоршневими електростанціями Eltesco, знаходиться в діапазоні (3,8...3916) кВт.

Когенераційні газопоршневі установки компанії «Eltesco» відрізняються високою ефективністю з точки зору використання ресурсів. Завдяки утилізації тепла, яке виділяється при виробництві електроенергії, паливні ресурси використовуються на 90 % ефективніше. За рахунок вироблення одночасно і тепла і електроенергії, когенераторні установки Eltesco компактні і універсальні, що є важливою перевагою в разі необхідності такої установки на невеликих об'єктах. Дані електростанції економічні ще й у зв'язку з меншою витратою палива, в порівнянні з іншими установками, при виробництві тієї ж кількості енергії. Також такі електростанції є екологічними, так як дозволяють здійснювати мінімальний викид шкідливих речовин.

Газопоршневі електростанції компанії «Eltesco» вважаються довговічними, якісними та економічними. Також дані установки автономні і не залежать від сторонніх постачальників енергії, володіючи при цьому здатністю працювати паралельно з ними при оптимальному та ефективному режимі роботи.

У когенераційних установках Eltesco використовуються газові двигуни PERKINS (Великобританія), GUASKOR (Іспанія), MAN і DEUTZ (Німеччина), генератори MECC ALTE (Італія) та Stamford (Великобританія), AVK (Німеччина) і Marelli Motori (Італія), які чудово зарекомендували себе на світовому ринку.

Технічні дані газопоршневих електростанцій Eltesco:

- термін служби газопоршневих електростанцій становить (25...30) років;

- капремонт по досягненню 60 000 мотогодин (10 років) напрацювання;
- інтервал між технічним обслуговуванням – (1000...1500) мотогодин;
- ККД до 90 %.

Основним недоліком електростанцій Elteso є високий термін виготовлення, доставки та устаткування (від 6 місяців).

2) Газопоршнєві електростанції компанії «FG Wilson» (Великобританія).

Функціонуючи як на зрідженому, так і на природному паливі, газові електростанції FG Wilson забезпечують постійне і резервне енергопостачання будівель. Моделі генераторів цієї торгової марки бувають трифазними і двофазними. Всі газогенератори FG Wilson оснащені модернізованою електронною системою управління, укомплектовані блоками живлення і системами підключення до мережі газопостачання, контрольно-вимірювальною апаратурою, аварійною сигналізацією.

Модельний ряд газопоршневих установок FG Wilson представлений агрегатами малої ((11...276) кВт) і середньої потужності ((380...1000) кВт).

Газопоршнєві агрегати FG Wilson малої потужності в основному для роботи в якості резервного джерела енергії, агрегати середньої потужності призначені для роботи в постійному режимі.

У всіх електростанціях FG Wilson застосовується рідинна система охолодження і генератори виробництва Leroy Somer.

Електростанції FG Wilson виконуються на базі двигунів провідних світових виробників:

- агрегати серії PG виконані на базі двигунів Perkins;
- агрегати серії SG виконані на базі двигунів Scania;
- агрегати серії UG виконані на базі двигунів Isuzu;
- агрегати серії FG виконані на базі двигунів Ford;
- агрегати серії GMG виконані на базі двигунів General Motors;

- агрегати серії PBF виконані на базі двигунів Perkins.

Газопоршневі електростанції FG Wilson модельної серії SG - PG відносяться до систем малої і середньої потужності (10...125) кВА, (240...1250) кВА. Вони призначені для вироблення трифазного струму (380/220 В, 50 Гц). Газопоршневі електростанції FG Wilson малої потужності модельної серії UG - FG - GMG призначені для забезпечення електричною енергією споживачів однофазного і трифазного струму. Газопоршневі електростанції FG Wilson модельної серії PBF працюють на двох видах палива (газ/дизель). Усереднене співвідношення палива (газ/дизель) - 70/30, в залежності від компонентного складу газу і умов експлуатації електростанцій.

Головною перевагою електростанцій FG Wilson є досить широкий модельний ряд.

Недоліки електростанцій FG Wilson:

- високі терміни поставки - як правило (10...14) тижнів;
- висока ймовірність купівлі електростанції ввезеної на ринок несумлінними продавцями з регіонів (Китай, Індія) не дозволених для продажу. Такі установки не можуть бути забезпечені гарантією і належним сервісом. При належному догляді і монтажі установки розумно використовувати як резервне джерело живлення;
- висока ціна на звичайне типове обладнання.

3) Газопоршневі електростанції компанії «Guascor» (Іспанія).

Електростанції Guascor можуть поставлятися в різних комплектаціях і працювати на різноманітному паливі: магістральний і стиснений природний газ, зріджений газ, попутний нафтовий газ, різні типи біогазу, гази стічних і каналізаційних вод і т.д. Одиначна потужність газопоршневих електростанцій Guascor – (142,8...1204) кВт. Дані установки ефективні в застосуванні як на малих, так і на великих підприємствах завдяки своїй універсальності - станції виробляють електроенергію і тепло одночасно при високих показниках обох одиниць.

Переваги газопоршневих електростанцій Guascor:

- високі електричні і теплові ККД обладнання в системах когенерації;
- собівартість вироблюваної електроенергії нижче середнього тарифу мережеских компаній;
- надійність електропостачання та незалежність від якості мереж та коливання тарифів на електроенергію;
- низька вартість і зручність технічного обслуговування на майданчику без повернення на завод - виробник;
- робота на різних типах газу: природний, попутний і т.д.

Недоліком є концентрація виробництва на досить вузькому діапазоні потужностного ряду, порівняно з іншими марками когенераційних установок.

Особливості газопоршневих електрогенеруючих установок Guascor:

- Новітня розробка двигунів, безпосередньо під використання газового палива.
- Менш жорсткі вимоги до споживаного газу.

Двигуни Guascor пристосовані для роботи на газі різного складу. Конструкція камери згоряння дозволяє використовувати більш широкий спектр ступенів якості газу (наприклад, мінімально допустиме метанове число дорівнює 70, замість стандартних 80). Можливе застосування двопаливних двигунів, що працюють на суміші дизельного палива та газу, компенсуючи тим чином метанове число нижче 70. Це значно розширює область застосування установок Guascor.

- Застосування в установках новітніх розробок з галузі будови газових двигунів.

Двигуни обладнані сучасними, електронними системами регулювання подачі палива, швидкості і потужності. Двигуни Guascor відрізняються високими надійністю і продуктивністю при експлуатації в найважчих умовах. Двигуни обладнуються сучасною електронною системою виявлення і гасіння детонації DetCon. Значення допустимого рівня детонації заноситься в



центральний блок системи, куди надходять сигнали п'єзоелектричних датчиків детонації, розташованих на головках циліндрів. Всі процеси контролюються датчиками в режимі реального часу, обробляються і за допомогою цифрових сигналів передаються на комп'ютер оперативного персоналу. Це дозволяє миттєво зробити коригувальні дії для погашення детонації в разі її виникнення та якнайшвидшого відновлення робочого режиму.

- Надійність, простота застосування та обслуговування.

Двигуни Guascor відносяться до категорії двигунів з високим терміном роботи. Конструкція двигуна дозволяє експлуатувати його до капремонту близько 8 років. Допускається кілька капремонтів (кількість обмежена зносом матеріалу, з якого зроблені основні частини двигуна).

- Уніфікація деталей.

- Оперативні терміни поставки.

- Відсутність необхідності звернення безпосередньо до виробника для технічного обслуговування.

- Оптимальне поєднання ціна-якість в даному діапазоні потужностей.

Ціна і якість газопоршневих установок в ряді потужностей міняються в залежності від виробника. Установки Guascor є найбільш переважними за ціною з переліку високоякісної продукції на відрізку (300...1000) кВт.

- Гнучкість комплектації систем когенерації та управління.

Система когенерації (тобто система утилізації тепла і система аварійного скидання тепла) - це система, яка дозволяє використовувати тепло, вироблене установкою при роботі, для потреб споживача. При комплектації газопоршневих установок Guascor системою когенерації, проводиться аналіз потреб і побажань замовника, з урахуванням яких підбираються всі необхідні компоненти системи. Це відбувається в безпосередньому контакті з фахівцями компанії «Guascor SA» та Замовником.

- Можливість навчання персоналу обслуговування установок.

У разі побажання, можливе навчання персоналу замовника обслуговування установок Guascor силами своїх фахівців. Навчання можна провести як на місці, так і на заводі-виробнику.

- Відповідність ISO щодо якості та екології.

Газопоршневі установки Guascor сертифіковані за міжнародним стандартом якості ISO: 9001 і екологічному стандарту ISO: 14001.

4) Газопоршневі установки компанії «Caterpillar» (США).

Всі моделі газопоршневих електрогенераторних установок Cat володіють високою надійністю, довговічністю, економічністю та гнучкістю у відношенні застосовуваного палива. Вони можуть працювати на різних видах газоподібного палива, включаючи магістральний природний газ і біогаз. Компанія «Caterpillar» пропонує газопоршневі електрогенераторні установки одиничною потужністю у межах (10...3860) кВт.

Газопоршневі електрогенераторні установки Caterpillar це:

- повне вирішення питання електропостачання за допомогою єдиного джерела енергії;

- високий коефіцієнт корисної дії;

- широкий асортиментний ряд обладнання;

- простота вибору і покупки агрегатів;

- легкість монтажу та експлуатації;

- економна витрата палива;

- низькі експлуатаційні витрати;

- інтервал між капітальними ремонтами складає (60 000...100 000)

мотогодин;

- відмінні параметри перехідних процесів та робочих характеристик;

- відповідність токсичності вихлопних газів світовим стандартам;

- повна підтримка з боку дилерської мережі компанії «Caterpillar».

Когенераційні системи. Генераторні агрегати можуть оснащуватися системами когенерації для комбінованого вироблення електроенергії та тепла. Когенераційні установки дозволяють знизити на 40 % витрати палива

в порівнянні з роздільним виробництвом теплової та електричної енергії, при цьому загальний ККД установки перевищує 90 %.

Силові енергетичні модулі. Поставка електрогенераторних і когенераційних установок може здійснюватися не тільки для установки в приміщенні, але і в захисних всепогодних кожухах з різним ступенем шумозаглушення, а також в контейнерах для стаціонарної установки і на шасі. Конструкція силового модуля дозволяє легко і швидко проводити його підключення і відключення. Кілька модулів, з'єднаних для паралельної роботи, можуть виробляти будь-яку необхідну кількість енергії.

Головною перевагою електростанцій Caterpillar є їх висока надійність, у тому числі і при самих несприятливих умовах експлуатації, що досягається за рахунок застосування сучасних матеріалів, відпрацьованої методики виробництва та контролю за якістю продукції.

Недоліки електростанцій Caterpillar:

- порівняно дорогі електростанції, тому їх придбання доцільно для підприємств з безперервним циклом виробництва. Тільки для цих цілей з'являється виправдання високої ціни на ці генератори;

- в основному пропонується поставка на замовлення.

5) Газопоршневі електростанції компанії «MTU» (Німеччина).

Одинична потужність, що розвивається газопоршневими електростанціями MTU, знаходиться в діапазоні (116...1948) кВт.

Переваги газопоршневих електростанцій компанії «MTU»:

- можливість виробництва електричної та теплової енергії за рахунок ефективного використання палива з коефіцієнтом до 92 %;

- можливість розміщення установки в безпосередній близькості від споживача;

- висока надійність - ресурс до 240 тис. мотогодин;

- автоматизована система управління з можливістю дистанційної диспетчеризації;

- простота технічного обслуговування;

- перехід електропостачання об'єкту в першу категорію;
- мінімальні переробки існуючих схем електропостачання;
- для знову споруджуваних об'єктів вартість виконання ТУ вище, ніж установка власного джерела електроенергії;
- для котелень, які реконструюються достатньо замінити один з котлів на газопоршневий агрегат для вироблення електроенергії для власних потреб та прилеглих споживачів.

Недоліком газопоршневих установок MTU є порівняно висока вартість.

Особливо вигідно використовувати міні-ТЕС у великих котельнях, тому, що це дозволяє проводити профілактичний ремонт котлів при збереженні опалення, гарячого водопостачання та кондиціонування.

Окупність складає (3...6) років. Для випадку постійного середньодобового споживання електроенергії (для котелень та підприємств з безперервним технологічним процесом) термін окупності близько двох років.

Економія:

- немає необхідності в будівництві підвідних кабельних ліній електропостачання та теплових мереж;
- у сукупності вироблення електричної і теплової енергії економить до 40 % коштів;
- окупність будівництва власної міні-ТЕС на базі газопоршневих установок настає швидше, ніж окупність при підключенні до мереж, забезпечуючи тим самим швидке і стійке повернення інвестицій;
- надлишки електроенергії можна реалізовувати в існуючі мережі і отримувати прибуток.

Екологія:

- екологічна безпека;
- низький рівень шкідливих викидів (CO і NO<sub>x</sub>) в атмосферу;
- можливість зниження рівня викидів NO<sub>x</sub> в два рази регулюванням двигуна (за рахунок незначного зниження к.к.д. на (1...2) % і використанням каталізатора);

- низький рівень шуму - до 80 дБ.

Установки MTU можуть працювати на різних газоподібних паливах, а саме на природному газі, на біогазі, на газі стічних вод, на металургійних газах і газах сміттєвих звалищ, що сприяє збереженню позитивної екологічної ситуації, завдяки мінімальним токсичним викидам.

Газопоршневі електростанції компанії «MTU» відрізняються універсальністю, так як виробляють відразу два типи енергії: електричну і теплову, що робить виробництво більш ефективним при менших вкладеннях і дозволяє задіяти меншу кількість систем для отримання оптимального результату. Також відмінною рисою таких установок є їх автономність - вони можуть бути головним і єдиним джерелом електропостачання, що економічно обумовлено, але також вони можуть працювати спільно з іншими генераторами при професійній оптимізації роботи системи.

Генераторні установки MTU забезпечені надійними двигунами, що забезпечує їх безпеку і довговічність (термін служби при щоденному цілодобовому використанні (22...25) років. Велика ступінь автоматизації електростанції припускає легкість в експлуатації, а також можливість менших вкладень зважаючи на скорочення обслуговуючого персоналу, що займається підтриманням системи.

б) Газопоршневі установки компанії «Tedom» (Чехія).

Компанія «Tedom» пропонує газопоршневі електрогенераторні установки одиничною потужністю (23...5900) кВт.

Когенераційні установки Tedom серії Cento з діапазоном потужності (76...200) кВт представляють собою агрегати середньої потужності, які оснащені газовими двигунами на базі дизельних автомобільних двигунів.

Когенераційні установки Tedom серії Quanto являють собою агрегати середніх і високих потужностей (до 2000 кВт) на базі газових двигунів відомих виробників.

Переваги установок Tedom:

- висока надійність експлуатації електростанцій;

- автоматичне регулювання насиченості суміші для зниження вмісту шкідливих речовин у викидах;
- установка оснащена системою управління для оптимізації роботи двигуна;
- установка представляє собою компактний блок, що пристосований для швидкого підключення в мережу;
- при установці шумозахисного кожуха можливо значно знизити рівень шуму установки;
- можливість установки системи опалення для роботи при мінусовій температурі;
- модульна конфігурація системи керування дозволяє змінювати режими роботи установки (SPE, SPI і т.п.);
- можливість вивести основні сигнали для управління установкою (зовнішнє аварійне відключення, віддалений запуск) в затискну коробку замовника;
- співвідношення ціна/якість;
- тривалий термін служби установки електростанції;
- швидка окупність;
- широкий діапазон потужностей;
- випробування працездатності установки на заводі виробника;
- на підставі набутих знань і досвіду експлуатації когенераційних установок Tedom проводить постійне удосконалення обладнання.

#### Недоліки:

- висока ціна на звичайне типове обладнання;
- порівняно дорогі електростанції.

## 2 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОЛІГОНУ ДЛЯ ВИРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

### 2.1 Схема прийнятих технічних заходів

Об'єкт проектування відноситься до II категорії складності, клас відповідальності – СС1 відповідно до ДБН А 2.2-3-2012 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» і ДБН В.1.2-14-2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ».

Основна ідея проекту – використання біогазу в якості альтернативного палива для газопоршневого електроагрегату з метою виробництва електричної енергії.

Схема прийнятих технічних заходів:

- система збору біогазу, яка включає: перекриття плато-образної частини полігона ізолюючим шаром 0,6 м, з них 0,4 м піску, який є поряд з полігоном в достатній кількості та 0,2 м привозних потенційно родючих суглинків, буріння газовідвідних свердловин;
- прокладання колекторів потоків газу;
- установка модуль насос – факел;
- установка утилізації та трансформації біогазу в електричну енергію – газопоршнева генераторна установка;
- трансформаторна підстанція для передачі електричної енергії в мережі Енергетичної компанії.

Зона видалення біогазу перекривається ізолюючим шаром ґрунту – 0,6 м, лише з плато-образної частини полігона ТПВ, площиною – 3,75 га. На полігоні м. Енергодар ізолюючим шаром ґрунту перекриті секції 1,3,4 крім секції 2.

При роботі з перекривання ізолюючим шаром виконують наступні основні роботи:

- грубе і чистове планування поверхні плато-образної ділянки полігону;
- будівництво під'їзних шляхів до плато образної ділянки, влаштування в'їздів і доріг на них з урахуванням проходу техніки;
- покриття поверхні піщаним ґрунтом товщиною 0,4 м та потенційно родючими ґрунтами (суглинком) шаром 0,2 м.

Ізолюючий шар припиняє доступ кисню, чим зменшує ризик загоряння, а також локалізує звалищний газ у тілі полігону.

Потреби піщаного ґрунту – 2800 м<sup>3</sup> та потенційно родючого (суглинків) – 1400 м<sup>3</sup>.

Підготовка бурових майданчиків планується з метою забезпечення нормальних умов спорудження газовідвідних свердловин. Буровий майданчик вирівнюється бульдозером і облаштовується наступним чином:

- розмір майданчику – 5м x 9м (45 м<sup>2</sup>);
- розташування бурової установки – по довжині майданчику, в 2-ох метрах від однієї із границь;
- місце складування бурового шламу – не ближче, ніж 2 метри від бурової вишки, по праву сторону від установки;
- на кутах майданчику встановлюються знаки попередження;
- протипожежні засоби (вогнегасник, ящик з піском, багор, відро, лопата) розташовуються по ліву сторону від бурової установки.

Характер розташування і кількість газовідвідних свердловин в системі збору біогазу запроектовано з врахуванням морфологічних особливостей будови і параметрів масиву звалища, а також його ресурсу по генерації біогазу, розрахованого теоретично.

Сітка газовідвідних свердловин рівномірно покриває ефективну поверхню масиву. Діаметр буріння свердловин - 600 мм. Кількість свердловин – 30 штук. Проектна глибина свердловин змінюється у межах (3,5...10,5) метрів (загальна довжина буріння – 214 метрів погонних).



Для забору біогазу, в кожен свердловину монтується обсадна перфорована колона Ø 110 мм із поліетиленових труб. Загальна довжина труб 220 м, довжина перфорованої частини колони 118 м.

Для контролю кількості метану в свердловинах передбачається установка портативних газоаналізаторів.

Колектори в системі збору біогазу виконують функцію двохступеневого зосередження потоків газу, який буде надходити від газовідвідних свердловин, та поділяються на викидні колектори і магістральні.

Викидні колектори монтуються із поліетиленових труб Ø 63 мм різної довжини від кожної свердловини та загальною довжиною 2722,0 м. Викидні колектори об'єднують потоки газів від свердловин і об'єднуються та монтуються в газорегулюючі пункти із пластмаси розміром 2,4м x 0,8м x 0,6м. Кожен такий пункт включає 6 колекторів – від 2 секції, та по 8 колекторів від 1, 3, 4 секцій. Загальна кількість газорегулюючих пунктів – 4 штуки К-1-1, К-1-2, К-1-3, К-1-4.

Технічні характеристики викидних колекторів наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики викидних колекторів

№ п/п	Позначення на плані	Абсолютні відмітки прокладання, м	Довжина, м	Ухил (м/м)	Підключення колекторів
1	2	3	4	5	6
1	Г – 1 – 1	31,80 – 28,08	140,0	0,00	К – 1 – 1
2	Г – 1 – 2	31,20 – 28,08	140,0	0,00	К – 1 – 1
3	Г – 1 – 3	34,80 – 28,08	107,0	0,00	К – 1 – 1
4	Г – 1 – 4	34,60 – 28,08	107,0	0,00	К – 1 – 1
5	Г – 1 – 5	34,30 – 28,08	74,0	0,00	К – 1 – 1
6	Г – 1 – 6	34,10 – 28,08	74,0	0,00	К – 1 – 1
7	Г – 1 – 7	31,40 – 28,08	41,0	0,00	К – 1 – 1
8	Г – 1 – 8	32,40 – 28,08	41,0	0,00	К – 1 – 1
			Σ724,0		
9	Г – 2 – 9	32,10 – 28,08	144,0	0,00	К – 1 – 2
10	Г – 2 – 10	32,00 – 28,08	135,0	0,00	К – 1 – 2
11	Г – 2 – 11	36,00 – 28,08	103,0	0,00	К – 1 – 2
12	Г – 2 – 12	37,60 – 28,08	70,0	0,00	К – 1 – 2

13	Г – 2 – 13	33,40 – 28,08	47,0	0,00	К – 1 – 2
14	Г – 2 – 14	33,85 – 28,08	41,0	0,00	К – 1 – 2
			Σ540,0		
15	Г – 3 – 15	34,90 – 27,95	134,0	0,00	К – 1 – 3
16	Г – 3 – 16	36,40 – 27,95	144,0	0,00	К – 1 – 3
17	Г – 3 – 17	35,00 – 27,95	113,0	0,00	К – 1 – 3
18	Г – 3 – 18	37,90 – 27,95	107,0	0,00	К – 1 – 3
19	Г – 3 – 19	33,90 – 27,95	81,0	0,00	К – 1 – 3
20	Г – 3 – 20	37,40 – 27,95	73,0	0,00	К – 1 – 3
21	Г – 3 – 21	33,10 – 27,95	44,0	0,00	К – 1 – 3
22	Г – 3 – 22	33,10 – 27,95	44,0	0,00	К – 1 – 3
			Σ740,0		
23	Г – 4 – 23	38,00 – 27,86	139,0	0,00	К – 1 – 4
24	Г – 4 – 24	37,10 – 27,86	139,0	0,00	К – 1 – 4
25	Г – 4 – 25	37,80 – 27,86	106,0	0,00	К – 1 – 4
26	Г – 4 – 26	36,65 – 27,86	106,0	0,00	К – 1 – 4
27	Г – 4 – 27	37,10 – 27,86	74,0	0,00	К – 1 – 4
28	Г – 4 – 28	36,40 – 27,86	74,0	0,00	К – 1 – 4
29	Г – 4 – 29	33,10 – 27,86	40,0	0,00	К – 1 – 4
30	Г – 4 – 30	32,90 – 27,86	40,0	0,00	К – 1 – 4
			Σ718,0		
	Разом		2722,0		

Магістральні колектори об'єднують потоки біогазу від газорегулюючих пунктів. Магістральний колектор МК-2-1 об'єднує свердловини – 1 – 8, МК 2-2 – 9 – 14, МК 2-3 – 15 – 22, МК 2-4 – 23 – 30.

Магістральні колектори зосереджують та транспортують весь об'єм зібраного біогазу, що надходить від системи дегазації полігону.

Чотири магістральних колектори, проектним рішенням, повинні забезпечити безперервне живлення паливом газопоршневих агрегатів. Колектори монтуються із поліетиленових труб діаметром 160 мм. Загальна довжина колекторів складає 315 метрів.

Технічні характеристики магістральних колекторів наведені в таблиці 2.2.

На магістральному колекторі перед модулем насосом-факелом передбачається установка вологовловлювача.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики магістральних колекторів

№ п/п	Позначення на плані	Абсолютні відмітки	Довжина (м)	Ухил (м/м)	Підключення колекторів
1	МК-2-1	28,30 ÷ 28,30	70	0,00	К – 1 – 1 ÷ К – 1 – 2
2	МК-2-2	28,30 ÷ 27,95	57	0,00	К – 1 – 2 ÷ К – 1 – 3
3	МК-2-3	27,95 ÷ 27,86	72	0,00	К – 1 – 3 ÷ К – 1 – 4
4	МК-2-4	27,86 ÷ 27,78	116	0,00	К – 1 – 4 ÷ вузол утилізації біогазу
			Σ315		

## 2.2 Характеристика обладнання вузла утилізації біогазу

Приміщення вузла утилізації буде розташовано на площадці проммайданчику розміром 30 м x 13 м та складається з наступних елементів:

- установка насос – факел;
- газопоршнева генераторна установка;
- трансформаторна підстанція.

Проммайданчик має асфальтове покриття. Під установку утилізації передбачається залізобетонне покриття на основі з піску (шар 0,15 метра) і з щебеню (шар 0,15 метра). Товщина бетонного покриття – 0,25 метра. Покриття армоване металевією сіткою 50 мм x 50 мм (товщина прута 8 мм).

Основне приміщення вузла утилізації біогазу, прийнято у вигляді укомплектованого необхідним обладнанням морського металевіого контейнера. Розмір утилізатора в плані 12,0 м x 2,5 м та висотою 2,5 м.

Огорожа площадки виконується сіткою-рабицею, встановленою в секції з металевіого кутника 30 мм x 30 мм. Розмір секції 3,0 м x 1,5 м. Опори огорожі - металева труба діаметром 50 мм. Висота опор - 1,5 метра.

По периметру проммайданчика передбачається огорожа яка виконується сіткою-рабицею, встановленою в секції з металевіого кутника 30мм x 30 мм. Розмір секції 2,0 м x 1,5 м. Опори огорожі – металева труба діаметром 50 мм. Висота опор – 1,5 метра, кількість 50 штук.

Характеристика установки насос-факел наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристика установки насос-факел

Потужність установки	250 м <sup>3</sup> /год.
Витрата продуктів згорання	250 м <sup>3</sup> /год.
Розрядження	-100 mbar
Нагнітання	+100 mbar
Перепад тиску	200 mbar
Потужність встановленого двигуна насоса	5,5 кВт
Температура горіння	(850...1000) °С
Діапазон згорання	(100-500) м <sup>3</sup> /год СН <sub>4</sub> 50 %
Мінімальний відсоток СН <sub>4</sub>	25 %
Обсяг газів, що відходять після факела	22,3 м <sup>3</sup> /хвилину
Якісний склад газів, що відходять на факелі	Насичені вуглеводні: 2,0 мг/нм <sup>3</sup> СО: 32 мг/нм <sup>3</sup> NO <sub>x</sub> : 99 мг/нм <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> : 17,8 мг/нм <sup>3</sup> При н.у, вмісті О <sub>2</sub> : 3%
Час роботи насосу	Цілодобово 365 днів у рік
Час роботи факелу:	- під час зупинення газопоршневої генераторної установки – 45 діб у рік; - обсяг газу, який перевищує продуктивність газопоршневої генераторної установки, спалюється на факелі

Виходячи з аналізу ринку газопоршневих установок для вироблення електроенергії з біогазу проектом було обрано установку G 3406 LE -190 фірми «Caterpillar». Загальний вигляд газопоршневої генераторної установки представлено на рисунку 2.1., характеристика установки приведена в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Характеристика газопоршневої генераторної установки

Найменування	Показники
1	2
Електрична потужність	190 кВт
Витрата палива	
Навантаження 100 %	57 м <sup>3</sup> /год
Навантаження 75 %	45 м <sup>3</sup> /год
Навантаження 50 %	33 м <sup>3</sup> /год

## Продовження таблиці 2.4

1	2
Система охолодження: Мах температура охолоджуючої рідини на виході з рубашки охолодження	99°C
Система вихлопу Витрати повітря на горіння палива Температура вихлопних газів на виході з двигуна Витрата вихлопних газів	14,5 м <sup>3</sup> /хв. 415°C 15,1 м <sup>3</sup> /хв.
Якісний склад газів, що відходять на трубу NO <sub>2</sub> при вмісті O <sub>2</sub> 5 % CO при вмісті O <sub>2</sub> 5 % HC при вмісті O <sub>2</sub> 5 % SO <sub>2</sub> при вмісті O <sub>2</sub> 5 % O <sub>2</sub>	500 мг/м <sup>3</sup> 679 мг/м <sup>3</sup> 3390 мг/м <sup>3</sup> 83,2 мг/м <sup>3</sup> 8,5 мг/м <sup>3</sup>
Час роботи	цілодобово 320дн. у рік



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд газопоршневої генераторної установки G 3406 LE -190 фірми «Caterpillar»

Трансформаторна підстанція.

Силовий масляний трифазний двохомотувальний понижуючий трансформатор загальнопромислового призначення потужністю до 1000 кВА призначений для зовнішнього встановлення.

Масляний трансформатор типу ТМ потужністю до 1000 кВА на номінальну напругу первинної обмотки 10 кВ і номінальну напругу вторинної обмотки 0,4 кВ частотою 50 Гц (рис.2.2) . Схема і група з'єднань обмоток У/Ун-0 або Д/Ун-11.

Вид кліматичного виконання – У1 за ГОСТ 15150-69 [16].

Нормальна експлуатація трансформатору забезпечується завдяки наступним умовам:

- висота над рівнем моря повинна складати не більше 1000 м;
- навколишнє середовище повинно бути невибухонебезпечним, не містити струмопровідного пилу, агресивних газів та парів у концентраціях, які знижують параметри трансформатора до неприпустимих меж;



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд понижуючого трансформатора

- швидкість повітря має бути до 36 м/с (швидкість напору повітря - до 800 Па);

- тип атмосфери - II відповідно ГОСТ 15150-69 [16];

- температура навколишнього середовища - від -45°C до +40°C.

Регулювання напруги виконується перемиканням без порушення (ПБП) за умови відключення від мережі трансформатора як зі сторони вищої (ВН), так і нижчої (НН) напруги. Напругу регулюють з боку вищої напруги на величину  $\pm 2 \times 2,5$  % від номінального значення.

Вводи ВН і НН трансформатора ТМ зйомні, ізолятори - прохідні фарфорові. При струмах 1000А на струмовідні стержні кріплять контактні затискачі з лопаткою, що забезпечує під'єднання шини та кабельних наконечників.

Трансформатор ТМ забезпечений поширювачем масла, останній забезпечує наявність масла за усіх режимів роботи трансформатора та коливаннях температури навколишнього середовища. З метою захисту масла від впливу зовнішньої атмосфери трансформатор забезпечений масляним затвором та осушувачем повітря, який заповнений сорбентом, що поглинає вологу із повітря, яке надходить до розширювача. Для контролю рівнів масла у трансформаторі обладнюється поплавковий маслопоказчик, що кріпиться на маслорозширювач.

З метою збільшення поверхні охолодження у трансформаторі ТМ із маслопоширювачем використовуються радіатори чи гофровані стінки.

З ціллю вимірювання температури верхніх шарів масла у баку трансформатора на кришці встановлюють термометр.

У трансформаторах, що мають потужність 1000 кВА передбачається газове реле.

Трансформатори з потужністю до 1000 кВА укомплектовані катками.

Апаратурно-технологічна схема збору та утилізації біогазу на полігоні ТПВ м. Енергодар представлена на рисунку 2.3.

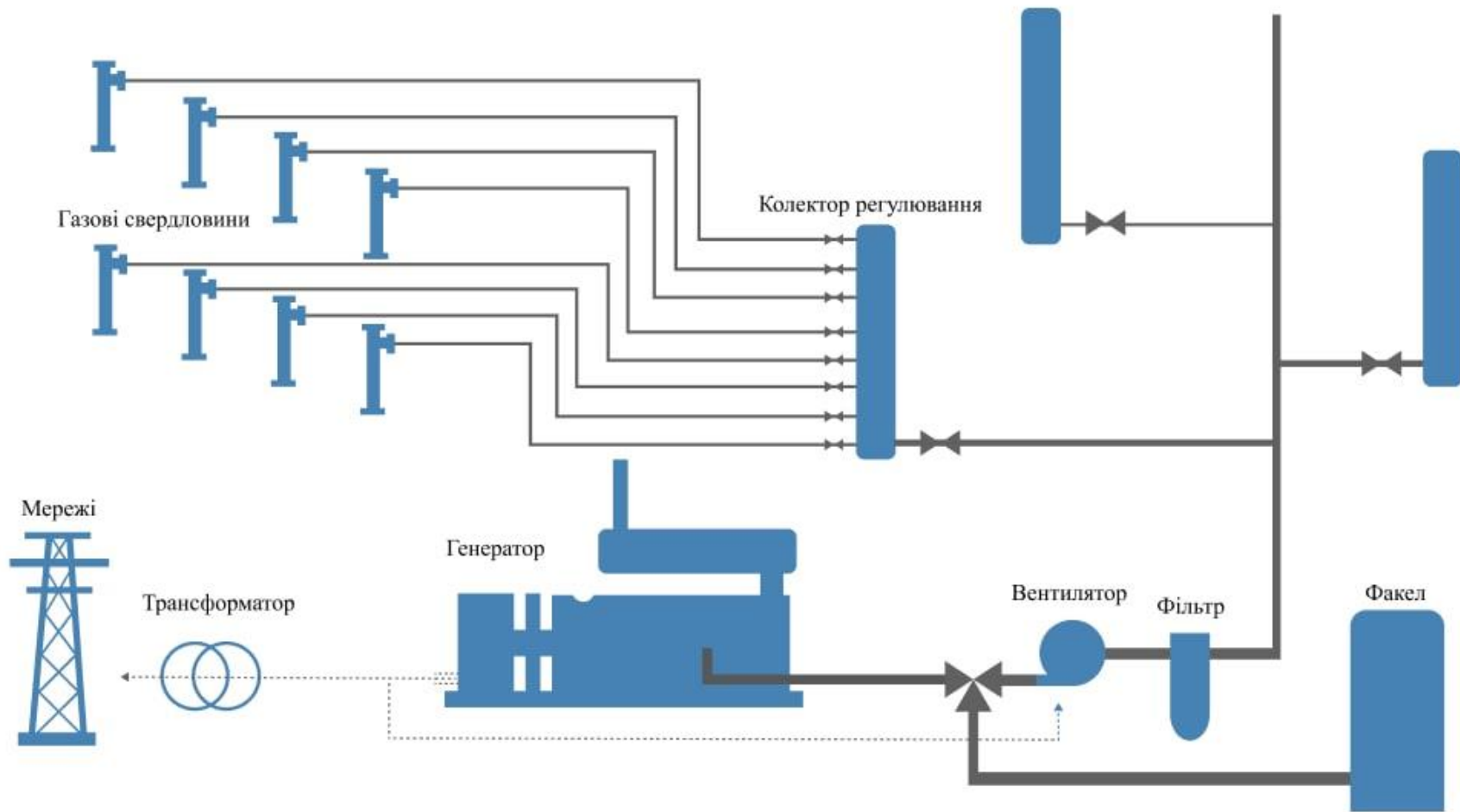


Рисунок 2.3 – Апаратурно-технологічна схема збору та утилізації біогазу на полігоні ТПВ м. Енергодар



### 2.3 Розрахунок потужності об'єкту проектування

Потужність об'єкту проектування визначається на основі:

- теоретичних розрахунків біогазового потенціалу полігону ТПВ м. Енергодару;
- ефективності вилучення звалищного газу системою збору;
- якісного складу біогазу;
- номінальної витрати газового палива газопоршневими агрегатами.

Згідно розрахунків, полігон ТПВ м. Енергодар має потенціал до генерації біогазу в межах (16,2...19,4) млн. м<sup>3</sup>/рік, або (1850...2215) м<sup>3</sup>/год. Тестові дослідження зафіксували вміст метану в біогазі на рівні (45...60) %. При цьому враховується, що близько 30 % газу окислюється під дією фізико-хімічних процесів.

На практиці приймається, що ефективність вилучення звалищного газу з масиву полігону складає біля 50 %.

Номінальна витрата газового палива (по природному газу) на газопоршневих генераторних установках складає 0,4 м<sup>3</sup> на 1 кВт виробленої електроенергії.

До даного проекту застосовна методологія АСМ0001 [17].

Методологія АСМ0001 для визначення скорочення викидів використовує наступну формулу:

$$ER_y = BE_y - PE_y, \quad (2.1)$$

де  $ER_y$  - скорочення викидів парникових газів у році «у», тон CO<sub>2</sub> - екв.;

$BE_y$  - базові викиди парникових газів у році «у», тон CO<sub>2</sub> - е;

$PE_y$  - проектні викиди парникових газів у році «у», тон CO<sub>2</sub> - е

Оцінка базових викидів парникових газів. Базові викиди парникових газів розраховуються за формулою:

$$BE_y = (MD_{\text{project},y} - MD_{\text{BL},y}) \cdot GWP_{\text{CH}_4} + EL_{\text{LFG},y} \cdot CEF_{\text{elec,BL},y} + ET_{\text{LFG},y} \cdot CEF_{\text{thermBL},y}, \quad (2.2)$$

де  $BE_y$  - базові викиди парникових газів у році «у», тон  $\text{CO}_2$  - е;

$MD_{\text{project},y}$  – кількість метану, знищеного в рамках проекту протягом року, «у», тон  $\text{CH}_4$ /рік;

$MD_{\text{BL},y}$  - кількість метану, який був би знищений протягом року «у» за відсутності проекту, тон  $\text{CH}_4$ /рік;

$GWP_{\text{CH}_4}$  – потенціал глобального потепління для метану, який на перший період зобов'язань складає 21, тон  $\text{CO}_2$ /тон  $\text{CH}_4$ ;

$EL_{\text{LFG},y}$  - об'єм вироблюваної протягом року електроенергії, МВт·год;

$CEF_{\text{elec,BL},y}$  – показник питомої заміщеної електроенергії по викидах  $\text{CO}_2$ , тон  $\text{CO}_2$ /МВт·год;

$ET_{\text{LFG},y}$  - чистий об'єм заміщеної протягом року теплової енергії, ТДж;

$CEF_{\text{ther BL},y}$  - показник питомої заміщеної теплової енергії по викидах  $\text{CO}_2$ , визначений за допомогою іншої методології, тон  $\text{CO}_2$ /ТДж.

В рамках проекту, оскільки тепло не виробляється, дана формула може бути виражена в наступному вигляді:

$$BE_y = (MD_{\text{project},y} - MD_{\text{BL},y}) \cdot GWP_{\text{CH}_4} + EL_{\text{LFG},y} \cdot CEF_{\text{elec,BL},y}. \quad (2.3)$$

Кількість метану, який був би знищений протягом року «у» за відсутності проекту, розраховується за формулою:

$$MD_{\text{BL},y} = MD_{\text{project},y} \cdot AF, \quad (2.4)$$

де  $AF$  - корегувальний коефіцієнт.

Для даного проекту нормативні та контрактні вимоги не визначені і обраний попередньо базовий сценарій передбачає вихід біогазу

безпосередньо в атмосферу. Таким чином, коефіцієнт AF дорівнює 0%, тобто  $MD_{BL,y}$  дорівнює нулю також.

Для визначення кількості метану, знищеного в рамках проекту протягом року, методологія АСМ0001 використовує наступну формулу:

$$MD_{project,y} = MD_{flared,y} + MD_{electricity,y} + MD_{thermal,y} + MD_{PL,y}, \quad (2.5)$$

де  $MD_{flared,y}$  – кількість метану, що утилізована на факелі в результаті впровадження проекту, тон  $CH_4$ ;

$MD_{electricity,y}$  - кількість метану, що утилізована при виробленні електроенергії, тон  $CH_4$ ;

$MD_{thermal,y}$  - кількість метану, що утилізована при виробленні теплової енергії, тон  $CH_4$ ;

$MD_{PL,y}$  - кількість метану, що відправлений споживачу, тон  $CH_4$ .

В рамках проекту, оскільки метан буде використовуватися тільки для утилізації на факелі та виробництва електроенергії, дана формула може бути виражена в наступному вигляді:

$$MD_{project,y} = MD_{flared,y} + MD_{electricity,y}. \quad (2.6)$$

У випадку утилізації на факелі для визначення кількості метану, що утилізований протягом року методологія АСМ0001 використовує наступну формулу:

$$MD_{flared,y} = (LFG_{flared,y} \cdot W_{CH_4,y} \cdot D_{CH_4}) - (PE_{flare,y} / GWP_{CH_4}), \quad (2.7)$$

де  $LFG_{flared,y}$  – кількість біогазу, що утилізований при спалюванні на факелі протягом року, м<sup>3</sup>;

$W_{CH_4,y}$  – середній вміст метану у біогазі за результатами вимірювань на протязі року «у» віднесений до загальної кількості зібраного біогазу,  $m^3 CH_4 / m^3 LGF$ ;

$D_{CH_4,y}$  – густина метану,  $тон CH_4 / m^3 CH_4$ ;

$PE_{flare,y}$  – проектні викиди від утилізації біогазу протягом року «у»,  $тон CO_2 - e$ .

У випадку, коли виробляється електроенергія, для визначення кількості метану, що утилізований при виробленні електроенергії протягом року, використовується наступна формула:

$$MD_{electricity,y} = LFG_{electricity,y} \cdot W_{CH_4,y} \cdot D_{CH_4}, \quad (2.8)$$

де  $LFG_{electricity,y}$  – кількість біогазу, що утилізований при виробленні електроенергії протягом року,  $m^3$ .

Для більшої точності кількість метану, що утилізований при виробленні електроенергії протягом року, повинна розраховуватись на основі погодинних вимірювань потоку звалищного газу і вмісту метану, у відповідності з наступним рівнянням:

$$MD_{electricity,y} = \sum (LFG_{electricity,h} \cdot W_{CH_4,h} \cdot D_{CH_4,h}), \quad (2.9)$$

де  $D_{CH_4,h} = D_{CH_4} = 0,0007168$   $тон CH_4 / m^3 CH_4$  при стандартній температурі і тиску.

Оцінка базових викидів метану в атмосферу. Методологія передбачає мультифазну модель для розрахунку кількості метану ( $BE_{CH_4,SWDS,y}$ ), що може утворитися в процесі зберігання твердих побутових відходів на полігоні без реалізації проекту. Розрахунок базується на рівнянні розпаду першого порядку. Модель змінюється в залежності від типу відходів  $j$ , швидкості їх розпаду  $k_j$  та вмісту органічного вуглецю ( $DOC_j$ ), здатного до розпаду.

Кількість метану, що утворюється на протязі року «у» ( $BE_{CH_4,SWDS,y}$ ) розраховується за формулою:

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi \cdot (1 - f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - OX) \cdot 16/12 \cdot F \times \\ \times DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot (e^{-k(y-x)}) \cdot (1 - e^{-k_j}), \quad (2.10)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт, що враховує похибку розрахункової моделі:  $\varphi=0,9$ ;

$f$  - доля метану, що збирається на полігоні та спалюється на факелі або використовується іншим чином:  $f=0$ ;

$GWP_{CH_4}$  - потенціал глобального потепління метану, дійсний для періоду зобов'язань, що розглядається:  $GWP_{CH_4}=21$ ;

$OX$  - фактор окислення (відображає кількість метану з ТПВ, що окислюється в ґрунті або іншому матеріалі, що покриває відходи:  $OX=0,1$ ;

$F$  - доля метану в біогазі (об'ємна доля):  $F=0,5$ ;

$DOC_f$  - доля здатного до розкладу органічного вуглецю:  $DOC_f=0,5$ ;

$MCF$  - коефіцієнт похибки виходу метану:  $MCF=0,8$ ;

$W_{j,x}$  - кількість органічних відходів типу «j», що були захоронені у році «x», тон;

$DOC_j$  - доля (масова) здатного до розкладу органічного вуглецю у відходах «j»;

$k_j$  - швидкість розпаду сміття «j»;

$j$  - тип сміття;

$x$  - рік періоду кредитування: «x» починається з першого року першого кредитного періоду ( $x = 1$ , рік 2021) до кінця року «у», для якого підраховується скорочення викидів метану ( $x = y$ , рік 2030);

$y$  - рік, для якого проводяться розрахунки скорочення викидів метану.

Коефіцієнт похибки розрахункової моделі ( $\varphi$ ). Для врахування можливих похибок у розрахунку, а також для консервативності оцінки даних,

вводиться коефіцієнт  $\phi=0,9$ , таким чином результати розрахунки занижуються на 10 %.

Доля метану, зібраного на полігоні та спаленого на факелі або використовуваного іншим чином ( $f$ ). Наразі на полігоні метан не збирається, тому при розрахунку необхідно прийняти  $f=0$ .

Коефіцієнт окислення (OX). Фактор окислення показує кількість метану полігону, яка була окислена в матеріалі покриття полігону (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Коефіцієнт окислення

Тип звалища	Значення коефіцієнту окислення
Контрольоване (але не вкрита провітрюваним матеріалом), неконтрольоване та СТО поза категорією	0
Контрольоване, $\text{CH}_4$ вкритий окислюючим матеріалом (грунт, компост)	0,1

Вміст метану у газі ( $F$ ). Значення цього фактору приймається рівним 0,5.

Масова частка органічного вуглецю, здатного до розкладу ( $\text{DOC}_f$ ). Цей коефіцієнт відображає той факт, що частина органічного вуглецю не розкладається або розкладається за анаеробних умов та дуже повільно. Значення цього коефіцієнту приймається рівним 0.5.

Коефіцієнт похибки виходу метану (MCF). Коефіцієнт враховує вірогідність того, що на неконтрольованих полігонах з тієї ж самої кількості відходів може утворюватись менша кількість метану у порівнянні з контрольованими полігонами завдяки аеробному розпаду відходів у верхніх шарах полігону. Значення коефіцієнту похибки наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Коефіцієнт похибки виходу метану

Тип звалища	Значення коефіцієнту похибки виходу метану
Анаеробні контрольовані полігони. Полігони контрольованого типу (відходи розміщуються на чітко визначених ділянках, наявні засоби запобігання пожегів та несанкціонованого збору відходів), з застосуванням хоча б однієї з таких технологій: (а) укриття полігону, (б) механічне ущільнення, (в) вирівнювання поверхні полігону.	1,0
Напіванаеробні контрольовані полігони. Полігони контрольованого типу, де передбачена хоча б одна з можливостей доступу повітря в тіло полігону: (а) укриття проникним матеріалом, (б) система дренажу фільтрату, (в) регулююча водойма, (г) система пасивної вентиляції газу.	0,5
Неконтрольовані полігони з великою глибиною або високим рівнем. Цей варіант стосується всіх полігонів ТПВ, що не підпадають під поняття контрольованих звалищ, та мають глибину більше 5-ти метрів, або рівень вод близький до рівня поверхні. Останнє стосується заповнення сміттям водойм, річок або заболочених територій	0,8
Неконтрольовані неглибокі звалища. До цієї категорії підпадають всі звалища ТПВ, що не підпадають під поняття контрольованих звалищ, але мають глибину меншу за 5 метрів	0,4
Інші	0,6

Для полігону значення коефіцієнту прийнято рівним 0,8.

Масова частка органічного вуглецю, здатного до розкладу в масі сміття окремого типу  $j$  ( $DOC_j$ ). Для розрахунку використовується показники масового вмісту органічного вуглецю здатного до розкладу (табл. 2.7.)

Швидкість розпаду відходів типу  $j$  ( $k_j$ ). Показники швидкості розпаду різних типів відходів наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.7. - Масова частка органічного вуглецю, здатного до розкладу в масі сміття окремого типу j

Тип відходів j	DOCj (% вологої маси)	DOCj (% сухої маси)
Деревина	43	50
Шлам, папір, картон (виключаючи мул)	40	44
Їжа, харчові відходи, напої, тютюн (виключаючи мул)	15	38
Текстиль	24	30
Садове та паркове сміття	20	49
Скло, пластик, метал, інше інертне сміття	0	0

Примітка: СРТ – середня річна температура, СРО – середня річна кількість опадів, ПВ – потенціал випаровування. СРО/ПВ – це відношення середньої річної кількості опадів до потенціалу випаровування.

Для розрахунків у випадку полігону використано значення  $k_j$  для помірного сухого клімату.

Таблиця 2.8 – Швидкість розпаду відходів типу j

Тип відходів (j)		Кліматична зона			
		Північний та помірний (СРТ ≤ 20°C)		Тропічний (СРТ > 20°C)	
		Сухий (СРО/ПВ < 1)	Вологий (СРО/ПВ > 1)	Сухий (СРО < 1000мм)	Вологий (СРО > 1000мм)
Повільний розпад	шлам, папір, картон (за виключенням мулу), текстиль	0,04	0,06	0,045	0,07
	деревина, продукція з неї, солома	0,02	0,03	0,025	0,035
Помірний розпад	Інші органічні відходи (не харчового походження), садово-паркове сміття	0,05	0,10	0,065	0,17
Швидкий розпад	Їжа, харчові відходи, напої, тютюн (за виключенням мулу)	0,06	0,185	0,085	0,40



Також при визначенні кількості метану, знищеного в рамках проекту протягом року, необхідно враховувати ефективність системи дегазації, яка буде встановлена в проектній діяльності. Розрахунки проводяться за наступною формулою:

$$MD_{\text{project,y}} = (BE_{\text{CH}_4,\text{SWDS,y}} \cdot CE_{\text{project,y}}) / GWP_{\text{CH}_4}, \quad (2.11)$$

де  $CE_{\text{project,y}}$  - ефективність системи дегазації, яка буде встановлена в проектній діяльності, %.

Використання формули (2.11) дає можливість спростити формулу для визначення базових викидів парникових газів у році «у»:

$$BE_y = (BE_{\text{CH}_4,\text{SWDS,y}} \cdot CE_{\text{project,y}}) + (EL_{\text{LFG,y}} \cdot CEF_{\text{elec,BL,y}}). \quad (2.12)$$

Проектні викиди. Проектні викиди парникових газів у році «у» розраховуються за формулою:

$$PE_y = PE_{\text{EC,y}} + PE_{\text{FC,j,y}}, \quad (2.13)$$

де  $PE_y$  - проектні викиди парникових газів у році «у», тон  $\text{CO}_2$  - е;

$PE_{\text{EC,y}}$  – викиди від споживання електроенергії у році «у», тон  $\text{CO}_2$  - е;

$PE_{\text{FC,j,I}}$  - викиди від споживання тепла у році «у», тон  $\text{CO}_2$  - е.

В цьому проекті електроенергія та тепло з зовні використовуватися не будуть, тому  $PE_y$  буде дорівнювати 0.

Проектні викиди від споживання електроенергії розраховуються за наступною формулою:

$$PE_{\text{EC,y}} = \sum EC_{\text{PJ,j,y}} \cdot EF_{\text{EL,j,y}} \cdot (1 + \text{TDL}_{\text{j,y}}), \quad (2.14)$$

де  $EC_{PI,j,y}$  - кількість електроенергії, яка, згідно проекту, буде споживатися з мережі джерелом «j» протягом року «у», МВт·год/рік;

$EF_{EL,j,y}$  - коефіцієнт викидів при виробленні електроенергії для джерела «j» у рік «у», тон  $CO_2$ /МВт·год;

$TDL_{j,y}$  - середні технічні втрати в мережі при забезпеченні електроенергією джерела «j» у рік «у». %.

Для розрахунку коефіцієнту викидів при виробленні електроенергії ( $EF_{EL,j,y}$ ) присвоюється значення показника питомої заміщеної електроенергії по викидах  $CO_2$  ( $CEF_{elec,BL,y}$ ).

Оскільки споживана електроенергія є єдиним джерелом викидів по проекту, то викиди від споживання тепла ( $PE_{FC,j,I}$ ) дорівнюють нулю, то проектні викиди парникових газів можна розрахувати за формулою:

$$PE_y = \sum EC_{PI,j,y} \cdot EF_{EL,j,y} \cdot (1 + TDL_{j,y}). \quad (2.15)$$

Розраховані розрахунки за формулою (2.10) щодо кількості біогазу, які утворюються на полігоні, визначені на підставі математичних моделей, заносимо до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Кількість біогазу, яка визначена на підставі математичних моделей

Роки	Енергодар		
	Кількість біогазу млн. м <sup>3</sup> /рік	Зібраний біогаз млн. м <sup>3</sup> /рік	Зібраний біогаз тис. тон/рік
1	2	3	4
2021	1,612	0,806	0,935
2022	1,489	0,745	0,864
2023	1,375	0,688	0,819
2024	1,270	0,635	0,737

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
2025	1,174	0,587	0,670
2026	1,095	0,548	0,636
2027	1,016	0,508	0,589
2028	0,955	0,478	0,554
2029	0,894	0,447	0,519
2030	0,832	0,416	0,483
2031	0,788	0,394	0,457
2032	0,736	0,368	0,427
2033	0,701	0,351	0,407
2034	0,657	0,329	0,382
2035	0,622	0,311	0,361
2036	0,596	0,298	0,346
2037	0,561	0,281	0,326
2038	0,526	0,263	0,305
Всього	16,899	8,453	9,817

Значення  $BE_{CH_4,SWDS,y}$  розраховуються за допомогою формули 2.10. Значення  $BE_{CH_4,SWDS,y}$  необхідно помножити на розрахункову ефективність системи дегазації, яка буде встановлена ( $CE_{project,y}$ ).

Розрахунки заносимо до таблиці 2.10.

Базовий рівень викидів – електричний компонент ( $EL_{LFG,y} \cdot CEF_{elec,BL,y}$ ).

Базовий рівень викидів  $CO_2$  при виробництві електроенергії розраховується як об'єм виробленої протягом року електроенергії ( $EL_{LFG,y}$ ) помножений на

Таблиця 2.10 – Розрахунок скорочення викидів метану

Рік	$BE_{CH_4,SWDS,y}$	$CE_{project,y}$	$BE_{CH_4,SWDS,y} \cdot CE_{project,y}$
	Кількість метану, що утворюється, млн. м <sup>3</sup>	Ефективність системи дегазації, яка встановлюється, %	Обсяг скорочення викидів метану з урахуванням ефективності системи дегазації, млн. м <sup>3</sup>
1	2	3	4
2021	0,806	50	0,403
2022	0,745	50	0,373
2023	0,688	50	0,344
2024	0,635	50	0,318
2025	0,587	50	0,294
2026	0,548	50	0,274

Продовження таблиці 2.10

2027	0,508	50	0,254
2028	0,478	50	0,239
2029	0,447	50	0,224
2030	0,416	50	0,208
2031	0,394	50	0,197
2032	0,368	50	0,184
2033	0,351	50	0,176
2034	0,329	50	0,165
2035	0,311	50	0,156
2036	0,298	50	0,149
2037	0,281	50	0,141
2038	0,263	50	0,132
Всього	8,453	50	4,231

показник питомої заміщеної електроенергії по викидах  $\text{CO}_2$  ( $\text{CEF}_{\text{elec,BL,y}}$ ). Показник  $\text{CEF}_{\text{elec,BL,y}}$  береться на рівні 0,8 тон  $\text{CO}_2$  - е/МВт·год.

Всього базових викидів ( $\text{BE}_y$ ). Базовий рівень викидів розраховується як сума скорочення викидів парникових газів з урахуванням ефективності системи дегазації ( $\text{BE}_{\text{CH}_4,\text{SWDS,y}} \cdot \text{CE}_{\text{project,y}}$ ) (таблиця 2.11) та базових викидів  $\text{CO}_2$  при виробництві електроенергії ( $\text{EL}_{\text{LFG,y}} \cdot \text{CEF}_{\text{elec,BL,y}}$ ) (таблиця 2.11).

Таблиця 2.11 – Розрахунок базового рівня викидів при виробництві електроенергії

Рік	Електрична потужність полігону, МВт	Час роботи, год	Валовий обсяг виробленої електроенергії, МВт·год	Електроенергія, що споживається на полігоні, МВт·год	$\text{EL}_{\text{LFG,y}}$	$\text{EL}_{\text{LFG,y}} \cdot \text{CEF}_{\text{elec,BL,y}}$
					Обсяг виробленої електроенергії, МВт·год	Базові викиди $\text{CO}_2$ , тис. $\text{м}^3$
1	2	3	4	5	6	7
2021	0,18	7,68	1,382	0,02	1,317	0,538
2022	0,20	7,68	1,536	0,02	1,463	0,597
2023	0,20	7,68	1,536	0,02	1,463	0,597
2024	0,20	7,68	1,536	0,03	1,463	0,597
2025	0,20	7,68	1,536	0,03	1,463	0,597
2026	0,23	7,68	1,766	0,03	1,682	0,686

Продовження таблиці 2.11

11	2	3	4	5	6	7
2027	0,20	7,68	1,536	0,03	1,463	0,597
2028	0,18	7,68	1,382	0,03	1,317	0,538
2029	0,18	7,68	1,382	0,03	1,317	0,538
2030	0,15	7,68	1,152	0,03	1,097	0,443
2031	0,15	7,68	1,152	0,03	1,097	0,443
2032	0,13	7,68	0,998	0,03	0,950	0,388
2033	0,13	7,68	0,998	0,03	0,950	0,388
2034	0,10	7,68	0,768	0,02	0,731	0,298
2035	0,10	7,68	0,768	0,02	0,731	0,298
2036	0,10	7,68	0,768	0,02	0,731	0,298
2037	0,10	7,68	0,768	0,02	0,731	0,298
2038	0,08	7,68	0,614	0,02	0,585	0,239
Всього	-	138,240	21,578	0,46	20,551	8,378

Таблиця 2.11 – Розрахункові базові викиди парникових газів

Рік	$BE_{CH_4,SWDS,y} \cdot CE_{project,y}$	$EL_{LFG,y} \cdot CEF_{elec,BL,y}$	$BE_y = (BE_{CH_4,SWDS,y} \cdot CE_{project,y}) + (EL_{LFG,y} \cdot CEF_{elec,BL,y})$
	Обсяг скорочення викидів метану з урахуванням ефективності системи дегазації, тис. м <sup>3</sup>	Базові викиди CO <sub>2</sub> , тис. м <sup>3</sup>	Розрахункові базові викиди парникових газів, тис. м <sup>3</sup>
1	2	3	4
2021	403,00	0,538	403,538
2022	373,00	0,597	373,597
2023	344,00	0,597	344,597
2024	318,00	0,597	318,597
2025	294,00	0,597	294,597
2026	274,00	0,686	274,686
2027	254,00	0,597	254,597
2028	239,00	0,538	239,538
2029	224,00	0,538	224,538
2030	208,00	0,443	208,443
2031	197,00	0,443	197,443
2032	184,00	0,388	184,388
2033	176,00	0,388	176,388
2034	165,00	0,298	165,298

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
2035	156,00	0,298	156,298
2036	149,00	0,298	149,298
2037	141,00	0,298	141,298
2038	132,00	0,239	132,239
Всього	4231,00	8,378	4239,378

Проектні викиди ( $PE_y$ ). У нашому випадку викиди по проекту дорівнюють нулю, за рахунок використання електроенергії у рамках проекту. Розрахунок проектних викидів наведений в таблиці 2.12.

Скорочення викидів. Скорочення викидів, пов'язані з проектною діяльністю, можна розрахувати використовуючи дані таблиць 2.11 та 2.12. Результати вказані в таблиці 2.13.

Таблиця 2.12 – Розрахунок проектних викидів  $CO_2$  при передачі електроенергії

Рік	$EC_{PJ,j,y}$	$EF_{EL,j,y}$	$TDL_{j,y}$	$PE_y = EC_{PJ,j,y} \cdot EF_{EL,j,y} \cdot (1 + TDL_{j,y})$
	Кількість електроенергії, яка, згідно проекту, буде споживатися з мережі, МВт·год	Коефіцієнт викидів при виробленні електроенергії, тон $CO_2$ - е/МВт·год	Втрати при передачі та розподілі, %	Проектні викиди $CO_2$ , тис. $m^3$
1	2	3	4	5
2021	0,00	0,807	20	0,00
2022	0,00	0,807	20	0,00
2023	0,00	0,807	20	0,00
2024	0,00	0,807	20	0,00
2025	0,00	0,807	20	0,00
2026	0,00	0,807	20	0,00
2027	0,00	0,807	20	0,00
2028	0,00	0,807	20	0,00
2029	0,00	0,807	20	0,00
2030	0,00	0,807	20	0,00

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4	5
2031	0,00	0,807	20	0,00
2032	0,00	0,807	20	0,00
2033	0,00	0,807	20	0,00
2034	0,00	0,807	20	0,00
2035	0,00	0,807	20	0,00
2036	0,00	0,807	20	0,00
2037	0,00	0,807	20	0,00
2038	0,00	0,807	20	0,00

Таблиця 2.13 – Оцінка скорочення викидів за проектом

Рік	$BE_y$	$PE_y$	Оцінка витоку	$ER_y = BE_y - PE_y$
	Оцінка базових викидів, тис. м <sup>3</sup>	Оцінка проектних викидів, тис. м <sup>3</sup>		Оцінка скорочення викидів, тис. м <sup>3</sup>
2021	403,538	0,00	не застосовується	403,538
2022	373,597	0,00	не застосовується	373,597
2023	344,597	0,00	не застосовується	344,597
2024	318,597	0,00	не застосовується	318,597
2025	294,597	0,00	не застосовується	294,597
2026	274,686	0,00	не застосовується	274,686
2027	254,597	0,00	не застосовується	254,597
2028	239,538	0,00	не застосовується	239,538
2029	224,538	0,00	не застосовується	224,538
2030	208,443	0,00	не застосовується	208,443
2031	197,443	0,00	не застосовується	197,443
2032	184,388	0,00	не застосовується	184,388
2033	176,388	0,00	не застосовується	176,388
2034	165,298	0,00	не застосовується	165,298
2035	156,298	0,00	не застосовується	156,298
2036	149,298	0,00	не застосовується	149,298
2037	141,298	0,00	не застосовується	141,298
2038	132,239	0,00	не застосовується	132,239
Всього	4239,378	0,00	не застосовується	4239,378

Проектний об'єм зібраного біогазу з масиву полігону ТПВ м. Енергодар складає 0,806 млн. м<sup>3</sup>/рік або 0,935 тис. тон.

Кількість електроенергії, яка утворюється на генераторній установці надана в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 - Кількість виробленої електроенергії на генераторній установці

Рік	м. Енергодар	
	Кількість виробленої електроенергії,кВт/год	Утворена електрична енергія ГВт/рік
2021	150	1,16

До розробки спеціальних заходів необхідно дотримуватись наступних вимог:

- збір біогазу виконувати лише на вже сформованих (закритих) ділянках діючих полігонів ТПВ;
- збір біогазу не повинен впливати на існуючу технологію складування ТПВ;
- зона видалення біогазу - перекривається ізолюючим шаром ґрунту – (0,4...0,6) м, лише з платообразної частини ТПВ;
- по плато виконуються свердловини з кроком (30...50) м.

#### 2.4 Організація будівництва

Район будівництва розташований на відстані 2,0 км від найближчої залізничної станції м. Енергодар і пов'язаний з нею автодорогами з твердим покриттям.

Полігон ТПВ розташований в промисловій зоні м. Енергодар Запорізької області в чотирьох кілометрах західніше житлової зони міста з північно-східної сторони. Полігон примикає до очисних споруд м. Енергодар і шламонакопичувачу Державного підприємства «Національна атомна



енергогенеруюча компанія «Енергоатом» (ЗАЕС), з південної - до лісної території «Кучугур».

На генплані (рис. 2.4) наведено місце розміщення об'єкта проектування на діючому полігоні ТПВ м. Енергодар.

Ситуаційна карта-схема району розміщення діючого полігону ТПВ м. Енергодар представлена на рисунку 2.5.



Експлікація елементів

Номер по плану	Найменування	Примітки
1	Газові видобувна свердловина	
2	Вихідний колектор	
3	Магістральний колектор	
4	Газорегулюючий пункт у коробі	
5	Вологовловлювач	
6	Промисловий вузол утилізації біогазу	
7	Площадка дороза	
8	Адміністративна будівля	

1. Топографічна збірка виконана в листопаді 2012 р. інститутом УкрГДЮгаз.

2. Розміри на аркуші в м.

3 - № газодобувної свердловини

3 - 35,40 - числення 35,40 - відмітки висів польової

7,40 - числення 7,40 - відмітки висів свердловини

Рисунок 2.4 – Генеральний план розташування діючого полігону ТПВ м. Энергодар

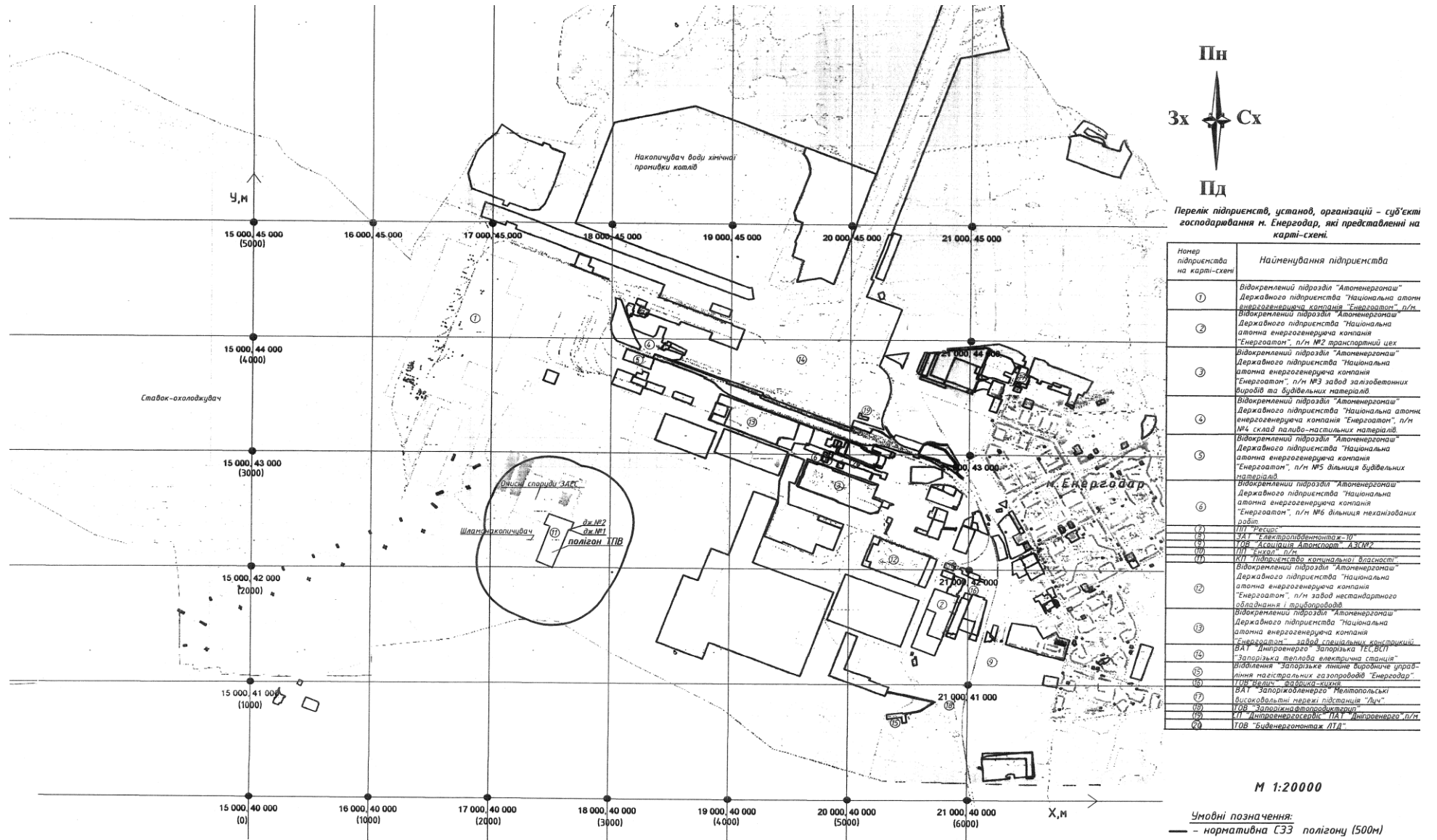


Рисунок 2.5 – Ситуаційна карта-схема району розміщення діючого полігону ТПВ м. Енергодар

### 3 ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗАПРОПОНОВАНОГО ЗАХОДУ

#### 3.1 Характеристика інноваційного проекту

Полігон ТПВ м. Енергодар відноситься до типового звалища міст України. В межах цих полігонів відсутня організація попереднього сортування та роздільного складування сміття. Загальна статистика показує, що на такі звалища потрапляє від 20 % до 50 % органічних речовин біологічного походження, які є основним продуктом анаеробного розкладу і утворення звалищного газу. Зрозуміло, що об'єми його генерації визначаються, в першу чергу, кількістю побутових відходів, які завозяться на полігон. Середньорічна кількість ТПВ, вивезених на міське звалище протягом 5-ти минулих років склала більше 100 тис. тон. На даний момент на звалищі накопичено близько 500 тис. тон твердих побутових відходів (ТПВ).

Полігон ТПВ м. Енергодару розташований за межами міста, неподалік населеного масиву.

Тестові дослідження на полігоні ТПВ м. Енергодару підтвердили розвиток тут активних процесів газоутворення. За результатами проведених аналізів, вміст метану у звалищному газі прогнозується на рівні (45...60) %. Полігон має потенціал до генерації біогазу в межах (16,2...19,4) млн. м<sup>3</sup>/рік, або (1850...2215) м<sup>3</sup>/год. При цьому враховується, що близько 30 % газу окислюється під дією фізико-хімічних процесів. На практиці приймається, що ефективність вилучення звалищного газу з масиву складає біля 70 %.

Метою даного проекту являється будівництво системи збору біогазу і використання його енергетичного потенціалу для виробництва електричної енергії.

Техніко-економічні показники об'єкту проектування наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні техніко-економічні показники об'єкту проектування

№ з/п	Показники	Одиниця виміру	Кількість
1	Площа полігону ТПВ, згідно державного акту на право користування землею серія ЯЯ №113188 від 30.01.2006 р.	га	7,1119
2	Площа масиву полігону ТПВ, охоплена системою збору біогазу	га	3,75
3	Площа проммайданчику вузла утилізації біогазу	м <sup>2</sup>	390
4	Площа під'їзної дороги	м <sup>2</sup>	6000
5	Газовідвідні свердловини (кількість, довжина буріння)	шт./м	30/214
6	Довжина газовідвідних свердловин	м	220
7	Об'єм м'ятого суглинку	м <sup>3</sup>	20,0
8	Об'єм щебеневої обсіпки	м <sup>3</sup>	45,0
9	Кількість викидних колекторів	шт.	30
10	Довжина викидних колекторів	м. пог	2722
11	Кількість газорегулюючих пунктів	шт.	4
12	Довжина магістральних колекторів	м. пог	315
13	Проектний об'єм вилучення біогазу з масиву полігону ТПВ макс.  мін.	м <sup>3</sup> /год.	92 30
14	Основне обладнання:		
	- вологовловлювач	шт.	1
	- газорегулюючий пункт	шт.	4
	- установка модуль насос-факел	шт.	1
	- газопоршнева генераторна установка	шт.	1
	- трансформаторна підстанція	шт.	1
	- компресор	шт.	1
	- система моніторингу	комплект	1
15	Проектна потужність об'єкту		
	- по електроенергії макс. мін.	кВт/год.	150 50
16	Термін видобування газу	рік	18
17	Загальна тривалість будівництва	місяць	5

### 3.2 Розрахунок економічної ефективності інноваційного проекту

Спочатку складаємо відомість ресурсів до зведеного кошторисного розрахунку вартості будівництва. Відомість складається за основними статтями витрат: витрати труда; витрати на будівельні машини і механізми; витрати на будівельні матеріали, вироби і конструкції; устаткування.

Після відомості ресурсів складаємо таблицю загальновиробничих витрат до зведеного кошторисного розрахунку. До загальновиробничих витрат включаються витрати по об'єктним кошторисам проекту, а саме: «Збір та утилізація біогазу» та «Електропостачання». До таблиці заносяться такі дані: трудомісткість в прямих витратах; трудомісткість в ЗВВ; заробітна плата в ЗВВ; заробітна плата в прямих витратах; єдиний внесок на загальнообов'язкове державне соціальне страхування; кошти на покриття решти статей ЗВВ; кошти на оплату перших п'яти днів тимчасово непрацюючим; єдиний взнос на оплату 5 днів та на величину допомоги тимчасово непрацюючим; доставку пільгових пенсій.

Далі складається зведений кошторисний розрахунок вартості будівництва. До кошторису включаються такі статті: основні об'єкти будівництва (збір та утилізація біогазу); об'єкти енергетичного господарства (електропостачання); утримання служби замовника та авторський нагляд (утримання служби замовника (включаючи витрати на технічний нагляд); витрати, пов'язані з проведенням тендерів; кошти для оплати послуг, пов'язаних з підготовкою до виконання робіт, їх здійсненням та введенням об'єктів в експлуатацію, та формування страхового фонду документації України); проектні та вишукувальні роботи (вартість проектних робіт; вартість комплексної державної експертизи проекту; вартість робочого проекту; вартість до проектного опрацювання).

Також розраховуються: кошторисний прибуток; сума коштів необхідних на покриття адміністративних витрат будівельно-монтажної

організації; сума коштів необхідних на покриття додаткових витрат, пов'язаних з інфляційними процесами; податок на додану вартість.

Загальна кошторисна вартість складає 10250,356 тис. грн.

Кошторис включає такі пункти: влаштування газовідвідних скважин; укладання викидних колекторів; укладання магістральних колекторів; закриття газозахисним шаром товщиною 60 см секції № 2; огорожа проммайданчика; кріплення проммайданчика асфальтом; кріплення вузла утилізації; газорегулюючий пункт; волого вловлювач.

Кошторисна вартість локального кошторису на газопостачання складає 1411,497 тис. грн.

Локальний кошторис на монтаж устаткування об'єкта «Збір та утилізація біогазу» – 293,821 тис. грн.

До кошторису включені такі роботи і витрати: монтаж насоса «Факел»; монтаж газоаналізатору; монтаж трансформатора; монтаж генератора.

До локального кошторису на придбання устаткування об'єкта «Збір та утилізація біогазу» включені витрати на таке устаткування: компресор повітряний 6M10-63/320 (загальна вартість 9443,00 грн.); газоаналізатор портативний (37771,00 грн.); газоаналізатор (386585,00 грн.); генератор газопоршневий (2150000,00 грн.); трансформаторна підстанція (423953,00 грн.); комутаційний центр (862858,00 грн.); насос «Факел» (1336813,00 грн.).

Загальні витрати по кошторису складають 5514,746 тис. грн.

Далі складаємо локальні кошториси по об'єкту «Електропостачання».

Кошторис складений з урахуванням робіт і витрат на: комплектний розподільчий пристрій напругою 0,4 кВ; КЛ-0,4 кВ; ВЛИ-0,4 кВ.

Загальні витрати по цьому кошторису складають 129,156 тис. грн.

Локальний кошторис на придбання устаткування об'єкта «Електропостачання» включає витрати на обладнання комплектного розподільчого пристрою напругою 0,4 кВ.

Загальні витрати по кошторису складають 21,575 тис. грн.

В об'єктний кошторис на будівництво об'єкта «Збір та утилізація біогазу» заносять усі витрати по локальним кошторисам: на газопостачання; на монтаж устаткування; на придбання устаткування.

Кошторисна вартість об'єкта – 7220,064 тис. грн.

В кошторис Об'єктний кошторис на будівництво об'єкта «Електропостачання» внесені усі витрати по локальним кошторисам даного об'єкта: на електропостачання; на придбання устаткування.

Кошторисна вартість об'єкта – 150,731 тис. грн.

Тепер проводимо розрахунок економічної ефективності проекту, для цього використовуємо наступні дані:

- 1) капіталовкладення – 10 250 356,00 грн.;
- 2) річні експлуатаційні витрати – 976 536,90 грн.;
- 3) річний дохід – 3 607 150,95 грн.;
- 4) податок на прибуток – 19 %;
- 5) єдина ставка дисконтування (E) – 0,15.

Розраховуємо річний прибуток від реалізації проекту. Для цього використовуємо наступну формулу:

$$\text{Річний прибуток} = \text{Річні доходи} - \text{Річні експлуатаційні витрати}, \quad (3.1)$$

$$\text{Річний прибуток} = 3\,607\,150,95 - 976\,536,90 = 2\,630\,587,05 \text{ грн.}$$

Для розрахунку чистого прибутку використовуємо наступну формулу:

$$\text{Чистий прибуток} = \text{Річний прибуток} - \text{Податок на прибуток}, \quad (3.2)$$

$$\text{Чистий прибуток} = 2\,630\,587,05 - (2\,630\,587,05 \cdot 0,19) = 2\,130\,775,51 \text{ грн.}$$



Для того, щоб довести що проект економічно вигідний використовуємо такі показники, як: рентабельність інвестицій (проста норма прибутку) та термін окупності.

Рентабельність інвестицій (проста норма прибутку) розраховується за формулою 3.3. Після розрахунку повинна виконуватись умова  $R_i \geq E$ .

$$R_i = \frac{\text{Поточний річний прибуток}}{\text{Капіталовкладення}}, \quad (3.3)$$

$$R_i = \frac{2\,630\,587,05}{10\,250\,356} = 0,26.$$

В нашому випадку проста норма прибутку більше, ніж ставка дисконтування, тобто умова виконується.

Для розрахунку терміну окупності використовуємо наступну формулу, років:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{R_i}, \quad (3.4)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,26} = 3,85.$$

$T_{\text{ок}} = 3,85 < T_p = 6,3$  - проект економічно ефективний.

Далі за наявними даними визначаємо NPV (табл. 3.2) та дисконтований термін окупності.

Грошовий потік (ГП) визначаємо за наступною формулою, млн. грн:

$$\text{ГП} = \text{Доходи} - \text{Витрати}. \quad (3.5)$$

Коефіцієнт дисконтування ( $K_{\delta}$ ) визначається за формулою 4.6.

$$K_{\delta} = (1+i)^t, \quad (3.6)$$

де  $i$  – ставка дисконтування, %:  $i = 10\%$ ;

$t$  – життєвий цикл проекту (рік).

Дисконтований грошовий потік (ДГП) визначається за наступною формулою, млн. грн:

$$\text{ДГП} = \text{ГП} / K_{\delta}, \quad (3.7)$$

Таблиця 3.2 – Визначення NPV

Рік	Доходи, млн. грн.	Витрати, млн. грн.	Грошовий потік, млн. грн.	Кд	Дисконтований грошовий потік, млн. грн.	Кумулятивний дисконтова ний грошовий потік, млн. грн.
0	-	10,25	-10,25	1	-10,25	-10,25
1	3,61	0,98	2,63	1,1	2,39	-7,86
2	3,61	0,98	2,63	1,21	2,17	-5,69
3	3,61	0,98	2,63	1,33	1,98	-3,71
4	3,61	0,98	2,63	1,46	1,80	-1,91
5	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	-0,28
6	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	1,35
7	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	2,98
8	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	4,61
9	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	6,24
10	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	7,87
11	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	9,50
12	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	11,13
13	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	12,76
14	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	14,39
15	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	16,02
16	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	17,65
17	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	19,28
18	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	20,91

З розрахунків видно, що  $NPV > 0$  і дорівнює 20,91 млн. грн. при ставці дисконтування 10 % - проект вважається ефективним.

За даними таблиці 3.2 будемо графік NPV (рис. 3.1).

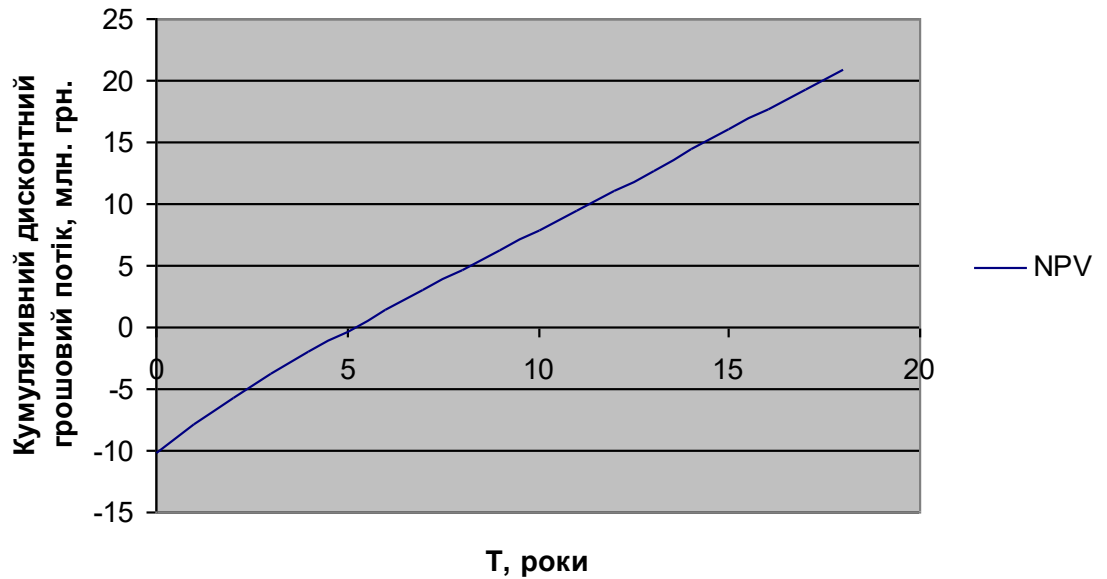


Рисунок 3.1 – Графік NPV

З графіку видно, що дисконтований термін окупності 5,2 роки.

## ВИСНОВКИ

Згідно енергетичної стратегії України до 2035р. пріоритетними напрямками енергозбереження є зниження енергоємності виробництва, скорочення споживання первинних паливно-енергетичних ресурсів за рахунок впровадження новітніх енергоефективних та енергозберігаючих заходів.

В Україні існує достатній енергетичний потенціал практично усіх видів біомаси та необхідна науково-технічна і промислова база для розвитку даної області енергетики. Енергетичний потенціал біомаси Запорізької області складає 1,19 млн. т.у.п/рік.

Істотними джерелами антропогенного впливу на навколишнє середовище залишаються полігони та накопичувачі відходів.

Проектом пропонується мінімізувати негативний вплив полігону твердих побутових відходів (ТПВ) на навколишнє середовище шляхом збору та утилізації звалищного газу (біогазу), сприяти виконанню Україною зобов'язань щодо зменшення викидів парникових газів в атмосферу відповідно до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату та Кіотським протоколом.

Основна ідея проекту – використання біогазу в якості альтернативного палива для газопоршневого електроагрегату з метою виробництва електричної енергії.

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз конструктивних особливостей когенераційних установок, запропоновано будівництво системи збору і утилізації біогазу на існуючому полігоні ТПВ у м. Енергодар та наведено характеристику обраного полігону, його техніко-економічні показники, також розглянуто природні умови району в місці розташування полігона ТПВ та досліджено сучасний стан полігону.

В кваліфікаційній роботі був проведений аналіз ринку газопоршневих установок та для проекту було обрано газопоршневу генераторну установку G 3406 LE – 190,  $n=1500$  об/хв.,  $f=50$  Гц.  $V=400V$  компанії «Caterpillar».

За допомогою методології АСМ0001 була розрахована проектна потужність об'єкту проектування. Згідно розрахунків, об'єм біогазу з масиву полігону ТПВ м. Енергодар (2021 р.) складає 1,612 млн.  $m^3$ /рік, а об'єм зібраного біогазу – 0,806 млн.  $m^3$ /рік або 0,935 тис. тон. Кількість виробленої на генераторній установці електроенергії складає 150 кВт/год.

В економічному розділі кваліфікаційної роботи був проведений розрахунок економічної ефективності інноваційного проекту. Згідно розрахунків термін окупності проекту складає 3,85 роки, а дисконтований термін окупності – 5,2 роки.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг : веб сайт. URL:<http://www.nerc.gov.ua/?id=189> (дата звернення: 12. 10. 2022).
2. Гелетуха Г. Г., Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні : Аналітична записка. № 11. Київ, Біоенергетична асоціація України, 2014. 42 с.
3. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України : веб сайт. URL: <http://www.sae.gov.ua/uk/news/2270> (дата звернення: 12. 10. 2016).
4. Біогазові проекти в Україні: перспективи, наслідки та регуляторна політика / Г. С. Трипольська. Екон. prognosuvannâ. 2018. № 2. Р. 111–134. DOI: <https://doi.org/10.15407/eip2018.02.111>
5. Eder B., Schultz H. Biogas plants. A practical guide edited by IA Reddich, Zorg Biogas, 2011. P. 175.
6. Куріс Ю. В., Червоний І. Ф. Біогазові технології. Енергетичні та екологічні аспекти : монографія. Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2010. 488 с.
7. Ю. І. Сидоров Сучасні біогазові технології. Biotechnologia АСТ. 2013. V. 6, № 1. Р. 46 – 61.
8. Способ и система очистки биогаза для извлечения метана. Патент. : веб сайт. URL.: <http://www.findpatent.ru/patent/249/2495706.html> (дата звернення 27.09.2016).
9. Geletukha G, Kucheruk P, Matveev Y. Prospects of biomethane production and use in Ukraine. UABio Position Paper. 2014. № 11. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-11-en.pdf> (дата звернення 20.09. 2016).
10. Рейнхард Ш. Виробництво і використання біогазу в Україні . Київ. 2012 р. 74 с. URL: [http://svb.ua/sites/default/files/biogas\\_ukr.pdf](http://svb.ua/sites/default/files/biogas_ukr.pdf) (дата звернення 30. 11. 2016).

11. Курис Ю. В. Увеличение эффективности дальнейшего использования и сжигания биогаза: «Достижения и перспективы». Электроэнергетика и электрификация. 2012. № 12. С. 67 – 69.
12. Crovetto R. Evaluation of Solubility Data for the System biogas and baimetan. Journal of Physical and Chemical Reference. 2014. № 20. P. 575 – 589.
13. Hunt R. W., Zavalin A. Electromagnetic biostimulation of living cultures for biotechnology, biofuel and bioenergy applications. Int. J. Mol. Sci. 2009, № 10 (10):4515-58. DOI: 10.3390/ijms10104515.
14. Качан Ю. Г., Коваленко В. Л., Аносов Д. О. Щодо доцільності та ефективності застосування біогазових технологій в умовах металургійних підприємств. Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. 2015. Вип. 2 (34). С. 106 – 110.
15. Гавриш В. І. Визначення економічно доцільного напрямку використання біогазу. Економіка агропромислового виробництва. 2014. № 3. С. 24 – 29.
16. Kovalenko V. L. Analysis of efficiency and prospects of development of biogas energy. Energy: Economics, Technologies, Ecology. 2015. №3 (41). P. 36 – 41.
17. Семенов І. В. Проектирование биогазовых установок. Сумы : МакДен, 1996. 347 с.
18. Четверик Г. О. Енергоефективне перетворення рідких відходів газифікації біомаси в біогазовій установці : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. : 05.14.08. Київ, 2018. 21 с.
19. Denis O. E. Effect of inoculums on biogas yield. Journal of Applied Chemistry. 2015. Vol. 8. Is. 2. P. 5 – 8.
20. ДСТУ EN 12048 : 2005. Добрива тверді та вапнувальні матеріали. Визначення вмісту вологи гравіметричним методом. Висушування за температури 105±2°C (EN 12048:1996, IDT). [Чинний від 2005-03-03]. Київ, 2006. 24 с. (Національний стандарт України).

21. Спосіб інтенсифікації виходу біогазу : патент 116956 України на корисну модель № 88991, кл. C02F 11/04 ; 26.12.2016 № у 2016 13273 ; опубл. 10.04.2014. 12.06.2017, Бюл. № 11.

22. Joersbo M. Brunstedt J. Electroporation: Mechanism and transient expression, stable transformation and biological effects in plant protoplasts. *Physiol. Plant.* 2011. № 81. P. 256 – 264.

23. Полищук В. Н., Дубровин В. А., Полищук А. В. Энергетический баланс метантенкабиогазовой установки : веб сайт. URL: <http://www.sworld.com.ua/konfer34/512.pdf> (дата звернення: 12. 10. 2022).

24. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 26 черн. 1991 р. № 41. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення 08.02.2017).

25. Dongwon Kiab Prathap, Parameswarana. Effects of pre-fermentation and pulsed-electric-field treatment of primary sludge in microbial electrochemical cells. *Bioresource Technology.* 2015. Vol. 195, P. 83 – 88.

26. Vorobiev E., Lebovka N. / Application of Pulsed Electric Energy for Lignocellulosic Biorefinery // Handbook of Electroporation. Springer, Cham. 2017. 105 p.

27. Michael B. Salerno, Hyung-Sool Lee Prathap Parameswaran, Bruce E. Rittmann Using a pulsed electric field as a pretreatment for improved biosolids. Digestion and Methanogenesis Proceedings of the Water Environment Federation. 2009. P. 2005 – 2018.

28. Kuroda M., Watanabe T., Umedu Y. Simultaneous oxidation and reduction treatments of polluted water by a bio-electro reactor. *Water Sci. Technol.* 2006. № 34. P. 101 – 108.

29. Kuroda M., Watanabe T., Umedu Y. Simultaneous COD removal and denitrification of wastewater by bio-electro reactors. *Water Sci. Technol.* 2007. № 35. P. 161 – 168.



30. Islam S., Suidan M. T. Electrolytic denitrification: Long term performance and effect of current intensity. *Water Res.* 2008. № 32. P. 528 – 536.

31. Holt P. K., Barton G. W., Mitchell C. A. The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere.* 2015. № 59. P. 355 – 367.

## ДОДАТОК А

Демонстраційні матеріали до захисту кваліфікаційної роботи

«Аналіз ефективності використання когенераційних установок на  
промисловому підприємстві»

Кваліфікаційна робота магістра на  
тему:  
«Аналіз ефективності  
використання когенераційних  
установок на промисловому  
підприємстві»

Виконав:

ст. гр. 8.1411

Ревков А.А.

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Єрофєєва А.А.

**Актуальність роботи.** Згідно енергетичної стратегії України до 2035р. пріоритетними напрямками енергозбереження є зниження енергоємності виробництва, скорочення споживання первинних паливно-енергетичних ресурсів за рахунок впровадження новітніх енергоефективних та енергозберігаючих заходів.

**Мета роботи** - аналіз ефективності використання когенераційних установок на промисловому підприємстві

**Основні завдання магістерської роботи:**

- аналіз конструктивних особливостей когенераційних установок;
- аналіз біогазового потенціалу полігону твердих побутових відходів;
- розробка системи збору біогазу і використання його енергетичного потенціалу для виробництва електричної енергії;
- розрахунок техніко-економічних показників впровадження запропонованих заходів

## ДИНАМІКА ЗРОСТАННЯ БІОГАЗОВИХ ПОТУЖНОСТЕЙ В УКРАЇНІ

### Кількість біогазових установок

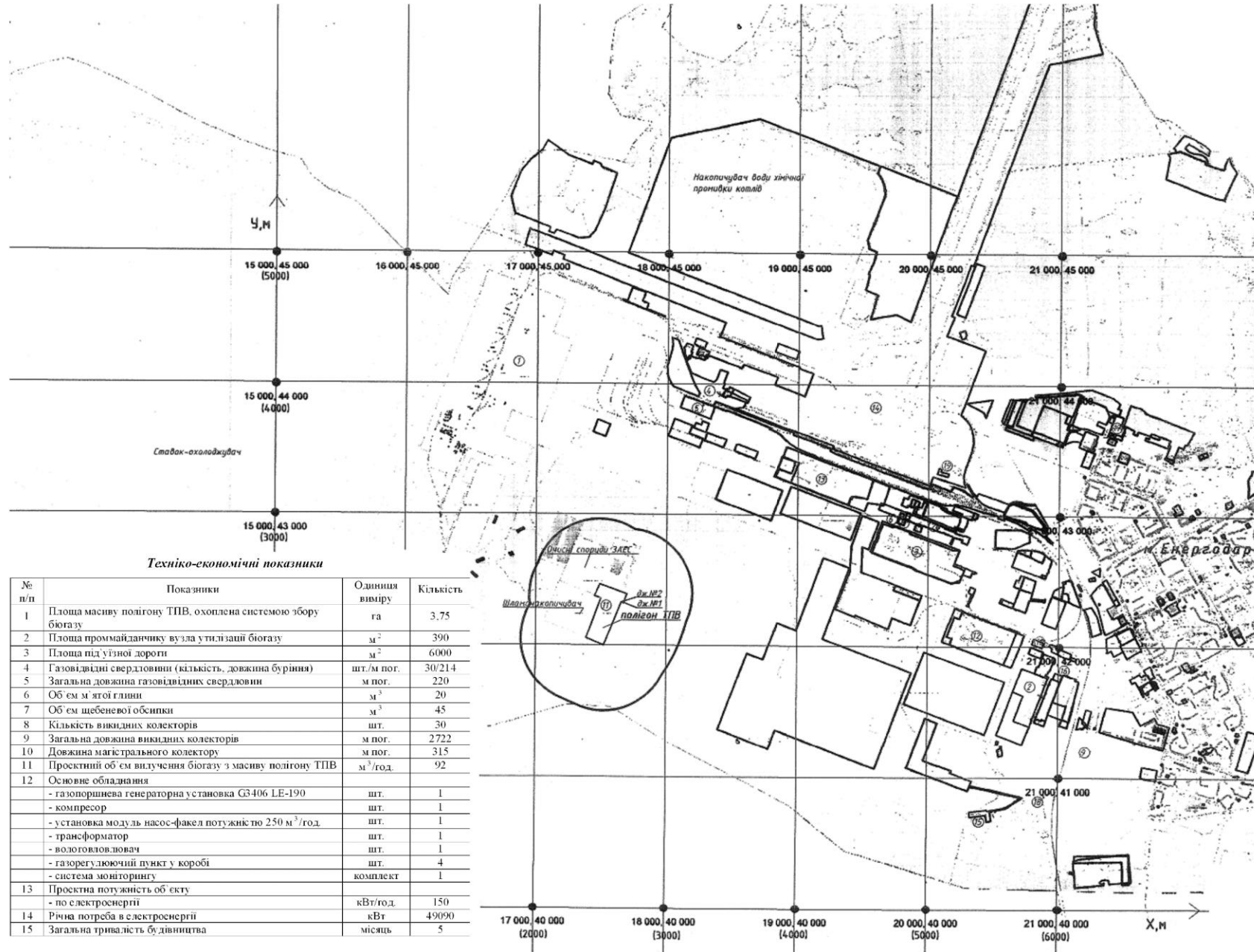
од.



### Встановлені потужності

МВт





Перелік підприємств, установ, організацій – суб'єкт господарювання м. Енергодар, які представлені на карті-схемі.

Номер підприємства на карті-схемі	Найменування підприємства
1	Відокремлений підрозділ "Атомenergatom" Державного підприємства "Національна атомна енергогенерувальна компанія "Енергодатом", п/п
2	Відокремлений підрозділ "Атомenergatom" Державного підприємства "Національна атомна енергогенерувальна компанія "Енергодатом", п/п №2 транспортний цех
3	Відокремлений підрозділ "Атомenergatom" Державного підприємства "Національна атомна енергогенерувальна компанія "Енергодатом", п/п №3 завод залізобетонних виробів та будівельних матеріалів
4	Відокремлений підрозділ "Атомenergatom" Державного підприємства "Національна атомна енергогенерувальна компанія "Енергодатом", п/п №4 склад паливо-настильних матеріалів
5	Відокремлений підрозділ "Атомenergatom" Державного підприємства "Національна атомна енергогенерувальна компанія "Енергодатом", п/п №5 дільниця будівельних матеріалів
6	Відокремлений підрозділ "Атомenergatom" Державного підприємства "Національна атомна енергогенерувальна компанія "Енергодатом", п/п №6 дільниця механізмованих робіт
7	ПТ "Ретас"
8	ЗАТ "Електролітбентонітаж-Ю"
9	ТОВ "Асоціація Атомстар" АЗКЕУ
10	ПТ "Хімія" п/п
11	КП "Підприємство концупальної власності"
12	Відокремлений підрозділ "Атомenergatom" Державного підприємства "Національна атомна енергогенерувальна компанія "Енергодатом", п/п завод нестандартного обладнання і трубопроводів
13	Відокремлений підрозділ "Атомenergatom" Державного підприємства "Національна атомна енергогенерувальна компанія "Енергодатом" завод спеціальних конструкцій
14	ВАТ "Дніпроенерго" Запорізька ТЕС, ВСТ "Запорізька теплова електрична станція" Відділення "Запорізьке лінійне керування" лінійна магістральна газопроводів "Енергодар"
15	ТОВ "Велич" виробник-вироб
16	ВАТ "Запоріжжєенерго" Мелітопольські вантажівочні перевізні підприємства "Ліч"
17	ТОВ "Запорізька теплоенергетика"
18	КП "Дніпроенергодобіт" ПАТ "Дніпроенерго" п/п
19	ТОВ "Будівельнопромтех АТ"

### Техніко-економічні показники

№ п/п	Показники	Одиниця виміру	Кількість
1	Площа масиву полігону ТПВ, охоплена системою збору біогазу	га	3,75
2	Площа промйайданчику вузла утилізації біогазу	м <sup>2</sup>	390
3	Площа під'їзної дороги	м <sup>2</sup>	6000
4	Газовідвідні свердловини (кількість, довжина буріння)	шт./м пог.	30/214
5	Загальна довжина газовідвідних свердловин	м пог.	220
6	Об'єм м'якої глини	м <sup>3</sup>	20
7	Об'єм щебеневної обсіпки	м <sup>3</sup>	45
8	Кількість викидних колекторів	шт.	30
9	Загальна довжина викидних колекторів	м пог.	2722
10	Довжина магістрального колектору	м пог.	315
11	Проектний об'єм вилучення біогазу з масиву полігону ТПВ	м <sup>3</sup> /год.	92
12	Основне обладнання		
	- газопоршнева генераторна установка G3406 LE-190	шт.	1
	- компресор	шт.	1
	- установка модуль насос-факел потужніс тю 250 м <sup>3</sup> /год.	шт.	1
	- трансформатор	шт.	1
	- вологовловлювач	шт.	1
	- газорегулюючий пункт у коробі	шт.	4
	- система моніторингу	комплект	1
13	Проектна потужність об'єкту		
	- по електроенергії	кВт/год.	150
14	Річна потреба в електроенергії	кВт	49090
15	Загальна тривалість будівництва	місяць	5

Умовні позначення:  
 - нормативна ЄЗЗ полігону (500м)

## РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ МЕТАНУ, ЩО УТВОРЮЄТЬСЯ

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi \cdot (1 - f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - OX) \cdot 16/12 \cdot F \times \\ \times DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot (e^{-k(y-x)}) \cdot (1 - e^{-k_j})$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт, що враховує похибку розрахункової моделі:  $\varphi=0,9$ ;

$f$  - доля метану, що збирається на полігоні та спалюється на факелі або використовується іншим чином:  $f=0$ ;

$GWP_{CH_4}$  - потенціал глобального потепління метану, дійсний для періоду зобов'язань, що розглядається:  $GWP_{CH_4}=21$ ;

$OX$  - фактор окислення (відображає кількість метану з ТПВ, що окислюється в ґрунті або іншому матеріалі, що покриває відходи:  $OX=0,1$ ;

$F$  - доля метану в біогазі (об'ємна доля):  $F=0,5$ ;

$DOC_f$  - доля здатного до розкладу органічного вуглецю:  $DOC_f=0,5$ ;

$MCF$  - коефіцієнт похибки виходу метану:  $MCF=0,8$ ;

$W_{j,x}$  - кількість органічних відходів типу « $j$ », що були захоронені у році « $x$ », тон;

$DOC_j$  - доля (масова) здатного до розкладу органічного вуглецю у відходах « $j$ »;

$k_j$  - швидкість розпаду сміття « $j$ »;

$j$  - тип сміття;

$x$  - рік періоду кредитування: « $x$ » починається з першого року першого кредитного періоду до кінця року « $y$ », для якого підраховується скорочення викидів метану;

$y$  - рік, для якого проводяться розрахунки скорочення викидів метану.

## РОЗРАХУНОК ПРОЄКТНОЇ ПОТУЖНОСТІ ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Кількість біогазу, яка визначена на підставі математичних моделей

Роки	Показники		
	Кількість біогазу млн. м <sup>3</sup> /рік	Зібраний біогаз млн. м <sup>3</sup> /рік	Зібраний біогаз тис. тон/рік
2021	1,612	0,806	0,935
2022	1,489	0,745	0,864
2023	1,375	0,688	0,819
2024	1,270	0,635	0,737
2025	1,174	0,587	0,670
2026	1,095	0,548	0,636
2027	1,016	0,508	0,589
2028	0,955	0,478	0,554
2029	0,894	0,447	0,519
2030	0,832	0,416	0,483
2031	0,788	0,394	0,457
2032	0,736	0,368	0,427
2033	0,701	0,351	0,407
2034	0,657	0,329	0,382
2035	0,622	0,311	0,361
2036	0,596	0,298	0,346
2037	0,561	0,281	0,326
2038	0,526	0,263	0,305
Всього	16,899	8,453	9,817

Розрахунок скорочення викидів метану

Рік	BE <sub>CH<sub>4</sub>,SWDS,y</sub>	CE <sub>project,y</sub>	BE <sub>CH<sub>4</sub>,SWDS,y</sub> '
	Кількість метану, що утворюється, млн. м <sup>3</sup>	Ефективність системи дегазації, яка встановлюється, %	Обсяг скорочення викидів метану з урахуванням ефективності системи дегазації, млн. м <sup>3</sup>
2021	0,806	50	0,403
2022	0,745	50	0,373
2023	0,688	50	0,344
2024	0,635	50	0,318
2025	0,587	50	0,294
2026	0,548	50	0,274
2027	0,508	50	0,254
2028	0,478	50	0,239
2029	0,447	50	0,224
2030	0,416	50	0,208
2031	0,394	50	0,197
2032	0,368	50	0,184
2033	0,351	50	0,176
2034	0,329	50	0,165
2035	0,311	50	0,156
2036	0,298	50	0,149
2037	0,281	50	0,141
2038	0,263	50	0,132
Всього	8,453	50	4,231



## РОЗРАХУНОК ПРОЄКТНОЇ ПОТУЖНОСТІ ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Розрахунок базового рівня викидів при виробництві Розрахунок проектних викидів CO<sub>2</sub> при передачі електричної енергії

Рік	$BE_{CH_4,SWDS,y} \cdot CE_{project,y}$	$EL_{LFG,y} \cdot CEF_{elec,BL,y}$	$BE_y = (BE_{CH_4,SWDS,y} \cdot CE_{project,y}) + (EL_{LFG,y} \cdot CEF_{elec,BL,y})$
	Обсяг скорочення викидів метану з урахуванням ефективності системи дегазації, тис. м <sup>3</sup>	Базові викиди CO <sub>2</sub> , тис. м <sup>3</sup>	Розрахункові базові викиди парникових газів, тис. м <sup>3</sup>
2021	403,00	0,538	403,538
2022	373,00	0,597	373,597
2023	344,00	0,597	344,597
2024	318,00	0,597	318,597
2025	294,00	0,597	294,597
2026	274,00	0,686	274,686
2027	254,00	0,597	254,597
2028	239,00	0,538	239,538
2029	224,00	0,538	224,538
2030	208,00	0,443	208,443
2031	197,00	0,443	197,443
2032	184,00	0,388	184,388
2033	176,00	0,388	176,388
2034	165,00	0,298	165,298
2035	156,00	0,298	156,298
2036	149,00	0,298	149,298
2037	141,00	0,298	141,298
2038	132,00	0,239	132,239
Всього	4231,00	8,378	4239,378

Рік	$EC_{PJ,j,y}$	$EF_{EL,j,y}$	$TDL_{j,y}$	$PE_y = EC_{PJ,j,y} \cdot EF_{EL,j,y} \cdot (1 + TDL_j)$
	Кількість електроенергії, яка, згідно проекту, буде споживатися з мережі, МВт·год	Коефіцієнт викидів при виробленні електроенергії, тон CO <sub>2</sub> -е/МВт·год	Втрати при передачі та розподілі, %	Проектні викиди CO <sub>2</sub> , тис. м <sup>3</sup>
2021	0,00	0,807	20	0,00
2022	0,00	0,807	20	0,00
2023	0,00	0,807	20	0,00
2024	0,00	0,807	20	0,00
2025	0,00	0,807	20	0,00
2026	0,00	0,807	20	0,00
2027	0,00	0,807	20	0,00
2028	0,00	0,807	20	0,00
2029	0,00	0,807	20	0,00
2030	0,00	0,807	20	0,00
2031	0,00	0,807	20	0,00
2032	0,00	0,807	20	0,00
2033	0,00	0,807	20	0,00
2034	0,00	0,807	20	0,00
2035	0,00	0,807	20	0,00
2036	0,00	0,807	20	0,00
2037	0,00	0,807	20	0,00
2038	0,00	0,807	20	0,00

Згідно розрахунків, об'єм біогазу з масиву полігону ТПВ м. Енергодар складає 1,612 млн. м<sup>3</sup> /рік, а об'єм зібраного біогазу – 0,806 млн. м<sup>3</sup> /рік або 0,935 тис. тон. Кількість виробленої на генераторній установці електричної енергії складає 150 кВт/год.

## ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОНИЖУЮЧОГО ТРАНСФОРМАТОРА



Найменування	Показники
Тип трансформатора	Понижуючий
Спосіб охолодження обмоток	Масляний
Потужність навантаження	1000 кВА
Номінальна напруга первинної обмотки	10 кВ
Номінальна напруга вторинної обмотки	0,4 кВ
Частота	50 Гц
Кількість фаз	3

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РИНКУ ГАЗОПОРШНЕВИХ УСТАНОВОК

Показник \ Назва установки	Elteco	FG Wilson	Guascor	Caterpillar	MTU	Tedom
Термін служби, р.	25 – 30	15 – 20	до 30	30 – 35	22 – 25	до 32
Термін служби до капітального ремонту, р. (мотогодин)	10 (60 000)	10 (60 000)	10 (60 000)	10 – 16,7 (60 000 – 100 000)	10 (60 000)	6,7 – 10,7 (40 000 - 64 000)
Інтервали між технічним обслуговуванням, мотогодин	1000 – 1500	1000 – 2000	1000 – 1500	2500 - 4000	2000	800
ККД, %	до 90	до 90	88 – 92	більше 90	до 92	85 – 90
Вартість, грн.	1 023 503,70	846 547,00	1 555 725,60	2 150 000,00	2 057 242,00	1 842 306,70
Номінальна одинична потужність, кВт	38 – 3916	11 – 1000	142,8 – 1204	10 – 3860	116 – 1948	23 – 5900

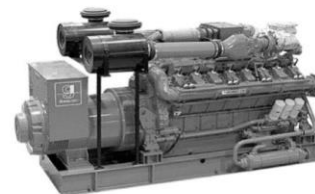
Газопоршнева електростанція  
**Tedom**



Газопоршнева електростанція  
**Caterpillar**



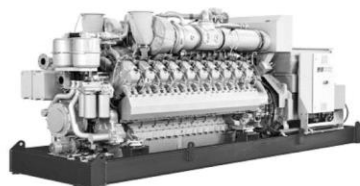
Газопоршнева електростанція  
**Guascor**



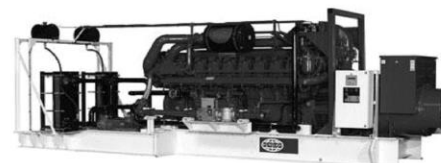
Газопоршнева електростанція  
**Elteco**



Газопоршнева електростанція  
**MTU**



Газопоршнева електростанція  
**FG Wilson**



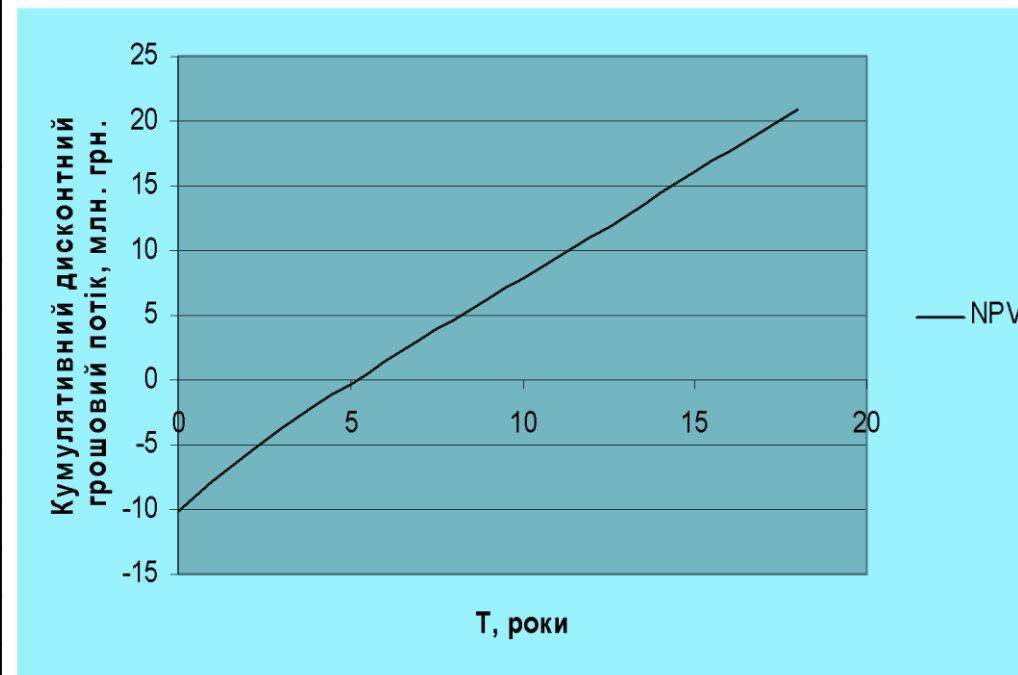
## ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОПОРШНЕВОЇ ГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ CAT/TERPILLAR G 3406 LE -190



Генераторна установка- 1500 об/хв, 50 Гц, 400 В		
<b>Характеристики установки</b>		
Номинальна потужність без вентилятора за коефіцієнта потужності 0,8	кВт	190
Електричний ККД при коефіцієнті потужності 0,8 (1)	%	33
Температура охолоджувальної рідини на вході в охолоджувач нагнітального повітря	°C	54
<b>Витрати палива</b>		
Навантаження 100%, без вентилятора	м <sup>3</sup> /год	57
Навантаження 75%, без вентилятора	м <sup>3</sup> /год	45
Навантаження 50%, без вентилятора	м <sup>3</sup> /год	33
<b>Система охолодження</b>		
Температура оточуючого повітря*	°C	32
Місткість системи охолодження двигуна	л	37,5
Максимальна температура охолоджувальної рідини на виході з сорочки охолодження	°C	99
<b>Система вихлопу</b>		
Витрата повітря горіння на вході	м <sup>3</sup> /хв	14,5
Температура газів вихлопної труби	°C	415
Витрата вихлопних газів	м <sup>3</sup> /хв	15,1
<b>Відведення тепла</b>		
Підвод тепла з паливом нижчої теплотворної здатності (НТС)	кВт	576
Відведення тепла в сорочку охолодження	кВт	170
Сумарне відведення тепла у вихлоп (НТС, до 25°C)	кВт	138
Відведення тепла у вихлоп (НТС, до 120 ° C)	кВт	106
Відведення тепла в охолоджувач наддувного повітря	кВт	27
Відведення тепла в атмосферу	кВт	23
<b>Генератор змінного струму</b>		
Пускова характеристика при 30-% падінні напруги**	кВА	506
Типорозмір рами генератора		447
Підвищення температури	°C	105
<b>Допустима висота над рівне моря без зниження потужності (2)</b>		
При температурі навколишнього середовища 25°C	м	350
<b>Рівні токсичності вихлопних газів***</b>		
NO <sub>x</sub> при утриманні O <sub>2</sub> 5 %	мг/м <sup>3</sup>	500
CO при вмісті O <sub>2</sub> 5 %	мг/м <sup>3</sup>	679
HC (всього) при вмісті O <sub>2</sub> 5 %	мг/м <sup>3</sup>	3390
HC (не метан) при вмісті O <sub>2</sub> 5 %	мг/м <sup>3</sup>	509
Зміст O <sub>2</sub> (сухий) у вихлопних газах	%	8,5

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

Рік	Доходи, млн. грн.	Витрати, млн. грн.	Грошовий потік, млн. грн.	Кд	Дисконтований грошовий потік, млн. грн.	Кумулятивний дисконтова ний грошовий потік, млн. грн.
0	-	10,25	-10,25	1	-10,25	-10,25
1	3,61	0,98	2,63	1,1	2,39	-7,86
2	3,61	0,98	2,63	1,21	2,17	-5,69
3	3,61	0,98	2,63	1,33	1,98	-3,71
4	3,61	0,98	2,63	1,46	1,80	-1,91
5	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	-0,28
6	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	1,35
7	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	2,98
8	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	4,61
9	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	6,24
10	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	7,87
11	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	9,50
12	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	11,13
13	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	12,76
14	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	14,39
15	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	16,02
16	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	17,65
17	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	19,28
18	3,61	0,98	2,63	1,61	1,63	20,91



**Дисконтований термін окупності - 5,2 роки**

## ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі зроблено аналіз конструктивних особливостей когенераційних установок.
2. Проведено аналіз біогазового потенціалу існуючого полігону ТПВ у м. Енергодар. Наведено характеристику обраного полігону, його техніко-економічні показники, розглянуто природні умови району в місці розташування полігону ТПВ та досліджено сучасний стан полігону.
3. Розроблена система збору біогазу і використання його енергетичного потенціалу для виробництва електричної енергії. Проведено аналіз когенераційних установок для використання біогазу і в якості головного обладнання обрано газопоршневу генераторну установку G 3406 LE – 190,  $n=1500$  об/хв.,  $f=50$  Гц.  $V=400$ В компанії «Caterpillar».

Схема прийнятих технічних заходів наступна:

- система збору біогазу, яка включає: перекриття плато-образної частини полігону ізолюючим шаром 0,6 м, з них 0,4 м піску, який мається поряд з полігоном в достатній кількості та 0,2 м привозних потенційно родючих суглинків, буріння газовідвідних свердловин;
- прокладання колекторів потоків газу;
- установка модуль насос – факел;
- установка утилізації та трансформації біогазу в електричну енергію – газопоршнева генераторна установка;
- трансформаторна підстанція для передачі електричної енергії в мережі Енергетичної компанії.

Була розрахована проектна потужність об'єкту проектування. Згідно розрахунків, об'єм біогазу з масиву полігону ТПВ м. Енергодар складає 1,612 млн. м<sup>3</sup>/рік, а об'єм зібраного біогазу – 0,806 млн. м<sup>3</sup>/рік або 0,935 тис. тон. Кількість виробленої на генераторній установці електроенергії складає 150 кВт/год.

4. За розрахунками економічної ефективності дисконтований термін окупності – 5,2 роки.