

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології та природозахисних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 183 “Технології захисту навколишнього середовища”

Тема: Розроблення технології дегазації полігону ТПВ з отриманням
теплової енергії

Завідувач кафедри

Пляцук Л.Д.

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник роботи

Васькіна І.В.

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Консультанти:

з охорони праці

Фалько В.В.

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Виконавець

студент групи

ТС.М-11 ТЗНС

Гопкало Д.В.

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Суми 2022

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природоохоронних технологій
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Гопкала Дмитра Валентиновича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розроблення технології дегазації полігону ТПВ з отриманням теплової енергії затверджена наказом по університету від “03” листопада 2022 р. № 1006-VI
 2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 22 грудня 2022 року
 3. Вихідні дані до проекту (роботи) патентна база технологічних рішень дегазації полігонів ТПВ з отриманням теплової енергії; вплив регуляції тепла на процес метаногенезу.
 4. Зміст розрахунково–пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
 - негативний вплив полігонів твердих побутових відходів на навколишнє середовище;
 - огляд санітарно–екологічної ситуації щодо поводження з відходами в Україні та Сумській області;
 - правове регулювання поводження з відходами;
 - огляд можливих конфігурацій існуючих систем екстракції звалищного газу з подальшою утилізацією;
 - розроблення системи дегазації полігонів твердих побутових відходів на основі проведених розрахунків;
 - використання теплоенергетичного потенціалу полігонів ТПВ з регуляцією температур середовища та їх можливим впливом на процес метаногенезу в товщі ТПВ.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Оптимальні габарити полігонів згідно з розрахунками ДБН В.2.4–2–2005; Структура твердих побутових відходів України; Структура відходів м. Суми та прилеглих населених пунктів; Зміна обсягів утворення ТПВ по роках; Свердловина газозабору в розрізі; Вигляд свердловини пасивної системи дегазації; Вигляд свердловини активної системи дегазації; Тепловий потенціал полігонів ТПВ; Максимальні стабільні температури виміряні у комірках;

Варіювання температур з глибиною (досліджувані полігони 1, 2, 3 та 4); Схема вертикальної системи тепловідводу (HES); Прогрес від відбору тепла в активній стадії виділення до термічного джерела енергії; Температурні режими звалищ (HES систем та еталонні) на глибині 15 м; Температура полігону з використанням систем HES; Термальний режим з глибиною та радіальною відстанню від системи забору тепла; Показники тепла, що збирається (діаметр труби – 25,4 мм), як функції швидкості рідини; Зона впливу систем тепло забору; Вплив висоти відходів на відбір тепла; Виробництво газу з регуляцією термічного режиму полігону; Схема облаштування HES свердловин на практиці; Дані для розрахунку; Значення питомих опорів ґрунтів; Значення підвищувальних коефіцієнтів розрахунку; Вигляд схеми заземлення; Коефіцієнт екранування для поодиноких заземлювачів; Коефіцієнт екранування смуг сполучення.

5. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд за досліджуваною проблематикою	Вересень 2022 р.	
2	Робота над розділом «Теплоенергетичний потенціал полігонів ТПВ»	Вересень 2022 р.	
3	Опис та розрахунок систем дегазації полігонів ТПВ з вилученням тепла	Жовтень 2022 р.	
4	Огляд конфігурації систем екстракції звалищного газу	Листопад 2022 р.	
5	Удосконалена технологія вилучення біогазу полігонів	Листопад 2022 р.	
6	Інтенсифікація процесу за допомогою впровадження теплового режиму полігонів	27.11.22	
7	Робота над розділом «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	30.11.22	
8	Оформлення роботи	05.12.22	

6. Дата видачі завдання 24.09.2022 року

Студент _____

Керівник проекту _____

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи магістра.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 80 найменувань. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 80 с., у тому числі 10 таблиць, 17 рисунків, список використаних джерел на 9 сторінок.

Мета роботи – дослідити теплоенергетичний потенціал полігонів ТПВ та можливості його використання як альтернативного джерела енергії.

Відповідно до поставленої мети було вирішено такі *завдання*: визначення негативного впливу полігонів ТПВ на екологічний стан планети в цілому; огляд санітарно–екологічної ситуації щодо поводження з відходами в Україні та Сумській області; визначення моментів правового регулювання галузі в Україні; оцінка можливих конфігурацій існуючих систем екстракції звалищного газу з подальшою утилізацією; розроблення системи дегазації полігону ТПВ на основі проведених розрахунків; інтенсифікація процесу метаногенезу шляхом впровадження термічного режиму полігону.

Об'єкт дослідження – тепловий та електричний потенціал полігонів ТПВ (тепло та звалищний газ, що утворюються на полігонах).

Предмет дослідження – способи максимально ефективного вилучення енергетичного потенціалу полігонів твердих побутових відходів з інтенсифікацією генерації звалищного газу.

Методи дослідження. Літературний огляд, теоретичний аналіз літературних даних, статистична обробка інформації, математичне моделювання, системний аналіз.

Запропоновано впровадження термічного режиму полігону шляхом регулювання внутрішньої температури у відходах паралельно з використанням систем дегазації звалища.

Ключові слова: ЗВАЛИЩНИЙ ГАЗ, ПОЛІГОН ТПВ, ДЕГАЗАЦІЯ ПОЛІГОНУ, ЕКСТРАКЦІЯ ТЕРМІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОЛІГОНУ.

ВСТУП

Довгий час енергетичний потенціал полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) відступав на другий план у порівнянні з більш традиційними джерелами енергії. Такі можливості як дегазація полігону (екстракція звалищного газу (ЗГ)), а також екстракція теплової енергії з надр сміттєзвалищ були мало дослідженими, ризикованими явищами для застосування їх на широкій практиці.

Зараз енергетична система України перебуває не в кращому своєму стані, пов'язаному з воєнними діями російської федерації направлених проти нашої держави. Такі підприємства як атомна енергетика, ТЕЦ, ГЕС, розподільчі мережі електроенергії та інші об'єкти критичної енергетичної інфраструктури стали легкою мішенню для ворога.

З цією метою в даній роботі одним із варіантів можливих дій направлених на збереження енергетичного благополуччя України пропонується збільшення використання теплоенергетичного потенціалу полігонів ТПВ на максимум.

Їх розсередженість по всій території країни дає змогу безпечно функціонувати без будь якого ризику так як через велику кількість звалищ по всій країні просто неможливу нанести скільки-небудь значні пошкодження подібної інфраструктури.

Актуальність теми. Звалищний газ являє собою суміш газів у складі якого є метан [1]. Більша частина його складових має токсичний вплив на живі організми довкола, не зважаючи на сумарний парниковий ефект визваний іншими домішками. Парниковий коефіцієнт метану дорівнює двадцяти одному, що означає що в перерахунку на CO₂ знадобиться в 21 раз більше газу аби вирівняти їх у впливі на НС [1].

Практика захоронення відходів в нашій державі як і в багатьох інших країнах набула широкого розповсюдження, а через недостатньо впроваджене

Ивв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Ивв.№дубл.	Подп. и дата
------------	--------------	------------	------------	--------------

Ивв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Ивв.№дубл.	Подп. и дата
Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

5

роздільне збирання сміття, виникають труднощі з його утилізацією для подальшого використання у якості вторинної сировини [1].

Зважаючи на негативний вплив зазначених факторів ми маємо просте рішення – викачувати ЗГ з товщі полігонів ТПВ. Це необхідно робити з багатьох причин, але можна не просто запобігати негативним проявам в навколишньому середовищі, а робити це з максимальною вигодою.

Оскільки в полігонах в процесі метанового бродіння утворюються екзотермічні реакції з виділенням палива, ми можемо відбирати тепло, та отримувати електроенергію для подальшого використання.

Мета роботи: дослідити теплоенергетичний потенціал полігонів ТПВ та можливості його використання як альтернативного джерела енергії.

Завдання дослідження: проаналізувати умови виділення тепла та звалищного газу в процесі експлуатації полігонів ТПВ, інтенсифікацію процесу метаногенезу шляхом регулювання теплоти у товщі захоронень та способи екстракції з метою застосування для господарських цілей.

Об'єкт дослідження – теплоенергетичний потенціал полігонів ТПВ (тепло та звалищний газ, що утворюються на полігонах).

Предмет дослідження – способи максимально ефективного вилучення енергетичного потенціалу полігонів твердих побутових відходів.

Методи дослідження: літературний огляд, теоретичний аналіз літературних даних, статистична обробка інформації, математичне моделювання, системний аналіз.

Апробація результатів роботи.

Гопкало Д.В., Васькіна І.В. Технології збору полігонного біогазу. VI Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, 2021 р.)

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата
------------	--------------	------------	------------	--------------

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 21510178

Арк.

6

РОЗДІЛ 1 ВПЛИВ ПОЛІГОНІВ ТПВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

1.1 Визначення впливу полігонів ТПВ на атмосферу Землі

Полігони твердих побутових відходів безперечно несуть свій вплив на навколишнє середовище планети, тому суттєвим у їх поводженні є пошук нових підходів експлуатації та максимізація вивільнення їх енергетичного потенціалу.

Полігони ТПВ є інженерними спеціалізованими спорудами, які призначені для захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) – ДБН В.24–2–2005 "Полігони ТПВ. Основні положення проектування"[2].

Основною функцією даних об'єктів є дотримання санітарно–епідемічних норм серед населення в прилежних населених пунктах, упередження можливих негативних явищ на геологічному рівні та безпечності довкілля загалом.

Масштаби полігонів та їх можлива потужність залежить від потреб конкретного регіону. Основними факторами є кількість відходів що викидаються, ступінь потреби у їх захороненні (згідно з санітарними нормами та екологічними вимогами), кількість мешканців прилеглих пунктів та річна норма захоронення ТПВ.

Проте є певні види відходів, що не захоронюються. Так відходи, що підлягають переробці в якості вторинної сировини за можливості їх подальшої утилізації або певні отруйні, токсичні речовини та речовини які можуть спричинити негативний вплив на інфраструктуру полігону не можуть бути захороненими. Зазвичай захороненню підлягають лише ТПВ, що не можуть бути використані у якості вторинної сировини.

Такі речі як надійність об'єкту та його економічність передбачаються ще на стадії проектування. Необхідно враховувати перспективу розширення та приблизну площу місця захоронення відходів. Його площа повинна бути

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

7

якогомога меншою. До того ж усі території відведені під місця захоронення ТПВ мають бути повернені в господарський побут.

Площа об'єкту визначається як проектна місткість (м³) що ділиться на середню висоту слоїв у метрах. До уваги також приймається можливість ущільнення покладів з часом. При цьому в розрахунках враховують строк використання ділянки під полігон а також кількість населення. Експлуатація місця захоронення не може бути меншою за 15–20 років, що також певним чином пов'язано з економічною вигодою.

Таблиця 1.1 – Оптимальні габарити полігонів згідно з розрахунками ДБНВ.2.4–2–2005

Середня чисельність населення, що обслуговується, тис. чол.	Середня висота покладів ТПВ, м					
	12	20	25	35	45	60
50	6.5	4.5–5.5	–	–	–	–
100	12.5	8.5	6.5–7.5	–	–	–
250	31.0	21.0	16.0	11.5–13.5	–	–
500	61.0	41.0	31.0	23.0	16.5–20	–
750	91.0	61.0	46.0	34.0	26.0	–
1000	121.0	81.0	61.0	45.0	35.0	27.0–32.0

Полігон ТПВ містить кілька базових елементів: господарська діляниця, інженерні структури та комунікації, під'їзну дорогу, а також площу відведену для захоронення відходів.

Переважна більшість площі об'єкту відводиться під поклади ТПВ і становить приблизно 85–95%. Захоронення відбувається почергово, одна черга захоронення становить близько 3–5 років експлуатації полігона. Складування відходів кількох перших черг відбувається поярусно. І в першій другій та (за можливості) третій черзі їх закладають ярусами висотою 2–2.5 метри.

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Від того як спроектований полігон ТПВ залежить благополуччя населення прилежних територій, такі місця складання відходів є дуже не стабільними за певних погодних умов. Отже їх територія повинна бути добре захищена від можливих затоплень з вище розміщених ділянок. На стадії проектування для упередження стоків зливових, талих вод, а також фільтрату, розробляється комплекс гідротехнічних споруд. Решта 5–15% полігону приходяться на зелені насадження, інженерні споруди та комунікації, господарську зону й обвалування.

На території розміщується контрольнорегулюючий ставок, куди подаються відкачані дощові та талі води що просочилися у тіло полігону. Він має кілька призначень, одне з яких – контроль якості води. Після проведення контролю якості, в залежності від чистоти води її можуть використовувати в інших процесах. Дуже забруднена вода спрямовується до очисних споруд полігона, або в каналізаційний стік, чисті повертаються для виробничих цілей.

Полігон ТПВ являє собою один великий біореактор в якому одночасно проходять хімічні, фізичні та біологічні процеси.

Під фізичними процесами мають на увазі ущільнення та стискання шарів, іонний обмін, подрібнення часток, адсорбція, тощо. Через подрібнення часток й стискання шарів прискорюється поглинання води тілом полігону через що прискорюється процес розщеплення відходів.

Під хімічними – окиснення сполук, гідроліз, деполімеризація, окислювальновідновні та фотохімічні реакції. Швидкість протікання процесів прямо пов'язана з вмістом кисню, величиною Ph і окисновідновним потенціалом фракцій в товщі захоронень.

Переважну роль з названих процесів грають біохімічні. Оскільки полігон ТПВ це біореактор, в ньому постійно відбувається анаеробне бродіння з метаногенезом в результаті.

Метанове бродіння – це біотермічний анаеробний процес розпаду органічної частини ТПВ.

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510178				

В процесі експлуатації виділяється так званий звалищний газ – (ЗГ) біогаз, що виділяється в тілі полігону твердих побутових відходів в результаті метанового бродіння органічної частини останніх. Джерелом звалищного газу виступає органічний субстрат який варіюється від 60–80% усієї маси відходів. До переліку відносяться садово–паркові та харчові відходи, макулатура та будь що з вмістом целюлози. Об'єм та якісний склад біогазу змінюється у часі. Тож його склад напряду залежить від віку полігону.

Швидкість та хід процесів у товщі ТПВ залежить від кліматично–географічних умов, хімічного та морфологічного складу субстрату та віку полігону.

В результаті в атмосферу безперервно вивільняються великі об'єми метану в складі ЗГ, а разом з тим різноманітні макро і мікро домішки. Повний список негативних елементів виглядає наступним: метан (40–44%), діоксид вуглецю (30–45%), азот (18–30%), кисень 1%, водень 0,5%, аміак (0,1–0,2%), сірководень (0,2–0,8%), а також ароматичні вуглеводні, такі як циклогексан, бензол, тощо (до одного відсотка). Теплоенергетичний потенціал ЗГ варіюється від 18 до 25 Мдж/м³. [1]

Дегазація полігону є економічно вигідною, якщо вихід метану становить 3–5 м³ з тонни відходів на рік (згідно з А. Пахнюк, Ю. Матвеев).

Вміст метану в звалищному газі і є кінцева мета його видобування. Це необхідна енергія яка має безліч способів утилізації і використання в енергетичних установках: стаціонарні двигуни–генератори, промислові печі, котлоагрегати та інше. Також доцільно використовувати цей паливний ресурс для закачування в газові балони.

В ДБН В.24–2–2005 "Полігони ТПВ. Основні положення проектування" рекомендується використовувати останній для утилізації в генераторних установках з метою отримання електроенергії для покриття потреб полігону, а за неможливості утилізації повного об'єму ресурсу, його необхідно спалювати щоб упередити витік в атмосферу.

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 21510178				

Безупинний витік звалищного газу в земну атмосферу несе екологічну та санітарно–епідемічну загрозу на різних рівнях та в різних масштабах. До того ж є можливість накопичення певного об'єму в довколишніх об'єктах інфраструктури, що створює прецедент для вибуху або пожежі.

Зі зростанням вмісту біогазу в умовно замкнутому просторі підвищується також його токсичний вплив. При вивченні необхідних матеріалів неможливо пройти повз інформацію про отруєння метаном з домішками в процесі догляду за інженерно–комунікаційними комплексами, іноді з летальними наслідками. Хоча сам метан не є токсичним, він відбирає місце кисню у гемоглобіні в результаті чого тканини не отримують необхідну його кількість і починається гіпоксія, одним з симптомів якого є циноз – (синюшність тканин).

Схожим чином але вже на геологічному рівні звалищний газ проникає у ґрунтові покриви, де витісняє кисень і тим самим викликає асфіксію (удушливість) кореневої системи флори. Це можна відслідкувати по інтенсивності росту рослин навколо подібних місць.

Склад ЗГ є досить обширним. Не складно уявити поширення великих об'ємів отруйних сполук з неприємним запахом довкола полігону.

Існують певні умови які сильно впливають на вміст формуючих речовин. Кліматичні, геологічні, умови створення покладів ТПВ, хімічний і морфологічний склад відходів, місце розташування, вологість, щільність шарів, все це впливає на якість та кількість майбутнього газу.

Звалищний газ утворюється постійно і проходить конкретні стадії після того як доставлені нові порції ТПВ. На першому етапі, який займає близько одного року, розщеплення сполук відбувається через окиснення фракцій ТПВ. Ця стадія торкається здебільшого верхніх шарів покладів. Тут метаногенним бактеріям необхідний кисень, який вони в достатній кількості знаходять в атмосфері чи серед нещільно складених ТПВ.

На другому етапі коли шари покладів стають щільнішими і їх засипають ґрунтом для розмежування, беруть свій початок процеси анаеробні. Тут

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

11

відбувається біотермічний анаеробний процес розщеплення субстрату існуючою там мікрофлорою, а кінцевий продукт (ЗГ) вивільнюється у навколишнє середовище через отвори та порожнини.

Графік полігону також має вплив на процес метаногенезу. За стабільного графіку без суттєвих змін, другий етап також стабілізується, що робить утворення газу плавним та безперервним. Він має схожі характеристики при схожому складі субстрату.

Загалом є п'ять стадій (етапів) які проходить первинна сировина в процесі творення метану: перша – аеробна, тобто розкладання органічної складової відходів з використанням кисню; друга – бродіння – зброджування субстрату без потреби в кисні (метан не утворюється); на третьому етапі (анаеробна деструкція) метан з'являється, але не постійно, четверта стадія схожа на третю, проте вихід біогазу стабілізується; на п'ятому етапі відбувається припинення анаеробних процесів.

Перші 20–40 днів діють фаза 1 та 2. Наступна, третя фаза може тягнутись близько 700 днів. Четвертий етап метанотворення варіюється і дуже залежить від кліматичних умов. На півдні 10 років з поступовим збільшенням термінів у північному напрямку, до 50 років, якщо умови не змінюються [1,3].

Переважає більшість (близько 80%) звалищного газу формується за анаеробної деструкції з постійним виходом. Решта 20% з'являється за 1,2,3 та 5 фаз коли ЗГ генерується близько до поверхні покладів ТПВ з гарним доступом кисню, вихід метані при цьому максимально низький.

1.2 Негативний вплив полігонів ТПВ на гідросферу та ґрунти

Місце скупчення відходів з таким різноманітним складом і характеристиками безсумнівно має вплив на ґрунти та поверхневі води. Негативний вплив стає ще сильнішим коли погода є досить волога з частими дощами. Дощові води вимивають продукти деструкції органічних компонентів

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из Лист № докум. Підп. Дата

ТС 21510178

Арк.

12

(фільтрат), та інші шкідливі речовини із товщі захоронень прямо у землю. Фільтрат несе велику екологічну небезпеку адже в ньому містяться солі кальцію, натрію, калію, хлориди та сульфати [4].

Пора року слабо впливає на процес фільтратотворення, він з'являється постійно через постійні екзотермічні реакції в законсервованих шарах.

Відомо, що хімічний склад фільтрату змінюється в залежності від складу відходів, кліматично-географічних умов, інтенсивності біологічних процесів, щільності шарів ТПВ та методів експлуатації місця захоронень [3].

Згідно з літературними джерелами його склад та характеристика мають наступні показники: мг/л ХСК – 1500–51 тис., БПК – 1500–4800, залізо – 200–1700, сульфати – 650–2900, хлориди – 650–2900.

Чим більше шарів проходить фільтрат на шляху до ґрунтів, тим сильніше він збагачується продуктами метаболізму мікроорганізмів, важкими металами та іншими елементами.

Переважна кількість хімічних речовин, здебільшого неорганічні, досить швидко мігрують на великі відстані від місця свого розвантаження. Проникаючи у ґрунт вони сягають поверхневих вод і розповсюджуються на великі відстані погіршуючи тим самим якість водозабору. Ситуацію погіршує й те, що ця рідина переносить не лише шкідливі речовини, а й яйця гельмінтів з іншими мікроорганізмами.

Звалища обладнані дренажними системами та очисткою стоків об'єм скидів зменшується, а процес фільтрації дозволяє скидати залишок у поверхневі води[3].

При експлуатації полігонів, якщо керівництво ігнорує правила охорони навколишнього середовища, і не обладнує об'єкт дренажною системою з екраном від фільтрату, він просто стікає в ґрунтові води.

Можливі негативні наслідки посилюються, якщо виникають зсуви ТПВ, пожежі, повіні. Проблему становить навіть факт боротьби з зазначеними надзвичайними ситуаціями, адже спробі їх ліквідації часто посилює усі

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из Лист № докум. Підп. Дата

ТС 21510178

Арк.

13

негативні ефекти. Гасіння пожеж призводить до пришвидшення вимивання фільтрату, а за повіней він вимивається з шаленою швидкістю.

Таким чином на перший план виходить опрацювання плану дії при НС. Хоча перш за все необхідно підготувати упереджувальні заходи. З цією метою сміття складають за хімічним складом, їх станом, температурою горіння та ін. Легкозаймисті ТПВ зберігають у місцях з підвищеною вологістю та укритими від прямих промінів сонця.

Важливо щоб керівництво сміттєзвалищ відповідально ставилось до регламентів обладнання полігонів. Згідно з ДБН подібним об'єктам необхідний цілий ряд заходів безпеки серед яких є й вищенаведені дренажні системи з антифільтраційними екранами.

Серед факторів впливу на пожежну безпеку полігонів стабільно тримається виділення звалищного газу з виділенням тепла при деструкції органічної частини відходів. Факт наявності стабільно підвищених температур в товщі відходів які можуть сягати 90°C несе загрозу самозаймань, особливо в літню пору року.

Гарним методом боротьби з ризиком пожеж через функціонування метаногенних бактерій є використання тепловідвідних систем. Такі системи використовуються для відбирання надлишкового тепла, що знижує ризик пожежі на об'єкті.

1.3 Накопичення ТПВ на території України та Сумській області

Згідно з даними розміщеними на сайті мін. розвитку громад та територій України щорічно у середньому утворюється близько 500 мільйонів тонн відходів. 76% припадають на первинне виробництво, ще 18% на вторинне, а решта 2 і 2% на ТПВ та сільськогосподарські відходи.

З даних опублікованих Євростатом усереднене значення утворення відходів на душу населення в ЄС в 2012 році дорівнювало 4.9 тонн, при 9.9 тонн в

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Арк.

ТС 21510178

14

Из Лист № докум. Підп. Дата

Україні всього одним роком пізніше. Найбільший відсоток – 94% відходів нашої країни становлять промислові відходи.

По звітності Міністерства регіонального розвитку в 2019 році (АР Крим та м. Севастополь в звітності не фігурували) населення нашої країни утворило близько 53 млн. м3 побутових відходів. З них близько однієї п'ятої було захоронено на 6 тисячах полігонів ТПВ та сміттєзвалищ загальною площею 9 тис. гектарів, тобто змін не виявлено.

Проаналізував вищенаведену інформацію можна прийти до висновку що відсоток ТПВ серед усіх відходів у країні не є таким великим, і що великих проблем від такої їх кількості бути не повинно. Але можна поглянути на цю проблему з іншого боку, ТПВ – це ресурс, ресурс який приносить електроенергію, гроші і тепло. Паралельно приносячи користь у вигляді чистоти в населених пунктах і дотримання санітарно–епідемічних норм.

За останні десятиліття кількість викидів на душу населення постійно мінялася. В певній мірі це пов'язано з прогресом і зміною уподобань людства. Десь у 2000 р. почали набирати популярність високовідходні товари, так як вони були більш зручними в споживанні та використанні. До того ж розробка та продаж нехарчових товарів породило велику кількість товарів пакування.

Морфологія та хімічний склад відходів змусує нас підбирати правильну стратегію в поводженні з такими ТПВ. Тут виступає сортування та роздільне положення відходів, що дає змогу для подальшої їх утилізації за правильних умов.

До цього моменту в нашій державі не було проведено висококваліфікованих досліджень характеристик відходів. Такі дослідження проводяться неорганізовано локальними командами операторів полігонів в тандемі з регіональними асоціаціями.

По даних Шостого національного повідомлення України з приводу кліматичних змін, морфологічна структура відходів виглядає так: 35–50% харчових відходів, 10–13% папір/картон, 9–13% полімери (вторинні), 8–10% –

Инва.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Изва. Лист № докум. Підп. Дата

ТС 21510178

Арк.

15

скло, 4–6% – текстиль, 5% відпрацьованих буд. матеріалів, металів – 2%, деревини – 1%, і 10% – великогабаритні відходи, електронні пристрої, небезпечні речовини та ін. На діаграмі нижче наведено характеристику типового складу ТПВ в Україні.



Рисунок 1.1 – Фракції відходів України, що захоронюються

Розподілення структури ТПВ в Європейських країнах дещо відрізняється. на харчові відходи там йде приблизно 24–30%, папір та картон займають 22–31%, 6–13% пластику, скла 8–10%, інші – 24–32%.

Відсоток відходів що утилізуються в Україні і досить є дуже низький. В 2013 р. на 96% захоронених було лише 3 % утилізовано, і ще один спалено.

Найближчим часом (до повномасштабного вторгнення) нашою метою було підвищити показник отримання енергії з полігонів ТПВ з 3 до 10%. Хоча ці 3% в нас просто спалюють.

Щодо перероблення відходів, їх можна розподілити наступним чином: 35% пластику, 28% паперу, 18% текстильних виробів, 14% скла, 1% металів.

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

16

Цілком, при постійному зниженні населення країни, а тепер у шалених темпах, в нас все–одно зростають обсяги ТПВ, до того ж існує проблема вивозу сміття в сільській місцевості. Проблему також погіршує вивіз відходів на несанкціоновані звалища, а там де пощастило збирати відходи роздільно, показники утилізації не є видатними [5].

Попри наведені вище негативні фактори, до 24 лютого 2022 року ситуація мала тенденцію покращуватись. Здійснювалась закупівля необхідного обладнання, а також розроблялись плани по отриманню максимально можливої користі від експлуатації полігонів. Відомо навіть 28 полігонів з встановленими системами дегазації (когонераційні установки потужністю 45,2 МВт). В 2018 році за інформацією НКРЕКП було вироблено 144 млн. вКт–год.

В кількох містах навіть була налагоджена система спалювання сміття. Такий спосіб утилізації можуть собі дозволити лише ті підприємства, які мають підсилений захист НС. А спалювати відходи, які є сенс утилізувати – заборонено. Місто Люботин, Київ та Харків мали сміттєспалювальні установки на цей рахунок.

1.4 Поводження з відходами в Сумській області

Міністерство розвитку громад та територій України у 2018 році опублікувало звіт де сказано, що в середньому одна людина на рік виробляє 2.27 м³ відходів з територій житлових масивів (упорядковані будинки), і 1.92 м³– з приватного сектору. За основу розрахунку було взято кількість населення та місця проживання.

Зі звіту станом на 2019 рік поточна характеристика Сумського міського полігону ТПВ рівнялась 179378.065 тонн відходів, що в перерахунку у метри кубічні складає 794166.029 м³. Захоронено в цьому році було 794166 тонн і 179378.04 м³ відповідним чином.

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

17

Як і на будь-якому іншому полігоні склад сумських ТПВ різняться. Серед ідентифікованих видів було виявлено і підраховано наступні: макулатура (картон/папір), плівка полімерна, пластик, ПЕТ пляшки (кришки не вказано), кольорові/чорні метали, скло, текстильні вироби.

Усі відходи діляться на класи.

1. ТПВ: тара, харчові та побутові відходи, кімнатні й дворові викиди, матеріали упаковки, макулатура, метал, дерево.

2. Великогабаритні відходи: відпрацьовані телевізори й холодильники, меблі, спиляна деревина, тощо.

3. Непотрібні/ відпрацьовані буд. матеріали: це різні матеріали що використовуються в будівельному ремеслі (ґрунт, пісок, асфальт, обломки різних конструкцій).

Є ще велика кількість різноманітних груп і класів, що не підпадають під визначення "Комунальних та міських відходів", вони виносяться в окремих списку по інших причинах і параметрам [6,7].

Нижче приведено схему класифікації відходів м. Суми та навколишніх населених пунктів нашої ОТГ:

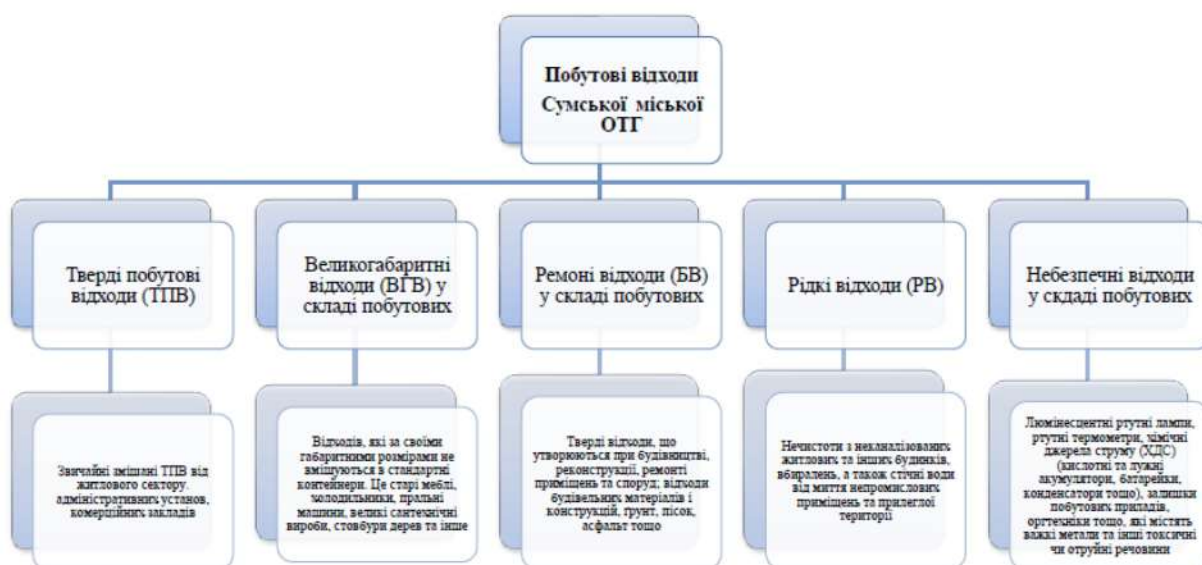


Рисунок 1.2 – Структура відходів м. Суми та прилеглих населених пунктів

Инва.№подл. Подп. и дата
 Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата
 Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ТС 21510178

Арк.

18

Нижче наведено графік ситуації з утворенням відходів та зміну тенденції у часі.

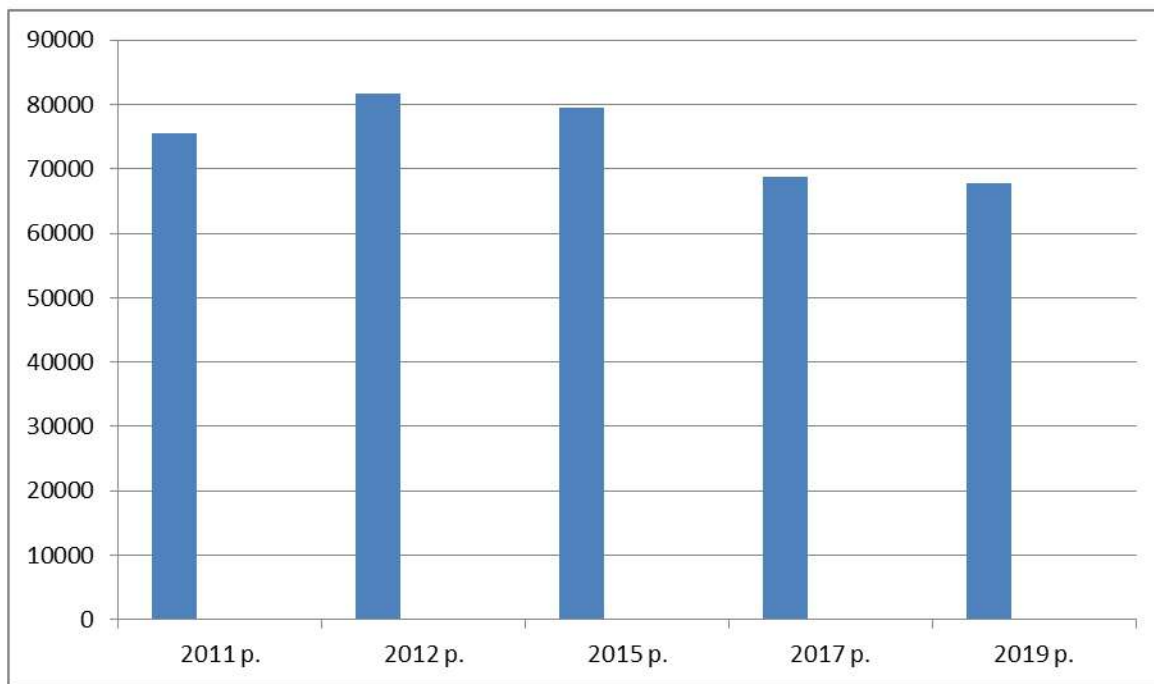


Рисунок 1.3 – Зміна обсягів утворення ТПВ по роках

1.5 Правове регулювання поводження з відходами в Україні

Головний документ, що регулює поводження з відходами в Україні є закон України Про охорону навколишнього природного середовища" та "Про відходи" [8]. Виходячи зі змін і доповнень законодавчих актів, до стратегічних пріоритетів нашої держави входять:

- Пошук і розробка можливих заходів, а також технологій для утилізації відходів, та поетапне зниження об'ємів захоронень цілком;
- Надання економічної вигоди компаніям за впровадження вказаних заходів;
- Утилізація відходів які підлягають переробці;
- Законодавче регулювання норм викидів та забруднень НС;
- Екологічний податок;

З закону "Про відходи" головними стратегічними пріоритетами є:

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата	<p>ТС 21510178</p>	Арк.
Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата		19
Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

- Ретельне прибирання відходів з дотриманням усіх визначених правил екологічної безпеки;
- Розумне використання доступних первинних ресурсів;
- Зниження показників кількості відходів та зниження викидів небезпечних відходів на скільки це є можливо;
- Налагодження переробки у вторинну сировину;
- Опрацювання методів та технологій максимально безпечного перевозу відходів які не підлягають переробці.

Починаючи з 2011 року і до 2020 політика націлена на охорону НС та поводження з відходами не набула великої популярності в Україні. Хоча деякі речі з приводу забруднення навколишнього середовища все ж було регламентовано:

- Кількість відходів що утилізуються мала збільшитись в півтора рази, що не є великою кількістю в порівнянні з минулими 3–8% до 12%, при рекомендованому 50% у ЄС;
- Планом до 2015 року малося налагодити систему вивозу відходів з міст населенням від 250 тис. осіб, що станом на 06.10.2022 виконано не було, як і інші пункти даного списку.

З 16.09.2014 року в дії вступила угода між Україною та Європейським союзом про співпрацю у сфері захисту НС, що надало нам можливість прокласти вірний курс в поводженні з відходами. В угоді також визначався рух законодавства України у Європейському напрямку.

Однією з визначальних змін з отримання енергетичного потенціалу полігонів стали поправки внесені в Закон України "Про електроенергетику". По цим поправкам електроенергія отримана в результаті поводження з полігонами коштувала в 2.3 рази більше(пільговий коефіцієнт). Налаштовувалась система дегазації відпрацьованих полігонів.

Компанії що виробляли товари упаковки були зобов'язані ретельно контролювати облік пакувальних матеріалів, та надавати постійний доступ до

Инва.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата
-------------	--------------	------------	------------	--------------

Изва	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ТС 21510178

Арк.

20

інформації з приводу їх використання Міністерству екології та природних ресурсів.

Також було зазначено що виробники товарів упаковки самостійно повинні піклуватись про утилізацію відходів їх компанії. Для переробки отриманих матеріалів було обрано підприємство "Укресресурси".

Кошти отримані з проведення наведених операцій йшли на:

- переробку певних видів сировини у вторинну;
- Закупівлю необхідної апаратури наведеним підприємствам;
- надання фінансового стимулу компаніям, завдяки відшкодуванню ціни з заказів на обладнання з підвищення ефективності охорони НС;
- сортування та переробка пакувальних матеріалів;
- налагодження місць збору вторинної сировини;
- розроблення інформаційно-аналітичної системи показників поводження з ТПВ у якості вторинної сировини;
- проекти з залучення коштів в регіональні ради для заходів охорони навколишнього середовища.

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата	Инв.№подл.	Подп. и дата	Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	TC 21510178	Арк.
													21

РОЗДІЛ 2 ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПОЛІГОНІВ ТПВ

Енергетичний потенціал полігонів ТПВ можна використовувати по двох основних напрямках: екстракція звалищного газу задля його використання в енергетичних цілях шляхом подальшого спалювання з отриманням електричної енергії та використання теплового потенціалу полігону [9].

2.1 Дослідження можливостей дегазації полігонів ТПВ

Основні підходи до проектування систем дегазації полігонів ТПВ наведено в моїй бакалаврській роботі [10]. Наведемо основні з них.

Екстракція ЗГ з товщі відходів є необхідною через високий парниковий коефіцієнт метану, та шкідливість його інших складових. За для реалізації цієї мети існує багато процесів і технологій [8,11], але в основному вони полягають у використанні пасивних чи активних систем газозабору.

Система дегазації, незалежно від її виду будується на основі буріння газовідвідних свердловин, що рівномірно розповсюджені по всій площі захоронень відходів [12]. Можлива кількість свердловин та частота їх розміщення варіюється в залежності від кожного окремого випадку. На розрахунки впливають такі речі як площа захоронень, їх об'єм, глибина і густина [13]. Свердловини застосовуються для зміни напрямку міграції очікуваного ресурсу на необхідний та вигідний.

Переважає кількість систем дегазації полігонів передбачають в своїй конструкції резервні ресурси за для більшої надійності та зручності використання системи.

Головним двигуном процесу відкачки газу з тіла полігону незалежно від його подальшого напрямку є природній чи штучно створений перепад тиску.

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

22

Пасивні системи, як у цьому прикладі надійно застосовуються в обох випадках, до та після консервації об'єкту.

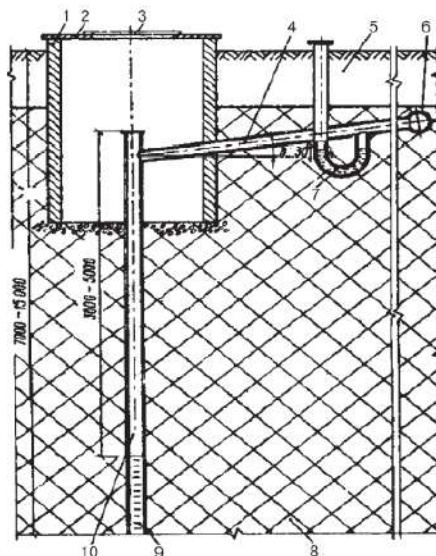


Рисунок 2.1 – Свердловина газозабору у розрізі

1 – залізобетонна основа колодезю; 2 – люк; 3 – кришка люка;
4 – відвідна труба; 5 – насип для ізоляції; 6 – збірна труба; 7 – вузол для відводу надлишку води; 8 – тіло полігону; 9 – фільтр; 10 – фільтруюча колона.

В товщу ТПВ на глибину 50–90% захоронень монтується система трубопроводів з використанням перфорованих полімерних труб, в разі наявності ґрунтових вод, свердловини сягають їх поверхні.

Завдяки подібним установкам оператори чітко контролюють напрямки міграції ЗГ, та можуть відкачувати його в потрібний момент. Пасивні системи частіше застосовують після консервації об'єкта.

Якщо з певних причин не можливо застосовувати вертикальні свердловини, наприклад якщо котлован полігону є дуже глибокий, використовують трубопроводи з перфорацією горизонтального положення. Серед звичайних типів свердловин для утилізації пального існують ті що використовуються безпосередньо для викачування ЗГ в атмосферу, хоча необхідність його спалювати лишається, навіть якщо його потенціал застосувати неможливо [14].

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из Лист № докум. Підп. Дата

ТС 21510178

Арк.

23

Системи для утилізації є ширше розповсюджені, і містять велику кількість вузлів для відбору проб і відстеження потрібних показників. Фактор утримання ЗГ в товщі ТПВ має велике значення у впливі на КПД системи дегазації.

Хоча описані установки та обладнання мають велику кількість переваг, як наприклад вплив на об'єм емісії парникових газів, вони потребують багато зусиль й гарного фінансування. Застосовуючи описані системи очікується що з часом газ що накопичується в тілі полігонів сам знайде вихід на поверхню через прокладені шляхи де і буде утилізований. Тому розрахунок таких систем є одним з найважливіших етапів проектування. Невелика помилка може нашкодити великій системі і КПД буде нижче ніж очікувалось.

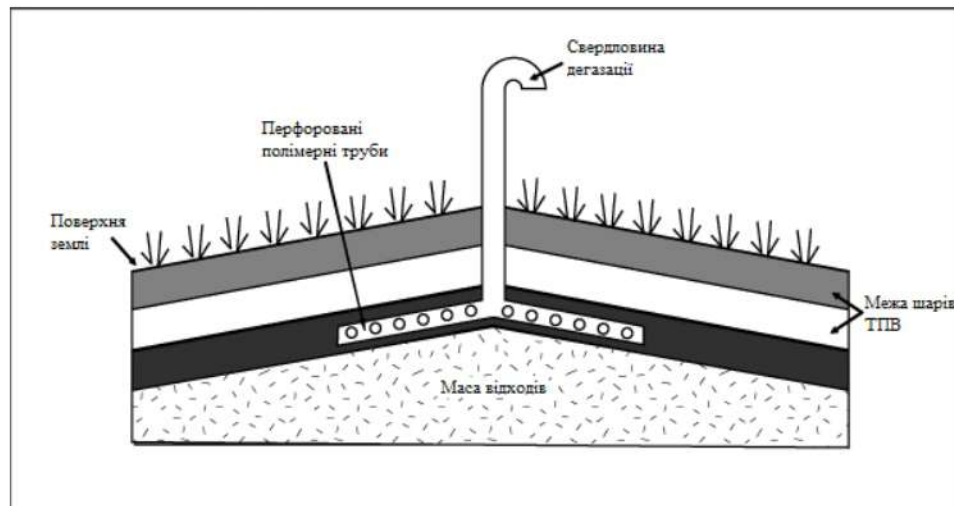


Рисунок 2.2 – Вигляд свердловини пасивної системи дегазації

Активні системи дещо відрізняються. Не зважаючи на всі переваги пасивних систем, активні є кращими по багатьох показниках. Загалом вони мало чим відрізняються від пасивних, основною відмінною є наявність більш просунутих вузлів таких як штуцери і клапани, що дозволяють контролювати тиск, а також відбирати проби. Завдяки можливості відбору проб працівники отримують усю необхідну інформацію про стан газу, його тиск, склад і швидкість генерації.

Инв.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инв.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 21510178

Арк.

24

В системах типу 2 ключову роль відіграють компресори. Шляхом з'єднання вакуумних нагнітачів із свердловинами і створенню зони пониженого тиску звалищний газ виводиться із шарів відходів, тож напрямок руху є під цілковитим контролем робітників.

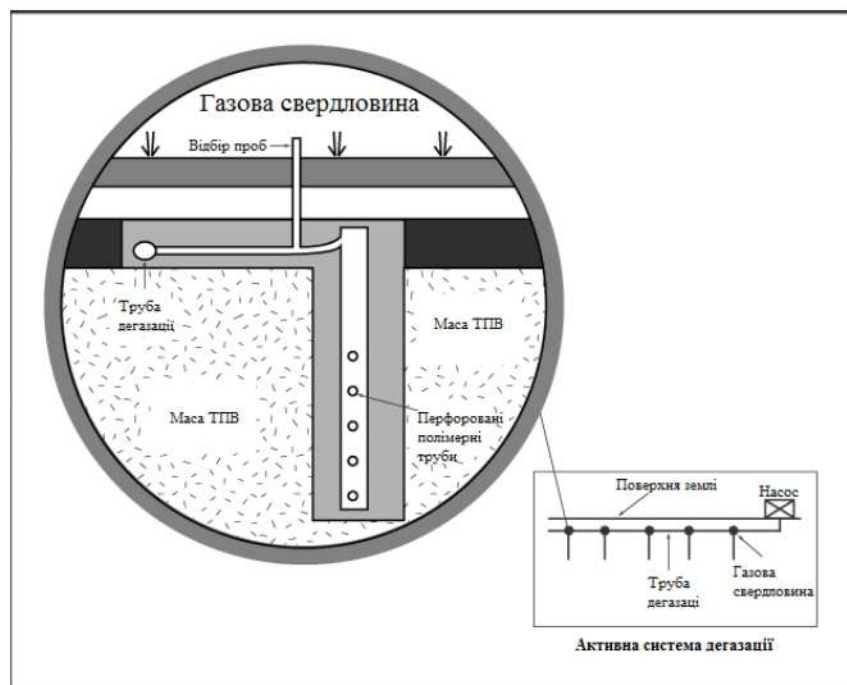


Рисунок 2.3 – Вигляд свердловини активної системи дегазації

Вважається, що за умови стабільного функціонування свердловини, кількість ЗГ що генерується буде приблизно дорівнювати кількості ЗГ, що відкачується, хоча на цей процес також впливає швидкість обертання конкретного нагнітача.

Середньою частотою розповсюдження свердловин на полігонах є приблизно одна на кожні 50–60 метрів. Якщо в процесі функціонування полігону шари ТПВ достатньо ущільнилися, при правильному підході до розташування свердловин можна збирати до 80% біогазу що утворюється [7].

В процесі установки таких систем важливу роль відіграє порядок та чіткість виконання етапів монтування. Спочатку буриться свердловина, після чого у неї занурюють трубу з перфорацією виготовлену з пластмаси або хромованої сталі на вершині якої встановлено фланцевий вузол. Наступним

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из Лист № докум. Підп. Дата

ТС 21510178

Арк.
25

етапом є наповнення труби пористими матеріалами такими як гравій висотою до 3–4 метрів нижче поверхні. Далі виконується ретельна ізоляція вузлів задля запобігання підсосів атмосферного повітря [15]. Коли основна робота завершена, на частині свердловини вище поверхні встановлюють циліндричних металевий оголовок з різними штуцерами (з'єднувальний патрубок, клапани контролю дебету та якості).

Інколи, якщо потенціал газу використати не можливо (лінія передачі до споживача дуже довга), вдаються до факельного спалювання. Хоча тепла або електрична енергія при цьому не отримується, негативний вплив на атмосферу мінімізується [16].

Загальна схема системи дегазації виглядає наступним: свердловини вертикального положення нижче поверхні відходів поєднуються між собою перфорованими трубами, а завдяки використанню нагнітачів тиску, створюється зона розрідження що спонукає газ рухатись до поверхні через створену систему каналів. А біля полігонів, на спеціально обладнаних платформах збирають установки для утилізації.

Не важливо до чи після закриття об'єкту буде встановлена система дегазації. Хоча важливим фактором при розрахунку економічної вигоди використання таких систем є фактор потужності полігону, вигідними у використанні є лише ті чия потужність є 10 метрів і більше.

Не зважаючи на те що використання є доцільним і після і під час роботи полігону, рекомендовано щоб верхній шар був рекультивованим, тобто покритий ізолюючим шаром ґрунту на висоту 30–40 сантиметрів [17].

Звичайним робочим діаметром свердловини є проміжок у 200–600 мм. Глибина коливається в залежності від висоти шарів, і інколи сягає кількох десятків метрів. Вміст вологи в середньому становить 5–7%, а температура ЗГ сягає 40–50°C.

Проблема використання таких систем полягає в постійному формуванні великої кількості конденсату через підвищення температури газу і різкі падіння

Инвар.№подл. Подп. и дата
 Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Инвар.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата	ТС 21510178	Арк. 26
Инвар.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата		

тиску в каналах. Зі 100 м³ газу зазвичай ми отримуємо 1 м³ вологи що сконденсувалася. За таких обставин виникають певні збої в злагодженому процесу, тож часто це потребує додаткової уваги [18].

Проектування систем дегазації – важкий і кропіткий процес. На першому етапі проектування виконується гідравлічний розрахунок майбутньої установки де визначають підходящий діаметр труб, та кращий матеріал з якого їх виготовляють.

За матеріали беруть або корозієстійку сталь, або труби із пластмаси. Це визначається на розрахунковому етапі з критеріїв відповідності тому чи іншому виду матеріалу. По перше важливе значення має полігон де будуть використовувати труби, адже в місцях з вірогідною просадкою шарів можна використовувати лише ті, що є досить міцними чи досить пластичними.

Зважаючи на те що просадки є досить частим явищем на усіх полігонах, краще підходять труби із поліетилену низького тиску (ПНТ). На них не впливає явище корозії, і вони є достатньо гнучкими, щоб не зламатись під тиском відходів.

Для зменшення кількості конденсату в системі розраховують спеціальні наклони труб, що може запобігти збільшенню швидкості газу і зниженню тиску у потоці. Через те що повністю запобігти процесу конденсації не можливо, також використовують системи відводу вологи що утворилася. Така система складається з трубопроводу що з'єднаний зі стальним резервуаром та гідравлічним затвірником.

Враховуючи важливість екстракції ЗГ була розрахована система дегазації полігону м. Суми [10] яка складалася з пластикових перфорованих труб із діаметром свердловин 200–600 мм та глибиною до 10 м при кроку розміщення в 30–40 метрів.

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

27

2.2 Тепловий потенціал полігонів ТПВ

З огляду на військову агресію російської федерації Україна стикнулася з масштабною енергетичною кризою. В умовах війни при постійних обстрілах і руйнуванні критичної енергетичної інфраструктури є велика потреба в електроенергії для задоволення базових потреб споживачів в електроенергії та теплі, особливо у зимній період. Таким чином особливої актуальності набуло питання використання теплового потенціалу полігонів ТПВ, що допоможе в регулюванні енергетичних потреб прилеглих територій та може потенційно забезпечити тепловою енергією найближчі об'єкти інфраструктури. До того ж враховуючи велику кількість полігонів ТПВ в Україні та їх розкиданість по всій території країни ворогу буде досить важко нанести скільки-небудь значний збиток, що може відіграти ключову роль в балансуванні енергетичної системи нашої держави у військовий час та після.

Літературний огляд даного питання показує що тепло, газ і фільтрат є основними біопродуктами процесів захоронення на полігонах твердих відходів. Тепло утворюється в результаті біохімічних процесів і розкладання органічних компонентів у відходах. Розвиваються підвищені температури, які впливають на поточні біохімічні процеси, механічні та гідравлічні властивості та поведінку відходів, а також на технічні властивості можливих встановлених конструкцій, покриттів та навколишнього ґрунту земляного полотна. Вважається, що температура впливає на розкладання твердих відходів двома способами – короткочасним впливом на швидкість реакції та довгостроковим впливом на баланс мікробної популяції [19]. У загальному випадку розкладання відходів посилюється з підвищенням температури до граничних значень.

У лабораторних дослідженнях оптимальні температурні діапазони для росту мезофільних бактерій, які беруть участь у розкладанні відходів, становлять 35–40°C і 50–60°C відповідно [20,21]. Оптимальні температурні діапазони для максимального утворення газу в результаті розкладання відходів

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из Лист № докум. Підп. Дата

ТС 21510178

Арк.

28

були визначені в межах від 34 до 41°C у лабораторних дослідженнях, повідомлених у [19,22,23]. Діапазон температур від 40 до 45°C був визначений як оптимальний діапазон для виробництва газу на звалищі в Англії [24,25]. На технічні властивості відходів також впливає температура. У лабораторному дослідженні [26] зазначено що кількість просідань шарів ТПВ збільшується з підвищенням температури. Збільшення просідань свідчить про потенційне зниження міцності відходів на зсув, що може вплинути на стабільність схилів відходів. За аналогією з ґрунтами фактор температури впливає і на гідравлічні властивості та поведінку відходів. Крім того, на поведінку та низку інженерних властивостей ґрунту та геосинтетичних матеріалів шарів ізоляції, а також ґрунтів земляного полотна температурні режими мають визначальний вплив, як описано [27,28].

Тим не менш, в часи коли проводились перші дослідження з виділення звалищного газу та фільтрату, були обмежені можливості проведення аналізу і вивчення теплових процесів у тілі полігонів, а також робочих та кліматичних умов функціонування полігону на виділення тепла. Це дослідження було проведено з метою забезпечення комплексного аналізу теплового режиму полігонів ТПВ, таких як зміна температур, швидкість зміни температури, температурні градієнти та теплогенеруюча потужність як функція експлуатаційних і кліматичних умов.

Про просторові варіації температур на звалищах повідомлялося в літературі [29–34]. Температури були подібні до сезонних температур повітря на малих глибинах, максимальними на середніх В дослідженнях Rees (1980) [24,25] доповідається що температури в глибинах і підвищені, але нижчі за максимальні значення біля основи звалищ. Шар відходів приблизною товщиною 4 м зменшить вплив температури повітря на тепловий режим підлягаючих відходів. Максимальні зареєстровані температури зазвичай варіювалися від приблизно 40 до 65°C і спостерігалися в межах від однієї третини глибини до понад половини глибини полігонів із загальною висотою відходів приблизно від 20 до 60 м. Хоча

Инв.№подл. Подп. и дата
 Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.
 29

також повідомляється про виняток [33], де низькі температури від 10 до 20°C були виміряні для відходів з максимальною висотою майже 50 м у довгостроковій перспективі понад 9,5 років. Повідомлялося про температури приблизно від 30 до понад 50°C поблизу або біля основи полігонів [27,29,35,36], а температури в діапазоні від 20 до понад 30°C були зареєстровані для лайнерних систем [27,33,35].

Спостерігалися тенденції підвищення температури відходів після розміщення на полігонах. Збільшення зазвичай спостерігалось протягом декількох днів або кількох місяців після розміщення. Максимальні температури були зареєстровані для відходів віком від менше 1 року до 8–10 років. Температура відходів починала знижуватися приблизно через 10 років після розміщення. Дані, надані в [30] показали, що підвищення температури відходів корелювало з температурою розміщення. Температури, досягнуті у відходах протягом 2–річного періоду, були вищими для відходів, які спочатку мали вищі температури, порівняно з відходами, які спочатку мали нижчі температури. Деякі дослідники вказували, що короткочасне підвищення температури у відходах через аеробне розкладання прямо корелювало з температурою розміщення відходів [37].

Також проводились аналізи змін температури з фазами розкладання відходів (близько до поверхні) [32,37,38]. Після розміщення відходів температура з часом підвищувалася до пікового значення на аеробній фазі, а потім знижувалася до нижчих значень на наступній фазі анаеробного розкладання. Очікується, що температура повітря вплинула на ці вимірювання, однак ці ефекти, як правило, не були повністю досліджені. Крім того, ці дослідження проводилися протягом коротких періодів від днів до кількох місяців. Дослідники Dach and Jager [29] з'ясували, що максимальні температури на звалищі від 60 до 70°C і до 85°C були виміряні в анаеробній та аеробній зонах відповідно. У 1997 році використовувався числовий аналіз, щоб передбачити,

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

що анаеробне розкладання спричиняє розвиток високих температур, а інші публікації приписали високі температури анаеробним умовам [27].

Дослідники в роботі [27] надали вичерпний підсумок даних по показниках температур на звалищах і визначили глибину відходів, швидкість заповнення котлованів та властивості відходів як фактори, що впливають на температуру відходів. В цій публікації також вказано, що вологість насипів (відсоток фільтрату) мала найбільш значний вплив на виділення тепла та підвищення температури на звалищах. Високі температури в діапазоні приблизно від 40 до понад 60°C були пов'язані з наявністю у насипах фільтрату на звалищах на глибині приблизно від 6 до понад 20 м. Однак підвищені температури також спостерігалися на звалищах без достатньої кількості фільтрату в публікаціях [24,25,32,35] вказано, що для оптимального утворення газу в помірному кліматі необхідний високий вміст води з умовами повного насичення біля основи звалища та щільністю 1 т/м³, хоча надмірна інфільтрація води може перешкоджати метаногенезу та охолоджувати масу відходів що дає сукупний негативний вплив на процес утворення газу.

У додатковому термічному аналізі, контурні графіки температур уздовж вертикальних і горизонтальних поперечних перерізів на звалищах були надані у статтях Gartung et al. та Lefebvre et al. [32,35]. У вертикальних профілях найвищі температурні градієнти спостерігалися біля вершини котловану, а найнижчі біля основи полігону, коли в горизонтальних – найвищі температурні градієнти спостерігалися біля краю, а найнижчі – на центральних глибинах ТПВ.

Також у літературі зазначається потенціал утворення тепла для відходів, включаючи значення отримані за допомогою теоретичного аналізу біохімічного розкладання відходів [24,25,36,38,39,40] значення, отримані за допомогою підгонки кривої або методів зворотного обчислення, застосованих до вимірних польових даних [30,36] та значення, отримані для спалювання відходів [20,41,42,43]. Повідомлялося про аналіз виділення тепла внаслідок розкладання для аеробної фази, анаеробної фази та повного розкладання органічної частки

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

31

ТПВ (табл. 2.1). Значення теплоутворення повідомляли з наявності маси глюкози; на моль кисню або метану або перетвореної целюлози органічної речовини; і на об'єм або масу відходів.

Таблиця 2.1 – Тепловий потенціал полігонів ТПВ [43]

Досліджувані джерела (література)	Заявлений вихід тепла	Еквівалент виробленого тепла (МДж/м ³)	Умови розкладання ТПВ	Аналітичні дані
Pirt (1978)	1500 Ккал/кг Глюкози (6.369 КДж/кг – 1.147 КДж/моль кисню	NA	Аеробні	Аеробне розщеплення глюкози
Rees (1980a)	25.5 – 1.097 МДж/ м ³ /рік	NA	Аеробні в залежності від вмісту води	Аеробний метаболізм
Lefebvre et al. (2000)	10× 10 ³ КДж/м ³ /Рік	10.0	Аеробні	Накопичення тепла у відходах
Yoshida and Rowe (2003)	460 КДж/моль кисню	1.61 ^a	Аеробні	Біологічна деструкція (глюкоза)
Yoshida and Rowe (2003)	4.67 Дж/ м ³	NA	Аеробні	Біологічна деструкція (глюкоза)
Pirt (1978)	0.09 Ккал/ кг глюкози (377 Дж/кг глюкози)	NA	Анаеробні	Остаточне розкладання субстрату в CO ₂ та CH ₄
Tchobanoglous et al. (1993)	5.45 ГДж/т (5.450 КДж/т)	5.450 ^b	Анаеробні	Остаточне розкладання субстрату в CO ₂ та CH ₄
El Fadel et al. (1996)	2.445 Ккал/моль органічного субстрату	NA	Анаеробні	Аналіз даних біохімічної реакції
El Fadel et al. (1996)	61 Ккал/моль метану що продусується	1.38 ^c	Анаеробні	Польові дані про реакцію
El Fadel et al. (1996)	26 Ккал\моль метану	0.59 ^c	Анаеробні	Поетапні біохімічні реакції
Zanetti et al. (1997)	900 КДж/ м ³	180 ^c	Анаеробні	Польові дані про реакцію
Yoshida and Rowe (2003)	43.5 КДж/моль метану	0.23 ^c	Анаеробні	Біологічне розкладання глюкози

Инв.№подл. Подп. и дата
 Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Арк.

ТС 21510178

32

Из Лист № докум. Підп. Дата

Продовження таблиці 2.1

Yoshida and Rowe (2003)	0.218 Дж/ м ³	NA	Анаеробні	Біологічне розкладання глюкози
Tchobanoglous et al. (1993)	11.600 КДж/кг	11.600	Повне розкладання	Приблизний аналіз з калориметрією
SFOE (2004)	11.900 КДж/кг	11.900	Повне перетворення	Енергія виділена під час горіння
Davies (2004)	9.200 КДж/кг	9.200	Повне перетворення	Енергія виділена під час горіння
Gibbs (2004)	9.500 КДж/кг	9.500	Повне перетворення	Енергія виділена під час горіння

Позначка NA використовується у випадках де пряме переведення даних не здійснювалось оскільки в оригінальних дослідженнях не було надано достатньо деталей щодо складу відходів та/або часу протікання процесів.

Де (а) розраховано за припущенням, що пористість відходів дорівнювала 0.4, а частка кисню в стані розміщення – 21%.

(б) Розраховано з урахуванням складу відходів за посиланням USEPA (2003). Де густина врахована як 1000 кг/м³ [44].

(с) Розраховано з застосуванням закону ідеального газу з тією ж густиною – 1000 кг/м³, де виробництво газу дорівнює 200 м³/м³ відходів, зі складом ЗГ де частка метану – 60%.

Значне виділення тепла відбувається в твердих побутових відходах, а також інших видах відходів, включаючи золу від спалювання ТПВ і відходи гірничої промисловості [45]. Теплоутворення у відходах відбувається в основному завдяки двом окремим процесам:

- 1) бактеріально–опосередкованому розкладанню органічної фракції відходів;
- 2) хімічним і біохімічним реакціям, які відбуваються в масі відходів.

Процеси розкладання та біохімічних реакцій і, як наслідок, виділення тепла поєднані таким чином, що як біологічні процеси, так і хімічні реакції генерують тепло, а ступінь і швидкість біологічних, хімічних і біохімічних процесів залежить від температури. Загалом, розкладання органічних складових, а також ступінь і швидкість хімічних реакцій зростають із підвищенням температури до граничних умов [19,20,21,23,46,47]. Було визначено оптимальні температурні

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Арк.

ТС 21510178

33

Из Лист № докум. Підп. Дата

діапазони для тривалої присутності різних видів бактерій і максимальної інтенсифікації процесів перетворення для різних типів відходів (наприклад [47]).

Аналіз доступних даних про температуру відходів показує, що на температуру відходів впливають кліматичні умови, середньорічна температура землі, температура відходів під час розміщення, умови покриття та властивий потенціал теплоутворення конкретних відходів [45,48]. На полігонах твердих побутових відходів, розташованих у різних регіонах світу, вимірювали температуру до 60–90°C [45]. Температура відходів може зростати від місяців до років, доки не досягне стабільно підвищених значень (порівняно з температурою навколишнього середовища), причому загальна тривалість утворення тепла розтягується на десятиліття. Циклічні ефекти сезонних коливань температури повітря зазвичай спостерігаються вздовж верхніх меж і на невеликих глибинах біля поверхні; місцеві середньорічні земні температури у товщі відходів впливають на бічні та нижні граничні температури; а в центральних областях відходів, що містяться глибше, вони мають стійкі підвищені показники [48,49]. На звалищах ТПВ висхідний потік тепла до поверхні є більш помітним, ніж низхідний потік тепла до ємної поверхні внизу [45]. Температура понад 100 °С, виміряна в газозбірних трубах, також була зареєстрована для обмеженої кількості звалищ ТПВ у США з об'єктів з великою кількістю реактивних промислових відходів [напр. посилання [50,51].

Велика кількість відходів що утворюються; велика кількість відходів яка щорічно вивозиться на полігони; великі обсяги захоронених відходів на звалищах; великі значення виділення тепла; і наявність довготривалих стійких підвищених температур вказують на потенціал для корисного використання тепла, що виробляється на полігонах твердих побутових відходів, як альтернативного джерела енергії. Вироблене тепло також може використовуватися на полігоні для оптимізації роботи систем полігону. Більші звалища, як правило, розташовані поблизу населених пунктів [50], могли б забезпечувати відносно легкий доступ навколишніх житлових, інституційних, та

Инв.№подл. Подп. и дата. Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

34

промислових енергетичних партнерів до видобутого тепла. Менші звалища в малонаселених районах можуть дозволити собі альтернативне джерело енергії (теплової та енергетичної), яке може бути недоступним у віддалених місцях. Виходячи з розміру сміттєзвалищ і кількості відходів на місці, корисне використання тепла звалищ може відбуватися в масштабі комунального підприємства з постійним енергопостачанням від сміттєзвалища до геотермального централізованого опалення для великих об'єктів або з менших об'єктів може періодично працювати синхронно з сусідніми енергетичними партнерами.

Температури звалищ і пов'язана з ними теплова енергія вважаються низькосортними відпрацьованим теплом, з температурами нижче 230°C [52]. Низькотемпературна теплова енергія зазвичай виділяється за допомогою органічного циклу Ренкіна (100–350°C), термоелектричних систем (100–300°C) та електрохімічних систем (30–90°C) [53–57]. З них електрохімічні системи добре підходять для вилучення тепла звалищ, оскільки вони виробляють енергію при відносно низьких температурах [55,57,58], таких як ті, що відбуваються на звалищах. У міру розвитку технологій підвищується ефективність систем, що використовують відхідне тепло низької якості [59,60]. Існує потенціал для вилучення низькоякісної теплової енергії, наявної на звалищах, для живлення місцевих і більш широких регіональних об'єктів через підключення до електричної мережі.

За для мети задоволення потреб енергетичних партнерів та довколишніх споживачів при підході з використанням вертикальних термальних свердловин, необхідно розраховувати кількість свердловин з приблизним кроком в 40–50 метрів. Таким чином ми збільшуємо площу поверхні труб при контакті холодоагенту (частіше води) із нагрітими ТПВ що дає змогу вилучати більшу кількість тепла при швидших темпах.

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

					TC 21510178
Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ДЕГАЗАЦІЇ ПОЛІГОНУ ТПВ З ОТРИМАННЯМ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

3.1 Дослідження теплового потенціалу полігону ТПВ

Енергія, необхідна для підвищення температури відходів, залежить від теплоємності відходів, величини підвищення температури відходів, випаровування води при метаногенезі, температури біохімічних реакцій і втрати тепла в навколишнє середовище.

Вироблення тепла було визначено для відходів, розташованих у центральній частині маси відходів на кожній ділянці з датчиком [61]. Теплоємність відходів була оцінена як 2,0 МДж/м³К [62]. Пік теплового вмісту у відходах використовувався як величина підвищення температури відходів.

Був проведений аналіз [48], щоб визначити величину підвищення температури та виділення тепла, які відбулися під час окремих фаз утворення газу у відходах. Дані, отримані з горизонтальних масивів, використовувалися для визначення температур і газового складу від початку розміщення відходів у черзі.

Дані з горизонтальних масивів були проаналізовані для визначення часових коливань температури залежно від розташування на заданій глибині. Середня висота відходів над масивами становила 18, 8,5, 4 і 5 м. Узагальнені дані цих досліджень наведені у табл. 3.1.

При такому підході до вимірювань верхні шари ТПВ виступають в якості ізолюючих, що дає змогу більш точного виміру температур що зазвичай утворюються в результаті процесів органічної деструкції.

Шари відходів що розташовані нижче поверхні окрім ізоляції мають й інші плюси, оскільки вони вже лежать там певний час, можна розраховувати на анаеробну стадію метанового бродіння у вимірах.

Инва.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата
-------------	--------------	------------	------------	--------------

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ТС 21510178

Арк.

36

Таблиця 3.1 – Максимальні стабільні температури виміряні за допомогою горизонтальних датчиків

Місцезнаходження	Найбільш стабільна температура ^{°C}	Вік відходів	Нормована довжина	Нормована глибина
Полігон–1	57	1	0.10	0.45
Полігон–2	35	3	0.50	0.66
Полігон–3	23	2	0.58	0.11
Полігон–4	42	1	0.37	0.20

$L(s)/L(t)$ Де $L(s)$ – горизонтальна відстань від краю комірки до місця розташування датчика, а Lt – загальна горизонтальна довжина маси відходів на конкретній висоті датчика.

$D(s)/D(t)$ – $D(s)$ – глибина відходів над датчиком, а $D(t)$ – загальна глибина маси відходів у місці розташування датчика.

Горизонтальна відстань від краю комірки до місця розташування датчика, дорівнювала 39 м, а загальна горизонтальна довжина маси відходів на конкретній висоті датчика – 400 м.

Варіації температур біля країв комірок виміру були подібні до сезонних температур повітря з послабленими амплітудами, тоді як температури біля центрів комірок були відносно стабільними, демонструючи тенденції до зростання при розміщенні відходів. Сезонні коливання температур значно зменшувалися на глибинах 20 метрів від країв камер на полігонах твердих побутових відходів. Найвищі температури спостерігалися на полігоні 1 та 4.

Високі температури, як правило, спостерігалися в центральних областях відходів уздовж заданого горизонтального плоского поперечного перерізу на заданій глибині. Середня зона має горизонтальну довжину приблизно в половину загальної горизонтальної довжини маси відходів на даній глибині.

Було помічено, що розміщення першого шару відходів (підйому відходів) із постійною глибиною від 4 до 5 м значно зменшило сезонні коливання температури відходів, за винятком країв котловану. Висота від 4 до 5 м відповідає типовій ефективній глибині шару відходів. Стійкі температурні тенденції почали розвиватися у відходах після розміщення першого верхнього

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

пару ТПВ. Температури нових відходів зазвичай підвищувалися з часом, причому підвищення відбувалося або з одноразовою швидкістю, або з початковою швидкою швидкістю, за якою слідувала тривала, але повільніша швидкість. На полігоні 2 температура зростала з одноразовою швидкістю 0,1°C/рік. Початкові темпи підвищення на полігонах 1 та 3 коливалися між 23 і 59 °C/рік, а наступні темпи зростання коливалися між 0,6 і 20°C/рік на цих ділянках. Спостерігалось збільшення тривалого періоду, що перевищує 5 років на полігоні 1 з найдовшою тривалістю моніторингу після розміщення відходів. На довгострокові температури вплинули початкові температури відходів під час розміщення [43].

Деяко більший початковий приріст спостерігався для відходів, що розміщуються в теплу пору року, ніж для відходів, що розміщуються в холодну пору року. Хоча загальне довгострокове підвищення температури є подібним для розміщення відходів у теплу та холодну пору року, величини досягнутих температур є вищими для відходів, що розміщуються в теплу пору, ніж у холодну, через початкові високі температури відходів.

Результати вертикальних вимірювань були використані для оцінки варіації температур з глибиною. Глибина кожного датчика в масиві від вершини котловану представлена на графіках (рис. 3.1 та 3.2).

Середній вік відходів, представлений на рис. 3.1 і 3.2 становив 6,5, 5,5, 2,5 і 7 років для чотирьох досліджених полігонів відповідно. Загальна глибина відходів, на діаграмах становила 31, 19, 51 і 19 м на полігонах 1, 2, 3, 4 відповідно.

Максимально підвищені температури, що спостерігаються для вертикальних датчиків на різних ділянках, представлені в таблиці 3.1. Дані з усіх вертикальних установок у всіх камерах на певних ділянках були проаналізовані для виведення значень, наведених у таблиці 3.1. Найвищі температури були виміряні в полігоні 1, за яким йдуть полігон 4, 3 та 2, де були зафіксовані найнижчі стабільні температури відходів серед усіх зазначених. Величини та

Инв.№подл. Подп. и дата
 Взаим.инв.
 Инв.№дубл.
 Подп. и дата

варіації температур біля поверхні були подібні до сезонних температур повітря, тоді як температури на більшій глибині були підвищеними та відносно сталими.

Сезонні коливання температур значно зменшилися на глибині приблизно від 6 до 8 м від верхніх шарів ТПВ. Температури досягли пікових значень на середніх глибинах, нормалізованих глибинах між 0,42 і 0,65, а потім знизилися до підвищених, але нижчих значень серед зафіксованих ближче до основи котлованів.

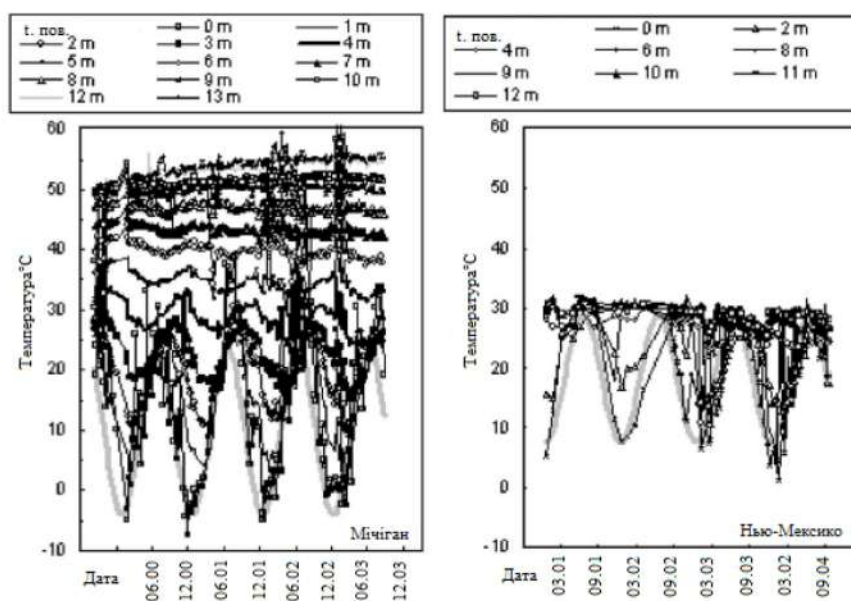


Рисунок 3.1 – Варіювання температур з глибиною (досліджувані полігони 1 та 2 з табл. 3.1)

Инв.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инв.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 21510178

Арк.

39

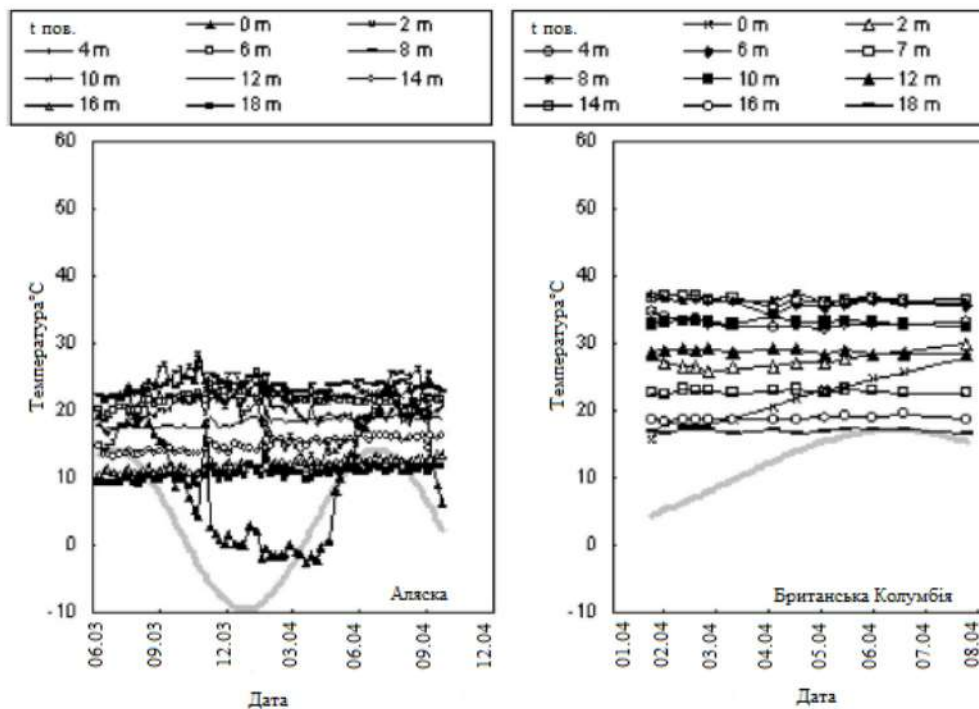


Рисунок 3.2 – Варіювання температур з глибиною (досліджувані полігони 3 та 4 з табл. 3.1)

3.2 Аналіз існуючих систем відбору тепла з полігонів ТПВ

В деяких дослідженнях було розроблено концептуальну основу управління теплоенергією на полігонах ТПВ [63,64]. Відбір тепла, регулювання тепла та додавання тепла описані як три основні стратегії управління теплом. Відбір тепла являє собою видалення надлишкового тепла (вище, ніж умови навколишнього ґрунту або цільові температури), що утворюється у відходах; регулювання тепла являє собою перерозподіл надлишкового тепла для отримання цільових рівномірних температур у межах полігону без активного зовнішнього теплообміну; і додавання тепла являє собою контроль і маніпулювання виробництвом тепла для досягнення цільових температур відходів шляхом додавання тепла на звалище або видалення тепла з полігону за допомогою зовнішніх джерел енергії [64].

Инв.№подл. Подп. и дата
 Взаим.инв.
 Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Подп. Дата

ТС 21510178

Стратегії управління теплом розроблені для:

1) використання надлишкового тепла звалища як альтернативного джерела енергії (вилучення тепла);

2) оптимізації виробництва звалищного газу, що використовується як джерело енергії з полігонів (відбір тепла, регулювання тепла, збільшення кількості тепла);

3) отримання цільових температур для контролю геомеханічних характеристик маси відходів, включаючи збільшення або зменшення тиску пару, збільшення або зменшення стисливості та осідання, а також зупинку деформації (відведення тепла, регулювання тепла, додавання тепла);

4) забезпечити симбіотичне використання енергії з сусідніми об'єктами, які потребують додаткової теплової енергії або виробляють надлишкову теплову енергію для оптимізації виробництва енергії та потреб усіх енергетичних партнерів (відбір тепла, додавання тепла).

Серед різноманітних альтернатив управління теплом для сміттєзвалищ тут увага приділяється відбору тепла, оскільки це основна стратегія прямого використання тепла звалищ як альтернативного джерела енергії.

Надлишок теплової енергії, що перевищує температуру навколишнього середовища або цільовий рівень температури, що утворюється на звалищах ТПВ, можна витягти за допомогою вертикальних і горизонтальних систем вилучення для використання в якості альтернативного джерела енергії [64]. Вертикальні системи дозволяють відбирати тепло вздовж профілів глибини в заданому місці маси відходів, тоді як горизонтальні системи дозволяють відбирати тепло з окремих глибин у масі відходів на великій площі [64,65]. Вертикальні системи можуть бути встановлені під час активного розміщення відходів або після процесу розміщення на певній ділянці полігону.

Встановлення систем тепловідводу і дегазації полігонів після завершення активної експлуатації черги є менш складним, ніж встановлення під час активного захоронення ТПВ, оскільки пряме втручання в роботу об'єкта не

Инва.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Инва.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата
Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

41

відбувається. Подібним чином, горизонтальні системи можуть бути встановлені під час експлуатації полігону або після завершення розміщення відходів на певному об'єкті. Однак у цьому випадку установка під час розміщення відходів є більш практичною, ніж після розміщення відходів через труднощі доступу до великих горизонтальних ділянок відходів, зокрема на глибинах нижче поверхні, після завершення розміщення відходів. Вертикальні системи в цілому є більш доцільними з точки зору простоти монтажу для використання в програмах відведення тепла на полігонах ТПВ порівняно з горизонтальними системами відведення.

Повідомлялося про дані та аналіз вертикальних пілотних систем відведення тепла, встановлених у масі відходів на полігонах ТПВ, що демонструє можливість відведення тепла в польовому масштабі. Деякі дослідники [66] описали встановлення та використання вертикальної та горизонтальної систем відведення тепла в Угорщині.

Вертикальна система включала з'єднані вниз і вгору секції труби, розміщені у великій свердловині всередині маси відходів біля стінки свердловини, де приблизно нижня половина кільцевого простору в свердловині була заповнена бетоном, а верхня половина – деревними відходами. Трубопроводи були зроблені з поліетилену високої міцності, а вода використовувалася як циркуляційна рідина. Діаметр труби або швидкість циркуляційної рідини не повідомлялися, з витратою води в приблизному діапазоні 3×10^{-4} м³/с, передбаченим для перших днів роботи вертикальної системи. Повідомляється, що середній відбір тепла становив 1152 та 770 Вт для двох встановлених свердловин. В інших дослідженнях [67] описали встановлення та використання вертикальної системи відводу тепла. Система включала U-подібні труби для циркуляції рідини, розміщені біля стінки великої свердловини всередині маси відходів, де кільцевий простір у свердловині був заповнений гравієм. Труби виготовлені з поліетилену високої міцності (HDPE) із обраним діаметром 25 мм. В якості циркуляційної рідини використовувалася вода зі швидкістю течії 0,3

Инв.№подл. Подп. и дата
 Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

м/с. Повідомляється, що кількість відведеного тепла для цієї системи становить 8590 Вт. Комбінована система, що складається з горизонтальних і похилих (точна орієнтація не вказана) труб циркуляції рідини, була встановлена в системі нижньої футеровки на полігоні в Китаї [68]. Вода циркулювала в мідних, і як стверджується, полімерних трубах з високотемпературною стійкістю із зовнішнім діаметром 20 мм, зі швидкістю потоку від 0,35 до 0,39 кг/с. Набори мідних і поліетиленових циркуляційних труб були розміщені в трубі ПНТ (поліетилен низького тиску) із зовнішнім діаметром 160 мм, де труба була заповнена водою по горизонтальній довжині системи екстракції та повітрям по похилій довжині. Повідомлялося лише про реакцію на температуру (виміряну за допомогою датчиків температури, розміщених у відкритих трубах системи), без зазначення отриманої кількості тепла.

Пілотні дослідження вказують на доцільність вилучення надлишкового тепла з полігонів ТПВ за допомогою вертикальних систем вилучення. Однак, хоча пілотні дослідження включають інформацію щодо деяких деталей конфігурації та роботи вертикальних систем відведення тепла, систематичний аналіз факторів, які впливають на відбір тепла або оптимізацію систем відведення, не публікувався. У попередніх дослідженнях також не було надано конкретних причин вибору деталей системи.

Для відбору тепла використовують системи HES – Heat extraction systems. Їх можна встановлювати разом з системами дегазації на одному полігоні, проте через різну конфігурацію в разі використання вертикальних свердловин, вони розміщуються як окремі від системи дегазації. Кількість вертикальних HES–свердловин варіюється в залежності від кількості очікуваної теплової енергії, а глибина залежить від висоти котловану, хоча з стандартних розрахунків при кроці свердловин дегазації в 30–40 метрів, в випадку термальних, їх необхідно розміщувати на радіальній відстані приблизно в 40–50 метрів. Це дозволить використовувати тепловий потенціал полігону на максимум.

Инов.№подл. Подп. и дата
 Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Инов.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата	ТС 21510178
Инов.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата	
Инов.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата	Арк.
Инов.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата	43

Такі схеми з отриманням теплової енергії реалізуються за допомогою обладнання зображеного на схемі нижче (рис. 3.3).

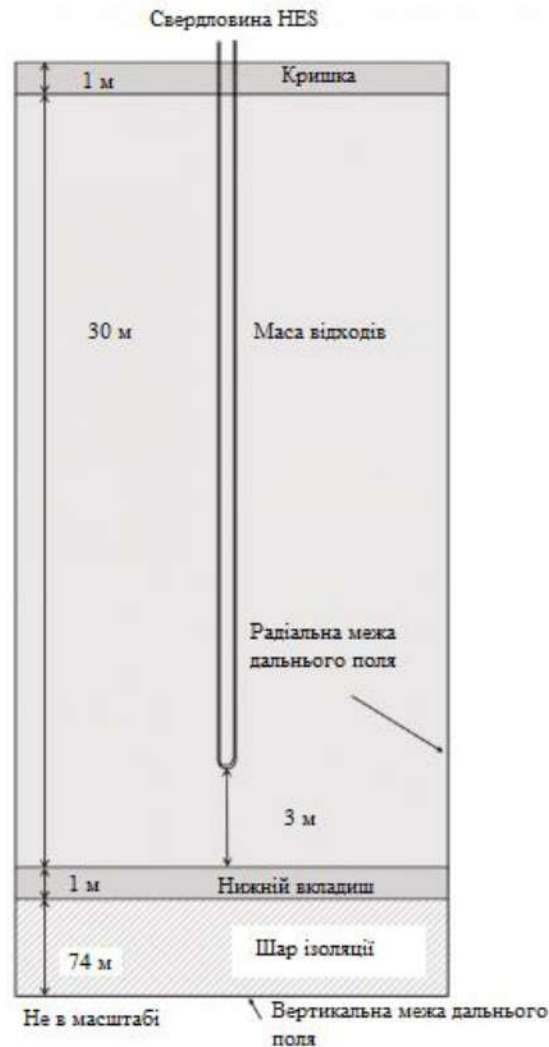


Рисунок 3.3 – Схема вертикальної системи тепловідводу (НЕС)

Значною перевагою таких систем управління теплом полігону є можливість безперервної роботи на відміну від систем збору та вилучення газу, які припиняють роботу після закінчення розкладання органічних складових відходів [64]. Якщо система продовжує працювати після завершення терміну служби активного відбору тепла, система відведення фактично перетворюється на геотермальну систему (рис. 3.4). Протягом терміну служби системи відбір тепла з полігону забезпечуватиме більшу загальну енергію, ніж теплові насоси з наземним джерелом, які використовуються для ґрунту [наприклад 69], а також

Инв.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инв.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

ТС 21510178

Арк.

44

енергетичні палі, що використовуються в геотехнічних застосуваннях [70,71]. Для тривалого функціонування геотермальної системи відходи забезпечуватимуть подібну теплову енергію порівняно з еквівалентною системою, встановленою в земляному ґрунті. Для цієї системи (одна свердловина) у довгостроковій рівновазі джерело тепла, доступне взимку, становить приблизно 2,6 ГДж, а поглинач тепла, доступний влітку, становить 1,1 ГДж.

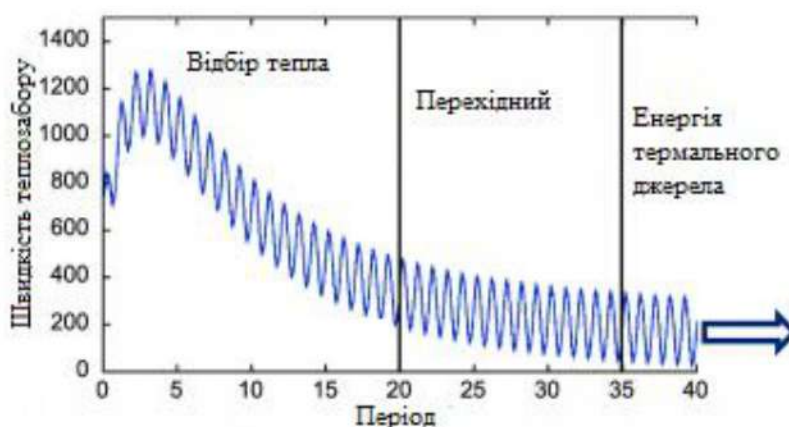


Рисунок 3.4 – Прогрес від відбору тепла в активній стадії виділення до термічного джерела енергії

3.3 Температурні режими з використанням систем HES

Температури полігону на центральній глибині (15 м) представлені на рис. 3.5 у хронологічному відношенні до розміщення відходів та розміщення HES – свердловин протягом усього 40-річного періоду моделювання. Температура на відстані 0 м від HES зазнає невеликих сезонних коливань. Відходи в тому самому місці без системи зазнають значного підвищення температури з піком приблизно через 4 роки після розміщення відходів і повільного зниження температури протягом решти періоду моделювання.

Повільний спад кількості теплоти на графіку не означає що системи теплозабору більше не будуть відпрацьовувати так як це розраховувалось. Оскільки спад кількості виділяємої теплоти є дуже повільним, він тягнеться на

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

45

багато років що дасть змогу використовувати енергію полігону як геотермальне джерело. Теплоти буде менше, але її вихід буде стабільно довгим.

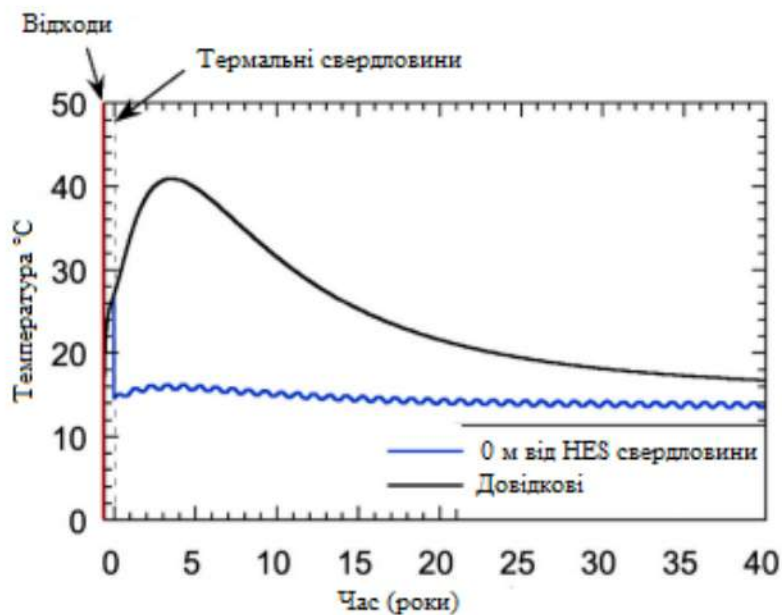


Рисунок 3.5 – Температурні режими звалищ (HES систем та еталонні) на глибині 15м

Залежно від часу зміна температури полігону на різних відстанях від HES-систем представлена на рис. 3.6 для вибраних глибин у межах полігону.

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

46

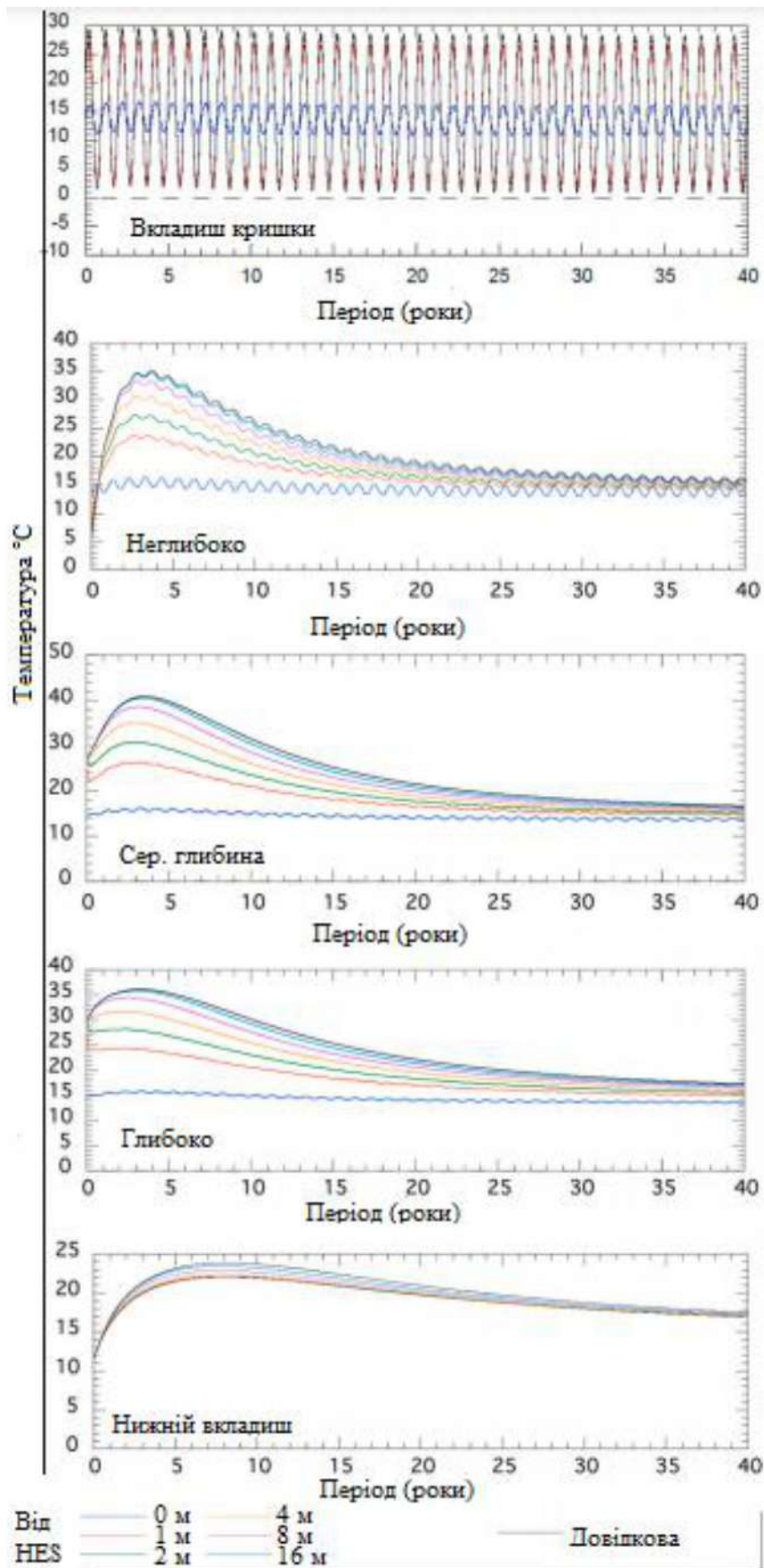


Рисунок 3.6 – Температура полігону з використанням систем НЕС

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

47

Глибини на рис. 3.6 відносяться до нормалізованих глибин (глибина/загальна висота відходів) 0,25 (мілка), 0,5 (середня) і 0,75 (глибока). Спостереження за результатами цього порівняння показують:

- 1) більші сезонні коливання температури присутні як у температурі відходів, так і в температурі системи біля поверхні землі,
- 2) вплив такого типу свердловин на температуру полігону є найбільшим поблизу центральної глибини полігону з меншим впливом на покритті;
- 3) зменшення вилученого тепла зі збільшенням радіальної відстані від свердловини;
- 4) на великих радіальних відстанях від систем максимальне накопичення тепла відбувається на центральних глибинах полігону.

Профілі температури з глибиною на різних радіальних відстанях від HES представлені на рис. 3.7. Відносна увігнутість профілю температури–глибини демонструє переважний відбір тепла з центральних глибин полігону та повернення температур відходів до еталонного полігону (тобто, робота без HES систем) на великій радіальній відстані від них.

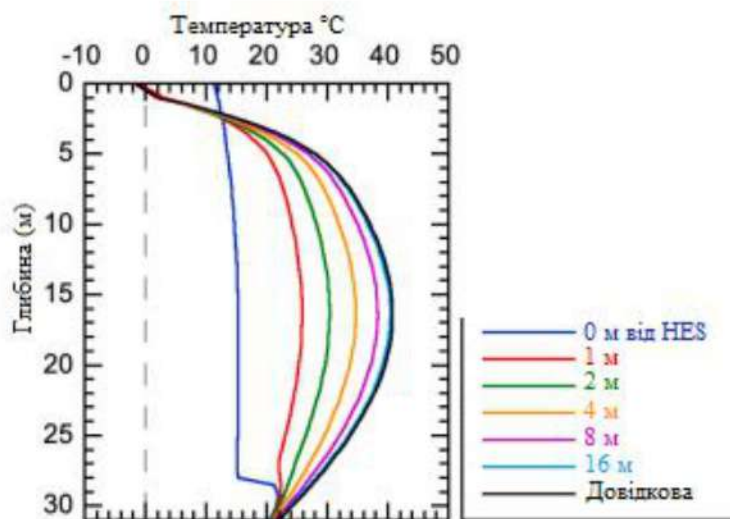


Рисунок 3.7 – Термальний режим з глибиною та радіальною відстанню від системи збору тепла

Инв.№подл. Подп. и дата
 Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из Лист № докум. Підп. Дата

ТС 21510178

Арк.

48

Вплив швидкості рідини на швидкість відведення тепла для HES–систем із трубою діаметром 25,4 мм представлено на рис. 3.8. Сезонна мінливість (тобто сезонні циклічні тренди) присутня у реакції відведення тепла з часом (рис. 3.8). Більш повільна швидкість рідини (0,01 м/с) мала приблизно на 25% менше пікового відведення тепла (через 3,2 роки експлуатації), ніж більш висока швидкість (0,3–1 м/с). Практично не було різниці між симуляціями зі швидкостями рідини 0,3, 0,6 і 1 м/с. Тож видно що існує певна кореляція між швидкістю рідини та кількістю відбираємого тепла в проміжку часу, але лише при досить помітному перепаді.

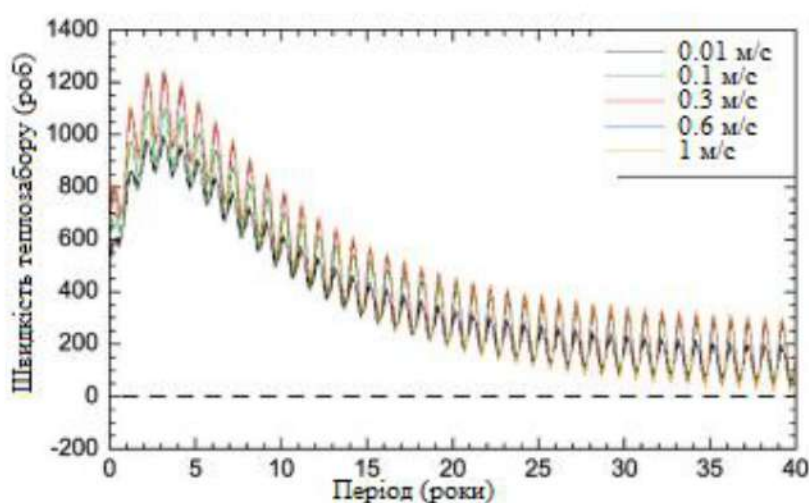


Рисунок 3.8 – Показники тепла, що збирається (діаметр труби – 25,4 мм), як функції швидкості рідини

Зміна радіальної зони впливу теплових свердловин в залежності від швидкості рідини та діаметра труби представлена в таблиці 3.1. Зона впливу дещо збільшувалася зі збільшенням швидкості рідини, не змінювалася суттєво з діаметром труби і становила 9–10 м. для досліджуваної тут конфігурації полігону. Таким чином, відстань між свердловинами, досліджена тут, у два рази перевищує радіальну відстань впливу на 18–20 м.

Радіальні зони впливу, представлені в таблиці 3.2, є ідеалізованими і мають незначний вплив систем на межі цієї зони. З точки зору практичного

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

49

проектування мережі тепловідводу у виробничому режимі на полігоні, відстань можна зменшити для оптимізації загального відбору тепла. Виходячи з профілів температури і глибини на рис. 3.4, 5-метрова зона впливу забезпечує приблизно в чотири рази більше видобутої теплової енергії/м³, представленої в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Зона впливу систем теплозабору

Моделювання	Швидкість рідини (м/с)	Діаметр труб (мм)	Сер. темпер. градієнт °С/м	Макс. темп. градієнт °С/м	Радіус зони впливу м.	Добута терм. енергія (МДж/м ³)
1	0.01	25.4	0.21	0.32	9	61.4
2	0.1	25.4	0.24	0.36	9	69.4
3	0.3	25.4	0.21	0.32	10	59.5
4	0.6	25.4	0.21	0.32	10	60.3
5	1.0	25.4	0.22	0.32	10	60.7
6	0.01	38.1	0.22	0.34	9	63.0
7	0.1	38.1	0.25	0.37	9	73.4
8	0.3	38.1	0.22	0.32	10	61.3
9	0.6	38.1	0.22	0.33	10	62.1
10	1.0	38.1	0.22	0.33	10	62.7
11	0.01	50.8	0.23	0.34	9	64.9
12	0.1	50.8	0.25	0.37	9	75.4
13	0.3	50.8	0.22	0.33	10	62.9
14	0.6	50.8	0.22	0.33	10	63.7
15	1.0	50.8	0.22	0.34	10	64.4

Програми контролю температури дозволяють операторам звалищ швидше збирати газ, маючи значну економічну вигоду, а також зменшувати довгострокову присутність утворення метану та пов'язаних з цим викидів, створюючи переваги для навколишнього середовища. З енергетичної точки зору застосування контролю температури забезпечує в 1,8 рази більше енергії порівняно з умовами еталонної температури. Потреба в тепловій енергії для створення режиму в 35°C протягом 7-річного періоду (за оцінками 24,7 МДж/м³ відходів) є низькою порівняно з енергією, отриманою від виробництва газу.

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Таблиця 3.3 – Вплив висоти відходів на відбір тепла

Висота ТПВ (м)	Пікова темпер. покриття (°C)	Пікова темпер. неглибоко (°C)	Пікова темпер. сер. глибина (°C)	Пікова темпер. глибоко (°C)	Пікова темпер.–нижня межа (°C)	Час до піку темпер. (рік)	Загальн. швидк. теплозабору (ГДж)
15	30.3	32.7	30.8	26.0	19.9	1.0	67.4
30	29.6	35.1	40.8	36.1	23.9	3.2	561.1
45	29.1	33.7	42.5	40.5	24.8	4.4	1181.4

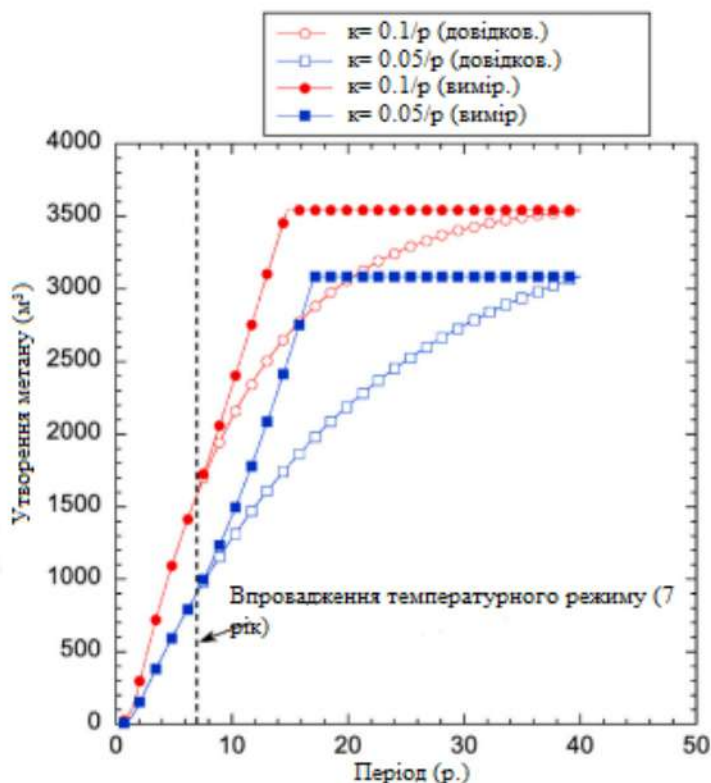


Рисунок 3.9 – Виробництво газу з регуляцією термічного режиму полігону

Доцільність вилучення тепла за допомогою вертикальних систем відводу тепла зі сміттєзвалищ обумовлена значним утворенням тепла у відходах.

По результатам дослідів [72] видно, що температури на еталонному полігоні (без контролю термічного режиму) продемонстрували прогресивне підвищення температури до піку приблизно 40°C на центральній глибині полігону через 4 роки після розміщення відходів і подальше зниження температури, що повертається до середньорічної температури землі після 40

Инв.№подл. Подп. и дата
 Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из Лист № докум. Подп. Дата

ТС 21510178

Арк.
 51

років. Температури з використанням термальних систем залишаються відносно постійними при середньорічній температурі Землі з деякими сезонними коливаннями, які були найбільш вираженими біля поверхні землі. Температури зростали з радіальною відстанню від HES–свердловин до контрольних температур полігону, а температури з глибиною для всіх радіальних відстаней від системи теплозабору були максимальними на середніх глибинах полігону. Найбільша різниця в температурі між системами контролю та масою відходів спостерігалася в середині сміттєзвалища.

Швидкість вилучення тепла з часом зазвичай мала ту саму тенденцію, що й температура з часом для відходів (поступове збільшення до піку приблизно через 4 роки з подальшим експоненціальним зниженням з часом). У темпах відбору тепла були присутні сезонні коливання. Швидкість відведення тепла більше залежить від швидкості рідини, ніж від діаметра труби (максимальна швидкість відведення тепла для швидкості рідини 0,3 м/с у 1,23 рази більша, ніж для швидкості 0,01 м/с).

Швидкість заповнення відходів позитивно корелювала зі швидкістю відведення тепла, але мала менший вплив, ніж висота відходів.

В результаті дослідів було встановлено радіальну зону впливу свердловин теплозабору 9–10 м (залежно від конфігурації системи) виходячи з відстані до досягнення граничних горизонтальних теплових градієнтів і 5 м виходячи з практичної реалізації мережі свердловин HES.

Для еталонних умов полігону (тобто без відбору тепла) вироблення енергії газу становило 3800–4400 МДж/м³ відходів. Для полігону з системами регуляції температур тепла енергія складала 238 МДж/м³ відходів. При регулюванні тепла/додаванні тепла було вироблено на 1400 і 1100 МДж більше енергії газу на м³ відходів протягом 7– і 10–річного періоду контролю температури (у 1,8 і 2,1 рази більше), ніж у контрольних умовах. Виробництво чистої енергії зросло на 77–102% порівняно з енергією, виробленою за стандартних умов. Крім того, енергія газу при регулюванні/додаванні тепла збиралася повністю (тобто,

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

досягаючи біологічної стабілізації) за 23–31% часу порівняно з еталонними умовами, забезпечуючи переваги для навколишнього середовища шляхом зменшення викидів звалищного газу.

Із достатнім збільшенням швидкості теплоносія у трубах вертикальних систем тепловідводу з ТПВ можна значно вплинути на швидкість отримання теплової енергії. Таким чином зважаючи на необхідність вилучення звалищного газу з полігонів ТПВ, можна повністю контролювати процес і отримувати більше ніж без впровадження температурних режимів.

Хоча як зазначалось раніше вплив швидкості теплоносія в системах НЕС відчувається лише при досить суттєвому збільшенні його швидкості при збільшенні часу контакту з нагрітими відходами.

Нижче наведено схему загального вигляду системи тепловідводу з полігонів твердих побутових відходів:

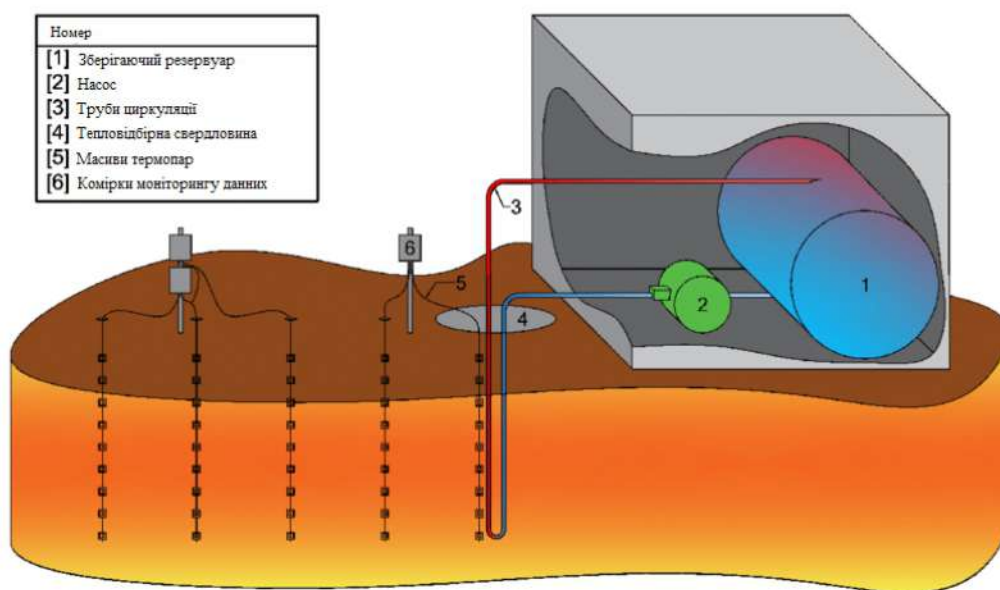


Рисунок 3.10 – Схема облаштування НЕС свердловин на практиці

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инв.№дубл.	Подп. и дата

Изва.№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
--------	------	----------	-------	------

ТС 21510178

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів впливу запропонованих технологій

Застосування запропонованого підходу до дегазації полігонів ТПВ з вилученням теплоенергетичного потенціалу полігону безперечно має велику кількість переваг. Проте в використанні і поводженні з запропонованими технологіями неминуче виникають фактори впливу на людину.

Система дегазації й тепловідводу має на меті максимально ефективно вилучення й використання електричного та термічного потенціалу полігонів твердих побутових відходів. В результаті функціонування буде вилучатись велика кількість звалищного газу з різноманітним складом за різних погодних та фізичних чинників впливу.

Таким чином необхідним постає питання моніторингу його складових, відбирання проб, відстеження справності роботи усієї системи й компонентів. З цією метою облаштовується робоче приміщення для операторів систем дегазації та НЕС.

Таке приміщення несе на меті забезпечення справності усієї системи шляхом моніторингу завдяки використанню візуальних дисплейних терміналів (ВДТ).

Оскільки системи моніторингу з використанням відео-терміналів потребують операторів і можуть здійснювати негативний вплив на працівників об'єкту, норми роботи в наведених умовах повинні чітко регламентуватись законодавством.

Головним документом що регламентує норми охорони праці в наведених умовах виступає постанова Міністерства охорони здоров'я України ДСанПШ

Инв.№подл. Подп. и дата. Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

54

3.3.2.007–98 – "Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно–обчислювальних машин" [73].

Правила поведження наведені в даному документі поширюються на умови, а також організацію праці з використанням візуально–дисплейних терміналів незалежно від їх типу, конфігурації та походження (вітчизняні чи зарубіжні).

Вони мають на меті мінімізацію несприятливого впливу на працівників шкідливих факторів, що неминуче виникають при роботі з ВДТ. Серед них нервово–емоційне та зорове напруження, вимушені робочі пози при активному напруженні верхніх кінцівок (гіподинамія); фізичні фактори впливу такі як шум, можливі вібрації техніки, електричне поле, іонізуюче або неіонізуюче випромінювання, тощо. Відповідальними за дотримання зазначених правил в повній мірі несуть посадові, фізичні особи, особи відповідальні за закупівлю обладнання на підприємстві, та виробники відео терміналів.

Перед реалізацією продукції, питання з дотримання норм охорони праці за умов експлуатації специфічних видів техніки повинні бути узгоджені з Державною санітарно–епідеміологічною службою та з Державним комітетом з охорони праці України, а їх гігієнічні оцінки мають відповідати нормативам. Отримання сертифікату на збут здійснюється відповідно до діючих вимог.

Оскільки моніторинг здійснюється з приміщення, існують інші фактори впливу, на боротьбу з якими націлена дана постанова.

Наприклад такі приміщення не можуть розміщуватись в підвалах та на цокольних поверхах – (поверх нижче рівня землі обраної ділянки).

Мінімальна можлива площа з розрахунку на одного працівника кімнати моніторингу оцінюється як 6.0 м², а об'єм – 20.0 м³.

Такі приміщення мають бути обладнаними приборами штучного освітлення, та мати доступ до природного освітлення згідно з вимогами ДБН Б.2.2–12:2019 [74].

Доступ до природного освітлення в приміщенні забезпечується шляхом створення прорізів орієнтованих на північ або північний схід, а коефіцієнт

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

55

природного освітлення (КПО) в такому випадку має бути не нижчим ніж 1.5%.
Повна методика розрахунку КПО надана в ДБН Б.2.2–12:2019 [74].

Виробничі комірки для роботи з відео терміналами, такі як операторські, диспетчерські приміщення мають бути розташовані на достатній відстані від джерел шуму та вібрацій – майстерні, цехи, тощо, оскільки вони будуть відволікати та лише посилювати негативні прояви роботи з ВДТ описані раніше. Допустимі значення рівнів шуму та вібрацій, а також умови розміщення таких приміщень описані в "Державних санітарних нормах допустимих рівнів шуму" від 2019 р. [75].

Так як шум та вібрація негативно впливають на операторів моніторингових систем полігону, їх необхідно розміщувати на достатній відстані від електричних турбін розташованих в господарській зоні полігону. Турбіни через принцип своєї дії, шляхом швидкісного оберту рухомих деталей є джерелом сильного шуму та вібрацій.

Вони мають розміщуватись на спеціальних бетонних платформах побудованих з врахуванням принципу роботи подібних генераторів – ДБН В.2.4–2–2005 [2].

Довкола таких платформ має розміщуватись контур із розрахованих заземлювачів, його формують металеві предмети штучно обрані для даних цілей, або ті що вже є на місці розташування і можуть бути пристосовані до використання.

Контур заземлення має відповідати законодавчим нормативом із розрахунку для апаратів потужністю до однієї тисячі вольт супротив заземлюючих пристроїв має бути не більшим 4 Ом.

Таким чином небезпека вражень стає мінімальною.

Инвар.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инв.№дубл.	Подп. и дата

Инвар.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Подп. и дата	Инв.№дубл.	Подп. и дата
Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	

ТС 21510178

Арк.

56

4.2 Розрахунок захисного заземлення технологічного обладнання

Розрахунок заземлення проводиться відповідно з документом затвердженим Міністерством енергетики та вугільної промисловості України про "Правила улаштування електроустановок (ПУЕ)" від 2017 року [76].

Контур заземлення ділянки проводиться з урахуванням таких показників як заземлюючий матеріал, його електричний опір, вологості матеріалу, конфігурація заземлювача, кількість заземлювачів, тощо.

Сумарний опір виходячи з нормативів ПУЕ, для обраної ділянки з трифазним током напругою до 1000 Вт нормі повинен дорівнювати ≤ 4 Ом.

Конструктивне захисне заземлення являє собою сукупність усіх заземлювачів що знаходяться в ґрунті чи іншому матеріалі, і з'єднані з устаткуванням яке необхідно заземлити.

Існує два основних види заземлювачів – природні і штучні. Сутність першого виду полягає в тому що для цілей заземлення пристосовують вже існуючі в даному місці конструкції та матеріали. Другий тип – це спеціально створені конструкції які встановлюють там для наведених цілей.

Так наприклад для природних заземлювачів підходять металеві трубопроводи за виключенням труб, що використовуються для транспортування горючих матеріалів, або тих що мають корозієстійке покриття. Окрім них добре підходять обсадні труби свердловин, колодязів (без врахування систем НЕС та колодязів дегазації оскільки там є великий відсоток вмісту метану), можливі види арматури, наявні свинцеві уламки оболонок кабелів, тощо. Використання природного заземлення є досить дешевим і економічним хоча і має великий недолік. Через легкий доступ до них будь кого, вони можуть бути пошкоджені і не відповідати необхідним критеріям [74].

В разі не відповідності вимогам ПУЕ, на місці встановлюють додаткові штучні заземлювачі [76].

Инд.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

57

Для встановлення заземлення викопується траншея глибиною 0.8 м де встановлюють заземлювачі. Верхні кінці залишаються над рівнем поверхні після чого траншея закопується, а виступаючі заземлювачі поєднуються з проводом шляхом зварювання.

Обираємо параметри та умови встановлення заземлення на відповідній ділянці полігону ТПВ:

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку

$R_{\text{заз}}$, Ом	Кліматична зона	Вид ґрунту	d , м	l , м	b , м
≤ 4	I	Чорнозем	0,05	2,8	0,05

1) Значення R_3 тобто максимальний можливий опір виходячи з розрахунку відповідно з вимогами ПУЕ при напрузі до 1000В та апаратів подібної конфігурації повинен становити не більше 4 Ом.

2) Наступним є визначення питомого опору наявного ґрунту що фігурує в розрахунку. Він визначається з таблиці 4.2 і в нашому випадку становить 2000 Ом · см.

Таблиця 4.2 – Значення питомих опорів ґрунтів, ρ табл.

Ґрунт	Значення, які рекомендують для розрахунків, Ом·см
Пісок	70 000
Супісок	30 000
Суглинок	10 000
Глина	4000
Чорнозем	2000
Торф	200

Інв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из Лист № докум. Підп. Дата

ТС 21510178

Арк.

58

3) Далі обирають значення підвищувальних коефіцієнтів для вертикальних заземлювачів (стрижні, труби) Кп.с і Кп.т які враховують зміну опору ґрунту в залежності від кількості опадів та пори року.

Таблиця 4.3 – Значення підвищувальних коефіцієнтів Кп.т та Кп.с в залежності від кліматичних зон України

Кліматична зона	Вид заземлювача	
	Горизонтально прокладені заземлювачі при глибині $h_r = 0,8$ м, $K_{п.с}$	Вертикально встановлені стрижневі заземлювачі з глибиною $h_b = 0,5-0,8$ м, $K_{п.т}$
I	4,5 – 7	1,8 – 2
II	3,5 – 4,5	1,6 – 1,8

4) Необхідно визначити питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів з врахуванням підвищеного коефіцієнта. Для цього використовується наступна формула:

$$\rho_{розр.т} = \rho_{табл.} \cdot K_{п.т} \quad 4.1$$

$$\rho_{розр.т} = 2000 \cdot 1,8 = 3600 \text{ Ом} \cdot \text{см} \quad 4.1$$

5) Далі визначається питомий розрахунковий опір для ґрунту з використанням горизонтального заземлення, Ом · см:

$$\rho_{розр.с} = \rho_{табл.} \cdot K_{п.с} \quad 4.2$$

$$\rho_{розр.с} = 2000 \cdot 4,5 = 9000 \text{ Ом} \cdot \text{см} \quad 4.2$$

Інв. № подл. Подп. и дата Взаим. инв. Инв. № дубл. Подп. и дата

Из Лист № докум. Підп. Дата

ТС 21510178

Арк.

59

6) Наступним пунктом розрахунку є визначення довжини t від середини заземлювача до поверхні ґрунту.

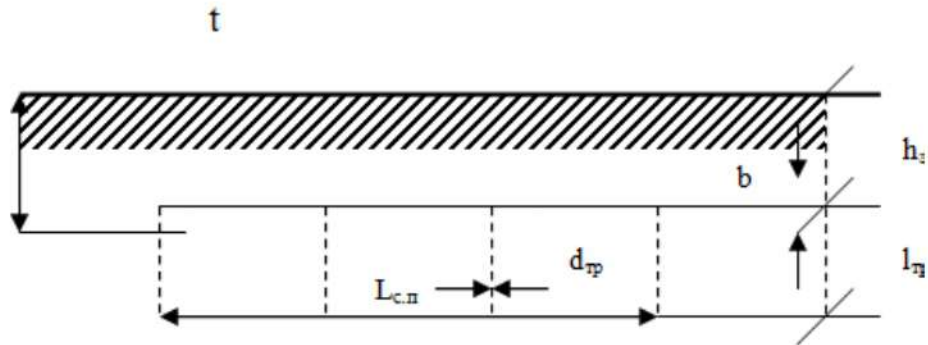


Рисунок 4.1 – Вигляд схеми заземлення

Показник t рахується за формулою:

$$t = h_3 + \frac{l_m}{2} \quad 4.3$$

Де h_3 – Глибина занурення труб у ґрунт, зазвичай дорівнює 0,8 м, а l_m – довжина заземлювача (надана в таблиці 4.1). Таким чином розраховуємо значення t :

$$t = 80 + 280 \div 2 = 220 \text{ см} \quad 4.3$$

7) Визначаємо опір одиночного заземлювача розташованого нижче рівня землі:

$$R_m = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр.г}}}{l_m} \left(\lg \frac{2l_m}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l_m}{4t-l_m} \right) \quad 4.4$$

$$R_m = 0,366 \frac{3600}{280} \left(\lg \frac{560}{5} + \frac{1}{2} \lg \frac{1160}{600} \right) = 10,0 \text{ Ом} \quad 4.4$$

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

60

8) Розраховуємо проектну кількість штирів без врахування коеф. екранування:

$$n_m = \frac{R_m}{R_s} \quad 4.5$$

$$n_m = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ (3 заземлювачі)} \quad 4.5$$

Кількість заземлювачів приймаємо за три.

9) Знайдемо відстань між вертикальними трубами використовуючи коеф. с. Для стаціонарних вкопаних заземлень $c=1$:

$$L_m = I_m \cdot c \quad 4.6$$

$$L_m = 280 \cdot 1 = 280 \quad 4.6$$

10) Визначаємо подальший коефіцієнт екранування для заземлювачів з врахуванням кількості штук:

Таблиця 4.4 – Коефіцієнт екранування для поодиноких заземлювачів

Кількість вертик. заземлювачів, n_m	Коефіцієнт екранування, $n_{e,m}$
2	0,85
3	0,78
5	0,7
10	0,59

Для кількості труб 3 він має значення 0.78.

11) З урахуванням коефіцієнту екранування необхідно провести поточний розрахунок кількості заземлювачів:

$$n_{m.e} = \frac{R_m}{R_3 \cdot n_{e.m}} \quad 4.7$$

$$n_{m.e} = \frac{10}{4 \cdot 0,78} = 3,2 \quad 4.7$$

12) Перевіримо розрахунковий опір проходження струму за уточнених даних:

$$R_{\text{розр.}n_{m.e}} = \frac{R_m}{n_{m.e} \cdot n_{e.m}} \quad 4.8$$

$$R_{\text{розр.}n_{e.m}} = \frac{10}{3,2 \cdot 0,78} = 4,0 \quad 4.8$$

13) Визначаємо довжину з'єднувальної смуги:

$$L_{3.c} = 1,05L_m(n_{m.e} - 1) \quad 4.9$$

$$L_{3.c} = 1,05 \cdot 280(3,2 - 1) = 646 \text{ (см)} \quad 4.9$$

Переводимо отримане число з сантиметрів в метри і маємо довжину смуги 6 метрів 46 сантиметрів, або 6, 46 м.

14) Розраховуємо опір протікання електричного струму в з'єднальній смузі в Омах:

$$R_{3.c} = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр.}c}}{L_{3.c}} \lg \frac{2L_{3.c}^2}{h_3 \cdot b_c} \quad 4.10$$

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

62

$$R_{з.с} = 0,366 \frac{9000}{646} \cdot \lg \frac{2 \cdot 646^2}{80 \cdot 5} = 16.5 \quad 4.10$$

15) Для наступної формули визначається коефіцієнт екранування з'єднаних смуг $n_{е.з.с}$. Для трьох заземлювачів він має значення 0,77.

Таблиця 4.5 – Коефіцієнт екранування смуг сполучення

Кількість вертикальних заземлювачів	3–4	5	6	10
Коефіцієнт екранування $n_{е.з.с}$	0,77	0,74	0,67	0,62

16) Визначаємо опір для електричного струму в смузі сполучення з використанням коефіцієнта екранування:

$$R_{розр.с} = \frac{R_з}{n_{е.з.п}} \quad 4.11$$

$$R_{розр.с} = \frac{4}{0.77} = 5,1 \quad 4.11$$

17) Далі знаходимо розрахунковий теоретичний опір струму при проходженні крізь вертикальні заземлювачі та з'єднувальні смуги:

$$R_{заг.розр.} = \frac{1}{\frac{1}{R_{розр.м}} + \frac{1}{R_{розр.с}}} \quad 4.12$$

$$R_{заг.розр.} = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{1}{5.1}} = 2.27 \text{ Ом} \quad 4.12$$

Значення теоретичного опору заявленого нормативами ПУЕ, в результаті розрахунку становить 2,27 Ом, що є менше максимально допустимого значення

Инв.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.	Подп. и дата
Инв.№дубл.	Подп. и дата

в 4 Оми. Таким чином для заземлення обраної платформи нам знадобиться 3 вертикальні стержні діаметром 0,05 м, та довжиною 2,8 м. Контур заземлення відповідає правилам ПУЕ.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

В процесі експлуатації полігонів твердих побутових відходів можуть виникати певні ризики пов'язані з вибуховою та пожежною небезпекою. Тож життю та здоров'ю операторів можуть загрозувати певні ситуації які необхідно передбачити та упередити до того як вони стануться.

Для своєчасної протидії можливим негативним ситуаціям були розроблені норми відповідно до Закону України «Про охорону праці».

Одним з найвпливовіших факторів на безпеку при поводженні з відходами є звалищний газ. Оскільки в його складі містяться як шкідливі та отруйні речовини, так і патогенні мікроорганізми, він здатний отруювати населення та операторів полігону, а також розповсюджувати хвороби.

Відомо що основним компонентом в складі звалищного газу є метан, що сильно підвищує вірогідність возгорань на об'єктах, а при накопиченні ЗГ в замкнутому просторі можливі вибухи.

Тож з точки зору убезпечення стабільності функціонування об'єкту для кожного окремого полігону є необхідним затвердження спеціальної інструкції з заходів пожежної безпеки. Її розробляє керівництво полігонів в узгодженні з наказом Міністерства з питань комунально-житлового господарства України №435, від 01.12.2010 про затвердження «Правил експлуатації полігонів побутових відходів» [77].

Цей документ повинен містити чіткий план дій (порядок) забезпечення пожежної безпеки, чіткі інструкції щодо дій персоналу полігону, регламентувати процедуру оповіщення пожежної охорони та людей з прилежних територій, а в разі необхідності їх евакуацію разом з тваринами та майном. Використання

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

64

засобів гасіння пожеж та взаємодія підрозділів також регламентується інструкцією дій.

На посаду голови полігону обираються посадовці, які будуть відповідати за пожежну безпеку на об'єкті. У разі небезпеки саме вони будуть відповідати за безпеку об'єктів інфраструктури: будівель, ділянок, приміщень, споруд, устаткування, обладнання та стан засобів протипожежної безпеки.

В господарській зоні полігону на кожні 5000 квадратних метрів (5000 м²) необхідно мати один встановлений щит протипожежної оборони. Такі стенди мають на меті зберігання немеханізованого інвентарю на випадок пожеж та вибухів.

На територіях відведених під утримання та зберігання автомобільної техніки для потреб полігонів забороняється заправляти техніку, лишати її з увімкненим запаленням, заряджати акумулятори.

Будь що, що могло б спровокувати пожежу є забороненим по всій території полігонів ТПВ. Сюди відносяться також паління, розпалювання вогнищ, тощо.

Кожен потенційний працівник при працевлаштуванні має проходити інструктажі з протипожежної безпеки. Такі інструктажі поділяються на декілька класів: заплановані та цільові, а також вступні, первинні та вторинні. По проходженню курсу очікується, що кожен буде мати чіткий план дій, що забезпечить підприємство від можливих надзвичайних ситуацій.

Майбутні робітники також мають інший спрощений варіант – спеціальне навчання кандидатів до того як вони приступлять до своїх прямих обов'язків. Такий протипожежний мінімум є необхідним, а після завершення курсу навчання, усі задіяні особи проходять контроль знань опрацьованих нормативно-правових актів.

У разі відмови, чи пропуску курсу з будь яких причин, особи не допускаються до роботи.

Заборонено використовувати наявні протипожежні засоби та інвентар у цілях для яких вони не призначені.

Инд.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Инд.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата
Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

65

Автомобільна техніка в розпорядженні полігону повинна бути оснащеною згідно з правилами пожежної безпеки України [78].

Для упередження наведених негативних ситуацій кращим способом є екстракція звалищного газу з товщі захоронень, таким чином ми впливаємо на першопричину можливих самозаймань.

Оскільки найдієвішим методом боротьби з вибухами та пожежами є витяг ЗГ із тіла полігону, по всьому його периметру монтуються свердловини з використанням корозієстійких матеріалів (сталь чи полімерні матеріали) діаметром від 200 мм. Якщо така система дегазації встановлюється в разі активної експлуатації об'єкта, висоту свердловин необхідно збільшувати по мірі наповнення котловану, так щоб висота свердловини становила на 1.5 м більше ніж рекультивовані ділянки котлованів.

Верхівку свердловини роблять легко-помітною щоб працююча авто-техніка випадково її не зруйнувала. З цією метою використовують фарбу яскраво оранжевого кольору.

Головним документом що регламентує питання організації і охорони праці є Закон України «Про охорону праці». Він передбачає питання зі збереження життя та здоров'я працівників та їх працездатності [79].

Певні питання з охорони праці виносяться окремо.

Нічні зміни на полігонах ТПВ дозволяється лише керівництвом підприємства. До роботи допускаються жінки та чоловіки віком від 18 років які пройшли медичний огляд за умови їх придатності до роботи в подібних умовах.

Робітники полігонів ТПВ повинні постійно проходити тести з охорони праці, інструктажі, та курси підвищення кваліфікації.

В разі виникнення нещасного випадку на підприємстві з порушенням норм охорони праці, його ретельно розслідують з метою виявлення причин та пошуку винуватців.

Працівники полігону які піддаються впливу небезпечних речовин мають бути забезпечені спеціальним захисним одягом, мати підходяще взуття та засоби

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из Лист № докум. Підп. Дата

ТС 21510178

Арк.

66

індивідуального захисту. Керівництво полігону несе пряму відповідальність за надання робітникам необхідного екіпірування.

Окрім роботи з небезпечними речовинами існують і інші ситуації що потребують особливої уваги, серед таких: робота за поганої погоди, неприйнятні шкідливі умови, тощо. Забезпечення працівників усім необхідним (одяг, обладнання тощо) регламентується Положенням про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Керівництво полігону відповідає за фінансування й оплату мед огляду (попереднього при працевлаштуванні та періодичного), а також виконання необхідних щеплень персоналу.

Окрім протипожежних стендів по всій території полігона (кожна ділянка) мають бути встановлені аптечки. В їх складу мають бути медикаменти, перев'язувальні матеріали та інші можливі засоби першої домедичної допомоги які буде використано в разі травм, ушкоджень, можливих нещасних випадків тощо. Запаси аптечок мають періодично перевірятись та поповнюватись у разі необхідності.

Виконання дій/ робіт, пов'язаних з системою дегазації полігону несе потенційну вибухову небезпеку. Тому до подібних видів робіт допускають по 3 людини на команду, при попередній перевірці складу кисню для зменшення ризику задухи чи вибухів до мінімуму. Однією з найбільших небезпек при виконанні таких робіт є неможливість людей розпізнати небезпеку використовуючи лише органи чуття, з цією метою їх забезпечують газоаналізаторами.

Метан сам по собі не є токсичним газом для людини, проте небезпека полягає в принципі його впливу на організм. Проникаючи до легень він займає місце кисню в молекулах гемоглобіну через що з'являється задуха. Якщо вчасно не вийти з зони ураження людина втрачає свідомість в результаті чого їй необхідна оксигенація. Смерть настає в результаті асфіксії.

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

67

На щастя в звалищному газі окрім метану який розпізнати без газоаналізатору неможливо існують і інші компоненти через що ЗГ має сильний неприємний запах. Навіть за відсутності метану вдихати його є небезпечним через високу концентрацію інших шкідливих та отруйних домішок, а в разі концентрації ЗГ в 5–15% розчину у повітрі небезпека вибуху зростає в рази [44].

Серед інших складників і домішок в складі ЗГ завжди є сірководень. Він має токсичну дію на організм та становить небезпеку для персоналу полігону оскільки швидко поглинається організмом та викликає запаморочення, нудоту та блювоту. Через високу щільність він важкіший за кисень і часто накопичується в низинах.

Через високу загрозу пожеж на подібних підприємствах окрім вдихання ЗГ існує небезпека вдихання продуктів неповного згорання ТПВ: метанол, альдегіди, карбонові кислоти, поліароматичні вуглеводні, різні амінокислоти, формальдегід тощо.

В розвинених країнах серед усіх зазначених речовин виділяють 2, які потрапляють в ГДК зі значеннями $0.02\text{нг}/\text{м}^3$ у США та $0.024\text{нг}/\text{м}^3$ у Нідерландах – хлоровані дибензодіоксини та дибензофурани в концентрації $14\text{ мг}/\text{м}^3$. [80]

У теплу пору року на полігонах ТПВ за для зменшення вірогідності возгорань рекомендується зволожувати відходи. Подібна процедура запобігає утворенню пожеж коли небезпека є найбільшою, сприяє ущільненню відходів, зменшує кількість пилу, та може збільшувати кількість метану у складі звалищного газу, оскільки вологість сильно впливає на його об'єми. Визначена витрата води для такого заходу становить 10 літрів на 1 м^3 , витрата води при пожежогасінні розрахована як 10 л/с.

На гасіння пожежі передбачається мінімум 2 резервуари або штучні водойми, об'ємом від 50 м^3 кожний.

Встановлено також залежність кількості возгорань та щільності ТПВ. Зі збільшенням щільності, ризик пожеж знижується.

Инва.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инва.№дубл.	Подп. и дата
-------------	--------------	------------	-------------	--------------

Изва.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
-------	------	----------	-------	------

ТС 21510178

Арк.

68

ВИСНОВКИ

Через велику шкоду, якої зазнає критична інфраструктура України під час повномасштабної війни, населення країни зіштовхнулося з певними труднощами із забезпеченням електричною енергією та теплом.

Велика нестача енергії викликана руйнуванням критичних енергетичних об'єктів ставить під загрозу енергетичне благополуччя нашої країни.

Оскільки захоронення відходів в Україні на даному етапі не має тенденції до спаду, а в деяких випадках (країнах) відмовитись від практики захоронення ТПВ є неможливим через погано організовану практику роздільного збирання сміття, важливим постає питання мінімізації негативних проявів існуючих об'єктів та раціонального використання їх потенціалу на практиці.

Основною мотивацією для розглядання можливості інвестувати в наведені системи є постійне безперервне утворення відходів при великій потребі у їх захороненні.

Серед інших, на органічну частку у відходах що захоронюються припадає до 80 відсотків речовини. Після розміщення відходів на полігоні вони підлягають органічній деструкції метаногенними бактеріями.

Виділення звалищного газу відбувається поступово і сам процес його утворення зазнає змін з часом. У звичайних умовах без використання будь яких додаткових систем ЗГ виділяється поступово зі збільшенням кількості на виході з часом (від моменту розміщення відходів).

Графік виділення ЗГ в такому випадку виглядає майже як похила пряма устрімлена у верх. Проте з часом процес стабілізується і починає йти на спад.

Цю проблему можна вирішити шляхом впровадження контролю температурних режимів в тілі полігону оскільки з літературних даних і експериментів видно кореляцію між температурою внутрішнього середовища (товща відходів) та протіканням метаногенезу.

Инв.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

69

З наведених джерел видно, що найбільш якісна і кількісна емісія спостерігається при температурах середовища в 40–45°C [24,25]. При такому підході після перших років по розміщенню нового субстрату емісія газу не йде на спад а стабілізується з постійним приблизно однаковим виходом.

Системи дегазації мають досить простий принцип роботи, а в поєднанні з системою HES, дають змогу отримувати більше без будь яких додаткових затрат. Перевагою такого підходу є те, що обидві системи можуть застосовуватись одночасно на одному полігоні.

Для встановлення систем екстракції звалищного газу в товщі ТПВ бурять свердловини. Через пробурені отвори в тіло полігону монтують систему перфорованих труб з корозієстійких матеріалів (нержавіюча сталь, полімерні матеріали).

Таким чином створюються штучні канали міграції, і ресурс сам виходить на поверхню, а завдяки використанню додаткового устаткування, наприклад вакуумних нагнітачів тиску, процес інтенсифікується, що дає змогу відкачувати до 95% ЗГ що утворився.

Системи екстракції тепла мають дещо схожий вигляд. Вона складається з резервуару теплоносія (частіше вода) і системи труб вмонтованих в котлован.

Вода рухаючись в товщі відходів відбирає певну кількість їх теплової енергії, і направляється до місця виходу з тепловіддачею. Шляхом використання датчиків виміру можна чітко контролювати температуру відходів, що і дає змогу штучно регулювати кількість теплоти у надрах.

Системи тепловідводу можуть бути вертикальними, горизонтальними і комбінованими. Горизонтальні та комбіновані частіше за все монтують ще до заповнення котловану, що є більш доцільним і простим.

Вертикальні системи мають вигляд свердловин, сприятливий крок яких в літературі оцінено як 30–40 метрів. Важливо зазначити що свердловини HES– систем та екстракції звалищного газу – це дві різні системи ніяк не пов'язані між

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

собою технологічно. Вони працюють незалежно одне від одного і можуть вмикатись і вимикатись в різний час.

В цій роботі прикладом впровадження теплового режиму полігону описано саме на прикладі вертикальних систем. Тож з результатів досліджень прослідковується безперечний позитивний ефект від їх використання.

Вертикальні системи відведення тепла є життєздатними довгостроковими альтернативними технологіями виробництва енергії для сміттєзвалищ завдяки: великій кількості сміттєзвалищ і великій кількості відходів на місці (тобто накопичена енергія); здатності працювати окремо для відбору тепла або для оптимізації виробництва газової енергії (комбінований відбір газу та тепла); значне виробництво енергії в порівнянні з іншими технологіями альтернативної енергетики і здатність переходити на геотермальну систему тепловідводу в кінці терміну виробництва тепла на полігонах. Зважаючи на перелік переваг ці системи доводять свою користь на практиці і рекомендуються до використання в найближчій перспективі.

Инва.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата
-------------	--------------	------------	------------	--------------

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 21510178

Арк.

71

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ayodele T.R, Alao M.A., Ogunjuyigbe A.S. Effect of collection efficiency and oxidation factor on greenhouse gas emission and life cycle cost of landfill distributed energy generation. Sustainable Cities and Society, 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101821>
2. ДБН В.2.4–2–2005. Полігони твердих побутових відходів основні положення проектування. Державні будівельні норми України. Київ: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2005. 36с.
3. Bareither C., Benson C.H., Edsl B.T. Compression Behavior of Municipal Solid Waste: Immediate Compression. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2012. 1047–1062p. URL: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000672](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000672)
4. Birgitte K. Municipal waste management in Norway. European Environment Agency, 2013. 17p. URL: https://www.eea.europa.eu/publications#c7=en&c11=5&c14=&c12=&b_start=0
5. Duan Z., Scheutz C., Kjeldsen P. Trace gas emissions from municipal solid waste landfills: A review. Waste Management, 2021. 39–62p. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.015>
6. Ecotoxicology and Environmental Safety. : Factors influencing groundwater contamination near municipal solid waste landfill sites in the Qinghai–Tibetan plateau. / Zeng D. and other, 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111913>
7. G. Alex Stege. User's Manual Ukraine Landfill Gas Model. SCS Engineers Reston, 2009. 34p. URL: https://www.globalmethane.org/documents/models/pdfs/UsersManual_UkraineLFGModel.pdf
8. George Victor Brigagão, José Luizde Medeiros, Ofélia de Queiroz F. Araújo, Hrvoje Mikulčić, Neven Duić. A zero–emission sustainable landfill–gas–to–wire oxyfuel process: Bioenergy with carbon capture and sequestration. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021.

Инд.№подл.
Подп. и дата
Взаим.инв.
Инв.№дубл.
Подп. и дата

Изд	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	

ТС 21510178

Арк.

72

9. Kashyap R.K. Opportunities & Challenges in Capturing Landfill Gas from an Active and Un-scientifically Managed Land Fill Site – A Case Study. Procedia Environmental Sciences. Volume 35, 2016, 348–367p. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.015> [12]

10. Гопкало Д. В. Розрахунок технології дегазації полігону твердих побутових відходів : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 183–Технології захисту навколишнього середовища/наук. кер. І.В. Васькіна. Суми: Сумський державний університет, 2021. 64с.

11. Matsufuji Y., Hanashima M., Nagano S., Tanaka A. Generation of greenhouse effect gases from different landfill types. Engineering Geology, 1993. 181–187p. URL: [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(93\)90087-S](https://doi.org/10.1016/0013-7952(93)90087-S)

12. Landfill Gas Control Measures. Agency for Toxic Substances and Disease Registry : website. URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/hac/landfill/html/ch5.htm>

13. Qi-Teng Zheng, R. Kerry Rowe, Shi-Jin Feng. Design of vertical landfill gas collection wells considering non-homogeneity with depth. Waste Management, 2018. 26 – 36p. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.012>

14. Rettenberger G. Utilization of Landfill Gas and Safety Measures. Solid Waste Landfilling, 2018. 463–476p. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407721-8.00023-1>

15. Qi-Teng Zheng, R. Kerry Rowe, Shi-Jin Feng. Design of horizontal landfill gas collection wells in non-homogeneous landfills. Waste Management, 2019. 102–112p. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.017>

16. Guidance on Landfill Gas Flaring. Environment Agency, 2002. 56p. URL: <https://www.sepa.org.uk/media/28988/guidance-on-landfill-gas-flaring.pdf>

17. Клімов Г.М. Нетрадиційні і відновлювальні джерела енергії для отримання тепла в системах тепlopостачання. Нижній Новгород : Методичні вказівки, 2012. 52с. URL: <https://bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/energetika/851231.pdf>

Инва.№подл. Подп. и дата
Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

18. Robert J. Grillo. Energy Recycling – Landfill Waste Heat Generation and Recovery. Waste Streams (S Hossain, Section Editor), 2014. 150–156p. URL: <https://doi.org/10.1007/s40518-014-0017-2>

19. Hartz, K.E., Klink, R.E., and Ham, R.K. (1982). "Temperature effects: methane generation from landfill samples." J. Environ. Eng. Div. (Am. Soc. Civ. Eng.), 108(4), 629–638.

20. Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S.A. (1993). Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues, McGraw-Hill, New York.

21. Cecchi, F., Pavan, P., Musacco, A., Mata-Alvarez, J., and Vallini, G. (1993). "Digesting the organic fraction of municipal solid waste: Moving from mesophilic (37°C) to thermophilic (55°C) conditions," Waste Manage. Res., 11, 403–414.

22. DeWalle, F. B., Chian, E. S. K., and Hammerberg, E. (1978). "Gas production from solid waste in landfills." J. Environ. Eng. Div. (Am. Soc. Civ. Eng.), 104, (EE3), 415–432.

23. Mata-Alvarez, J., and Martinez-Viturtia, A. (1986). "Laboratory simulation of municipal solid waste fermentation with leachate recycle." J. Chem. Technol. Biotechnol., 36(12), 547–556.

24. Rees, J. F. (1980a). "Optimization of methane production and refuse decomposition in landfills by temperature control," J. Chem. Technol. Biotechnol., Society of Chemical Industry, 30(8), 458–465.

25. Rees, J. F. (1980b). "The fate of carbon compounds in the landfill disposal of organic matter," J. Chem. Tech. Biotechnol., Society of Chemical Industry, 30(4), 161–175.

26. Lamothe, D., and Edgers, L., (1994). "The effects of environmental parameters on the laboratory compression of refuse." Proc., 17th Int. Madison Waste Conf., Dept. of Engineering Professional Development, Univ. of Wisconsin, Madison, Wisc., 592–604.

Инв. № подл. Подп. и дата Взаим. инв. Инв. № дубл. Подп. и дата

					TC 21510178	Арк. 74
Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

27. Rowe, R. K. (1998). "Geosynthetics and the minimization of contaminant migration through barrier systems beneath solid waste." Proc., 6th Int Conf. on Geosynthetics, R. K. Rowe, ed., Vol. I, IFAI, Atlanta, 27–102.

28. Mitchell, J. K. (1993). Fundamentals of soil behavior, 2nd Ed., Wiley, New York.

29. Dach, J., and Jager, J. (1995). "Prediction of gas and temperature with the disposal of pretreated residential waste." Proc., 5th Int. Waste Management and Landfill Symp., T. H. Christensen et al., eds., Vol. I, CISA, Italy, 665–677.

30. Houi, D., Paul, E., and Cauturier, C. (1997). "Heat and mass transfer in landfills and biogas recovery." Proc., 6th Int. Waste Management and Landfill Symp., T. H. Christensen et al., eds., Vol. I, CISA, Italy, 101–108.

31. Yoshida, H., Tanaka, N., and Hozumi, H. (1997). "Theoretical study on heat transport phenomena in a sanitary landfill," Proc., 6th Int. Waste Management and Landfill Symp., T. H. Christensen et al., eds. Vol. I, CISA, Italy, 109–120.

32. Lefebvre, X., Lanini, S., and Houi, D. (2000). "The role of aerobic activity in refuse temperature rise. I: Landfill experimental study." Waste Manage. Res., 18(5), 444–452.

33. Koerner, G. (2001). "In situ temperature monitoring of geosynthetics used in a landfill." Geotechnical Fabrics Rep. 19(4), 12–13.

34. Yesiller, N., and Hanson, J. L. (2003). "Analysis of temperatures at a municipal solid waste landfill." Proc., 9th Int. Waste Management and Landfill Symp., T. H. Christensen et al., eds., CISA, Italy.

35. Gartung, E., Mullner, B., and Defregger, F. (1999). "Performance of compacted clay liners at the base of municipal landfills: The Bavarian experience." Proc., 7th Int. Waste Management and Landfill Symp., T. H. Christensen et al. eds., Vol. III, CISA, Italy, 31–38.

36. Yoshida, H., and Rowe, R. K. (2003). "Consideration of landfill liner temperature." Proc., 9th Int. Waste Management and Landfill Symp., T. H. Christensen et al., eds., CISA, Italy.

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

					TC 21510178	Арк. 75
Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

37. Farquhar, G. J., and Rovers, F. A. (1973). "Gas production during refuse decomposition." *Water, Air, Soil Pollut.*, 2(4)., 483–495.
38. Zanetti, M. C., Manna, L., and Genon, G. (1997). "Biogas production Evaluation by Means of Thermal Balances." *Proc., 6th Int. Waste Management and Landfill Symp.*, T. H. Christensen et al., eds., Vol. II, CISA, Italy, 523–531.
39. Pirt, S. J. (1978). "Aerobic and anaerobic microbial digestion in waste reclamation." *J Appl. Chemistry and Biotechnology.*, 28, 232–236.
40. El Fadel, M., Findikakis, A. N., and Leckie, J. O. (1996). "Numerical modeling of generation and transport of gas and heat in sanitary landfills. I: Model formulation." *Waste Manage. Res.*, 14(5), 483–504.
41. Swiss Federal Office of Energy (SFOE. (2004). "Calorific value of energy resources." <<http://www.energie-schweiz.ch/internet/00735/index.html?lang=en>> (November 23, 2004).
42. Davies, T. W. (2004). "Estimated average gross calorific values." Unif. of Exeter, Dept. of Engineering, Exeter, U. K., November 23, 2004.
43. Gibbs, A. (2004). Gasification as an option for municipal waste, Cardiff Foundation of Environmental Research, Cardiff Univ. School of Engineering, Cardiff, Wales <<http://www.sfer.info.>> (November 16, 2004).
44. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA. (2003). Municipal solid waste in the United States: 2001 facts and figures executive summary, EPA530-S-011, Office of Solid Waste and Emergency Response.
45. Yesiller, N., Hanson, J.L., Yee, E.H. Waste heat generation: a comprehensive review. *J Waste Manag* 2015; 42:166–79.
46. Eberling B. Environmental controls of the seasonal variation in oxygen uptake in sulfidic tailings deposited in a permafrost-affected area. *Water Resour Res.* (2001)., 37(1), 99–107.
47. Lefebvre R, Hockley D, Smolensky J, Gelinat P. Multiphase transfer processes in waste rock piles producing acid mine drainage 1: conceptual model and system characterization. *J Contam Hydrol* 2001., 52, 137–64.

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата
------------	--------------	------------	------------	--------------

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
----	------	----------	-------	------

TC 21510178

Арк.

76

48. Yesiller N, Hanson JL, Liu W. Heat generation in municipal solid waste landfills. *J Geotech Geoenviron* 2005; 131(11), 1330–44.
49. Hanson JL, Yesiller N, Oettle N. Spatial and temporal temperature distributions in municipal solid waste landfills. *J Environ End* 2010; 136(8): 804–14.
50. Jafari NH, Stark TD, Thalhamer T. Spatial and temporal characteristics of elevated temperatures in municipal solid waste landfills. *Waste Manag* 2017; 59: 2860–301.
51. Barlaz M, Benson C, Castaldi M, Luettich S. Comment on Spatial and temporal characteristics of elevated temperatures in municipal solid waste landfills. Jafari N, Stark T, Thalhamer T, Editors. *Waste Manag* 2018; 71: 244–5.
52. Hanson JL, Yesiller N, Manheim DC. Estimation and comparison of methane, nitrous oxide, and trace volatile organic compound emissions and gas collection system efficiencies in California landfills, final report, CalRecycle Contract: DRR16109 and CARB Contract: 16ISD006. 2020 [last accessed 5 July 2020].
53. Tchanche BF, Gr Lambrinos, Frangoudakis, Papadakis G. Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – a review of various applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2011; 15(8): 3963–79.
54. Ling–Chin J, Bao H, Ma Z, Taylor W, Roskilly AP. State–of–the–Art technologies on low-grade heat recovery and utilization in industry. In: Al–Bahadly IH, editor. *Energy conversion – current technologies and future trends* [internet]. London: IntechOpen; 2018 [cited 22 Apr 23].
55. Lee SW, Yang Y, Lee HW, Ghasemi H, Kraemer D, Gang Chen G, Cui Y. An electrochemical system for efficiency harvesting low-grade heat energy. *Nat Commun* 2014; 5: 3942.
56. Kishore RA, Priya S. A review on low-grade thermal energy harvesting: materials, methods and devices. *Materials* 2018; 11: 1433.
57. Huo D, Tian H, Shu G, Wang W. Progress and prospects for low–grade heat recovery electrochemical technologies. *Sustain Energy Technol Assessments* 2022; 49: 101802.

Инва.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инва.№дубл.	Подп. и дата
-------------	--------------	------------	-------------	--------------

Изва.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
-------	------	----------	-------	------

TC 21510178

Арк.

77

58. Rahimi M, Straub AP, Zhang F, Zhu X, Elimelech M, Gorski CA, Logan BE. Emerging electrochemical and membrane-based systems to convert low-grade heat to electricity. *Energy Environ Sci* 2018; 11: 276–85.

59. Velez F, Segovia JJ, Martin MC, Antolin G, Chejne F, Quijano A. A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation. *Renewable and Sustainable Energy Rev* 2012; 16(6): 4175–89.

60. Garsia SI, Garsia RF, Carril JC, Garsia DI. A review of thermodynamic cycles used in low temperature recovery systems over the last two years. *Renew Sustain Energy Rev* 2018; 81(1): 760–7.

61. Hanson, J.L., Edil, T. B., and Yesiller, N. (2000). "Thermal properties of high water content materials." ASTM Special Technical Publication 1374, Geotechnics of high water content materials, T. B. Edil and P. J. Fox, eds., ASTM, West Conshohocken, Pa., 137–151.

62. Young, A. (1992). "Application of computer modeling to landfill processes." DoE Rep. No. CWM 039A/92, Dept. of Environment, London.

63. Yesiller N, Hanson JL, Kopp KB, Yee EH. Assessing approaches for extraction of heat from MSW landfills. In: Christensen TH, et al., editors. *Proceedings Sardinia 2015, fifteenth international waste management and landfill symposium*. Italy: CISA; 2015. p. 1–9.

64. Yesiller N, Hanson JL, Kopp KB, Yee EH. Heat management strategies for MSW landfills. *Waste Manag* 2016; 56: 246–54.

65. Coccia C, Gupta R, Morris J, McCartney JS. Municipal solid waste as geothermal heat sources. *Renew Sustain Energy Rev* 2013; 19: 463–74.

66. Faitly J, Erdeyli A, Kontra J, Magyar T, Varfalvi J, Muranyi A. Pilot scale decomposition heat extraction and utilization system built into the Gyal municipal solid waste landfill. In: Christensen TH, et al., editors. *Proceedings Sardinia 2015, fifteenth international waste management and landfill symposium*. Italy: CISA; 2015. p. 1–12.

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

TC 21510178

Арк.

78

67. Yesiller N, Hanson JL, Kopp KB. Design and installation of a prototype heat extraction system at a municipal solid waste landfill. In: De A, Reddy KR, Yesiller N, Zekkos D, Farid A, editors. Sustainable geoenvironmental systems, GSP 271. ASCE; 2016. p. 111–20.

68. Shi J, Zhang T, Zhang J, Ai Y, Zhang Y. Prototype heat exchange and monitoring system at a municipal solid waste landfill in China. Waste Manag 2018; 78: 659–68.

69. Bose JE. Close loop ground coupled heat pump design manual. Engineering Technology Extension Oklahoma State University; 1983.

70. Sutman M, Speranza G, Ferrari A, Larrey–Lassale P, Laloui L. Long–term performance and life cycle assessment of energy piles in three different climatic conditions. Renew Energy 2020; 146: 1177–91.

71. Cunha RP, Bourne-Webb PJ. A critical review on the current knowledge of geothermal energy piles to sustainably climatize buildings. Renew Sustain Energy Rev 2022; 158: 112072.

72. Hanson JL, Onnem NT., Yesiller N, Kopp KB. A review of heat generation and assessment of vertical extraction systems. Renewable and Sustainable Energy Rev 2022; 167-112-835.

73. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. "ДСанПін 3.3.2 007–98." URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>

74. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. Державні будівельні норми України. Київ: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2019. 183 с.

75. Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови. Наказ, Правила від 22. 02. 2019 № 463 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19#Text>

Инв.№подл. Подп. и дата Взаим.инв. Инв.№дубл. Подп. и дата

76. Про затвердження Правил улаштування електроустановок, ПУЕ. Наказ, Правила від 21.07.2017 № 476 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#Text>

77. Про затвердження Правил експлуатації полігонів побутових відходів. Наказ, Правила від 01.12.2010 №435 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1307-10#Text>

78. Про затвердження Правил пожежної безпеки України. Наказ, Правила від 30.12.2014 №1417 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>

79. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2695 ВВР URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

80. Qi–Teng Zheng, R. Kerry Rowe, Shi–Jin Feng. Design of horizontal landfill gas collection wells in non–homogeneous landfills. Waste Management, 2019. 101–112p. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.017>

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.	Инв.№дубл.	Подп. и дата	Инв.№подл.	Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	TC 21510178	Арк.
												80