

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С.Турчак
Кафедра Електроенергетика і електромеханізмів

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)
Віслюк С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» __ 20__ р.

«__» __ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 141 „Електроенергетика, електротехніка та електро-механіка“
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми „Електротехніка та електротехнології“

на тему: Використання альтернативних джерел енергії на регіональній території побутових відходів

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕП-4-3

Горюхінський Владислав Артурович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Керівник Сергій Олександр Олександрович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти Сірик А.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Михайленко
(прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач Горюхінський Владислав Артурович
(підпис)

Київ - 20__ р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТБ ім. акад. Луного
Кафедра Електропостачання та електрифікації
Освітній ступінь бакалавр
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва)
Освітньо-професійна програма Електротехніка та електротехнології
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри _____

“ ” 20 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Горюньського Владислава Артуровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Використання альтернативних джерел енергії на підприємстві твердих побутових відходів

керівник роботи Середній Олександр Олександрович І.Б.Н. проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 20 року №

2. Строк подання здобувачем роботи 31 травня 2021 р.

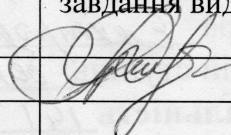
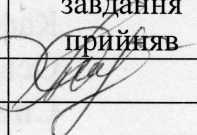
3. Вихідні дані до роботи інформація по існуючим підприємствам твердих відходів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз ситуації з твердими відходами у державі; види утилізації твердих відходів; аналіз складових результатів переробки відходів

5. Перелік графічного матеріалу

презентація

6. Консультанти розділів роботи

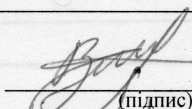
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доцент Сірик А.О.		

7. Дата видачі завдання 15.04.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Ситуація з переоборудованими твєрдими побутовими відходами (ТПВ) у світі та в Україні	03.04.21	
	Види експертної утилізації	11.04.21	
	Фінансові показники різних типів обробки ТПВ	12.04.21-19.04.21	
	Виробництво біогазу на прийомах ТПВ	21.04.21-01.05.21	
	Коопераційні установки	02.05.21-13.05.21	
	Представлення на перевірку	15.05.21-28.05.21	
		31.05.21	

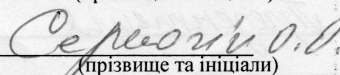
Здобувач


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

(прізвище та ініціали)


(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Боровицкий Владислав Артурович.

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Національний Університет Харчових Технологій Київ 2021

Метою даної роботи є аналіз та систематизація екологічних, економічних й соціальних ефектів, що можуть виникати при запровадженні біогазових установок на полігонах твердих побутових відходів. Визначено систему чинників, що зумовлюють переорієнтацію інфраструктури національної економіки на використання екологічно безпечних і відновлюваних джерел енергії. Розкрито особливості дії технологічних та економічних чинників у процесі використання енергетичного потенціалу твердих побутових відходів.

Ключові слова : екологія, промислові відходи, відновлювальні джерела енергії, біогазові установки.

ABSTRACT

Borovytskyi Vladyslav Arturovych.

141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics"

National University of Food Technology Kyiv 2021

The purpose of this work is to analyze and systematize the environmental, economic and social effects that may occur during the introduction of biogas plants at landfills for solid waste. The system of factors that determine the reorientation of the infrastructure of the national economy to the use of environmentally friendly and renewable energy sources is determined. Peculiarities of technological and economic factors in the process of using the energy potential of solid waste are revealed

Keywords : ecology, industrial waste, renewable energy sources, biogas plants.

Зміст

Вступ.....	8
1. Ситуація з переробкою твердих побутових відходів (ТПВ) у світі та в Україні.....	10
1.1. Ситуація з переробкою твердих побутових відходів (ТПВ) у світі.....	10
1.2. Ситуація з поводженням з ТПВ в Україні.....	14
2. Види енергетичної утилізації	20
2.1. Збирання біогазу на полігонах і звалищах ТПВ.....	20
2.2. Ситуація зі збором біогазу на полігонах і звалищах ТПВ в Україні.....	23
2.3. Механіко-біологічне оброблення ТПВ (МБО).....	26
2.4. Ситуація з механіко-біологічним обробленням ТПВ в Україні.....	33
2.5. Термічне оброблення ТПВ.....	34
2.6. Ситуація з термічним обробленням ТПВ в Україні.....	42
2.7. Морфологія відходів, вплив на вибір типу/технологій оброблення.....	43
3. Фінансові показники різних варіантів оброблення ТПВ.....	51
3.1. Потенційний дохід на тонну ТПВ.....	51
3.1.1. Роздільне збирання та сортування.....	51
3.1.2. Виробництво та утилізація біогазу (МБО).....	52
3.1.3. Термічне оброблення ТПВ.....	53
3.2. Капітальні та експлуатаційні витрати.....	54
3.2.1. Роздільне збирання та сортування.....	54
3.2.2. Виробництво та утилізація біогазу (МБО).....	55
3.2.3. Термічне оброблення ТПВ.....	59
3.3. Критерії вибору технологій оброблення ТПВ.....	63
4. Видобуток біогазу на полігонах ТПВ.....	68
4.1 Видобуток і утилізація біогазу.....	68
4.2 Визначення обсягу біогазу на полігонах ТПВ.....	77
5. Когенераційні установки.....	88
5.1. Робота когенераційних установок.....	88

5.2. Розрахунок уражаючих факторів при можливих аваріях	95
ВИСНОВКИ	99
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	102

ВСТУП

Енергозабезпечення населення і глобальна екологічна криза змушує країни світу впроваджувати і застосовувати нові альтернативні засоби виробітку енергії. Постає необхідність пошуку інноваційних джерел енергії, які не завдають шкоди довкіллю і мають значний економічний ефект. Виробництво біогазу є привабливою альтернативою з точки зору виробітку енергії. Враховуючи майже невичерпні сировинні ресурси все більше уваги держав привертають методи видобування і переробки біогазу. До того ж, цей вид палива є багатофункціональним і може застосовуватися у різних сферах. Сприятливі зміни в законодавстві ще більше стимулюють інвесторів вкладати кошти у будівництво біогазових установок. Особливо доцільно встановлення біогазових установок біля ферм і утворення енергетичних кооперативів, оскільки фермери не лише забезпечують себе електроенергією, а й продають її державі за вигідними тарифами. Тони сміття утворюються щороку і лише незначна частка використовується за призначенням і переробляється, через це виробіток біогазу зі сміття — один із способів зменшити накопичення відходів і скоротити рівень забруднення довкілля. Будівництво біогазових установок — це крок до економіки замкненого циклу (циклічної економіки), спрямованої на впровадження відновлюваних джерел енергії, скорочення викидів парникових газів тощо.

Разом з цим недостатньо реалізується впровадження інноваційних технологій щодо зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Вимагають додаткової оптимізації методи переробки відходів з утворенням електроенергії на регіональному рівні. Все це вказує на необхідність проведення додаткових досліджень у цій сфері та розрахунку економічного та екологічного ефекту від утилізації відходів для видобутку біогазу в Україні та окремих регіонах. Дана робота присвячена дослідженню економічного і екологічного ефекту від використання і будівництва біогазових установок на регіональному рівні як способу

зменшення кількості відходів і негативного впливу від їх неправильної і малоефективної утилізації; впровадженню зарубіжного досвіду поводження з відходами для покращення екології і добробуту населення.

Методи утилізації відходів в Україні постійно оновлюються у відповідності до європейських стандартів. Вибір ефективної системи утилізації відходів має ґрунтуватися на їх детальному аналізі, енергетичних та екологічних властивостях в межах кожного регіону України.

РОЗДІЛ 1. Ситуація з переробкою твердих побутових відходів (ТПВ) у світі та в Україні

1.1 Ситуація з переробкою твердих побутових відходів (ТПВ) у світі

Головним нормативно-правовим документом ЄС у сфері поводження з відходами, яким визначено правові рамки та основні принципи поводження з ними, є Директива 2008/98/ЄС

«Про відходи», що вводить єдині визначення термінів і понять «відходи», «утилізація» та ін. Під поняттям «відходи» розуміється «субстанція або предмет, від яких власник позбувається, хоче позбутися або повинен позбутися відповідно до чинного законодавства». Зазначеною Директивою визначено 16 категорій відходів, на основі яких запроваджено єдиний Європейський перелік відходів (рішення 2000/532/ЄС), що періодично переглядається і оновлюється.

Сучасна ієрархія управління відходами показана на рис. 1. Найвищий пріоритет належить попередженню або мінімізації утворення відходів. Далі за зменшенням пріоритету йдуть повторне використання та рециклінг відходів. У процесі рециклінгу відходи переробляються в продукцію, матеріали або речовини (включно з переробленням органічного матеріалу). Далі йдуть методи оброблення ТПВ, які супроводжуються виробництвом енергії. Останнім в ієрархії є видалення – спалення без виробництва енергії та захоронення на полігонах. Отже, захоронення є необхідною, але останньою ланкою цього ланцюжка.

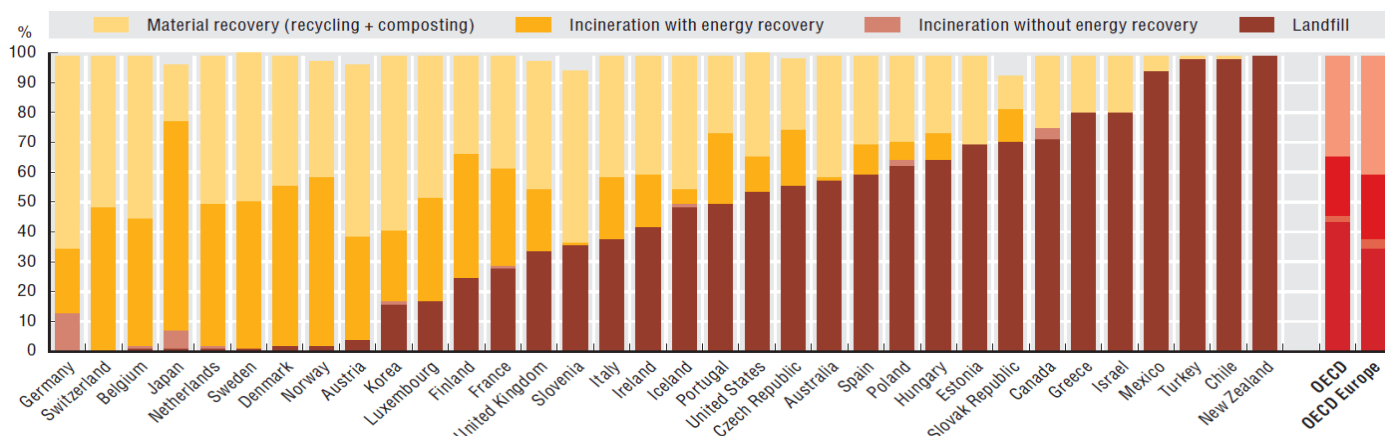


Рис. 1 – Ієрархія принципів інтегрованої системи управління відходами

Відзначимо, що захоронення ТПВ на полігонах також може супроводжуватися виробництвом енергії завдяки будівництву систем збору та енергетичного використання біогазу, що утворюється в процесі довільного або організованого розпаду біогенних відходів.

Важливо відзначити, що роздільне збирання, повторне використання, рециклінг та енергетичне використання ТПВ конкурують між собою за сировину, але не виключають одне одного. Ця теза може бути підтверджена за допомогою рисунка 2, на якому показана ситуація з переробкою відходів у країнах-членах Організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР).

Municipal waste disposal and recovery shares, 2013 or latest



Source: OECD (2015), "Municipal Waste", OECD Environment Statistics (database).

Рис. 2 – Особливості поводження з ТПВ в країнах ОЕСР

Легко побачити, що країни, які за останні десятиліття істотно знизили частку захоронення ТПВ, досягли цього результату за допомогою поєднання повторного використання матеріалів з рециклінгом включно з отриманням компосту, з термічним обробленням – спалюванням, яке в більшості випадків передбачає використання енергії. Це принаймні такі розвинені європейські країни, як Німеччина, Бельгія, Австрія, Нідерланди. Тобто, країни, які практично відмовилися від захоронення відходів, використовують всі можливі методи переробки відходів, як матеріальні, так і енергетичні, не віддаючи переваги жодному з них.

Однак ситуація в різних розвинених країнах і регіонах різниться. Кількісні показники різних видів переробки ТПВ у світі зібрані в таблиці 1 окремо для Америки, Європи та країн тихоокеанського регіону.

Видно, що найбільшу кількість відходів генерують жителі Америки, переважно, США, причому більша частина відходів тут як і раніше вивозиться на полігони (60%). Рециклінг і компостування відходів найбільш розвинене в країнах Європи (38%). Термічне оброблення відходів використовується в країнах Азії і Тихоокеанського регіону (48%), а також в Європі, до того ж більше ніж 90% відходів, що спалюються, використовуються для отримання енергії.

	Північна та південна Америка	Європа, Туреччина та Ізраїль	Японія, Півд. Корея, тихоокеанські країни	Всього OECD
Кількість відходів, млн т	291,5	263,9	85,3	640,7
Кількість відходів, кг/(люд·рік)	607	469	421	514

Рециклінг	24%	25%	31%	25%
Компостування	8%	13%	0,3%	9%
Спалювання (без використання енергії)	0,1%	3%	4%	2%
Спалювання (с використанням енергії)	9%	20%	48%	18%
Захоронення	60%	38%	17%	45%

Таблиця 1 – Кількість та методи поводження з ТПВ у країнах ОЕСР

На рисунку 3 показана європейська мапа термічного оброблення ТПВ станом на 2016 рік за даними Європейської конфедерації сміттєспалювальних заводів (CEWER). Всього на мапі представлені дані щодо 522 сміттєспалювальних заводів, які спалюють близько 93,7 млн т ТПВ на рік.

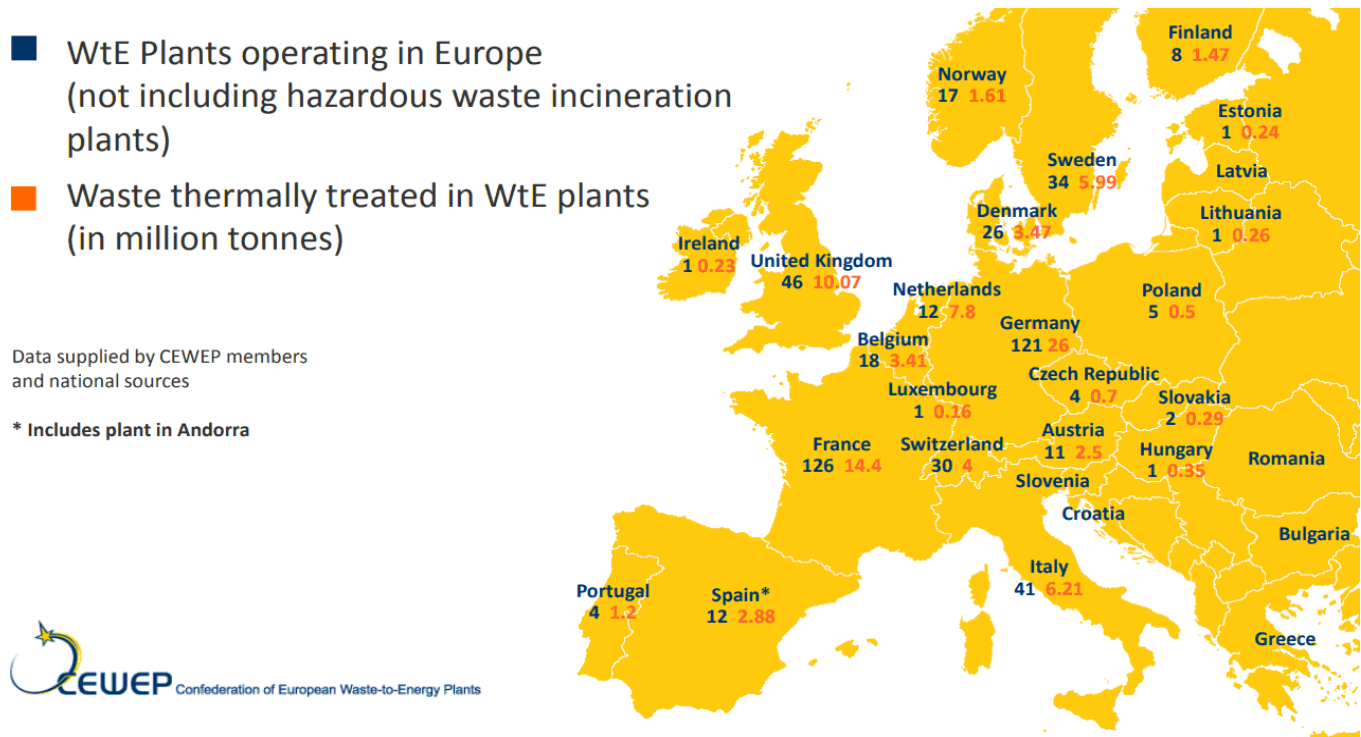


Рис. 3 – Термічне оброблення ТПВ у Європі (2016)

1.2 Ситуація з поводженням з ТПВ в Україні

Завдяки впровадженню в 1181 населених пунктах роздільного збирання побутових відходів, роботі 26 сміттєсортувальних ліній, 1 сміттєспалювального заводу (ССЗ) і 3 сміттєспалювальних установок в Україні в 2018 році перероблено та утилізовано близько 6,2 % побутових відходів, з них: 2% спалено, а 4,2 % побутових відходів потрапило на

заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи (СПЗ)⁴. Решту (близько 93%) було видалено на полігони та сміттєзвалища, яких станом на 2017 рік в Україні налічувалось 6 тис. одиниць загальною площею понад 9 тис. га.

Отже, щорічно в Україні утворюється 9...12 млн тонн ТПВ. Близько 93% потрапляє на звалища і полігони. Наразі в країні працює єдиний сміттєспалювальний завод і кілька десятків сортувальних ліній, ефективність відбору вторинних матеріалів на яких не перевищує 15...20% по масі. На 20 полігонах збирається біогаз для подальшого виробництва електроенергії.

Єдина спроба запуску сміттєпереробного заводу з анонсованим виробництвом RDF5 в 2013 році виявилася невдалою в основному через недоліки технологічних рішень та відсутність тарифу на переробку ТПВ. Плани будівництва різних ССЗ/СПЗ періодично анонсувалися протягом останніх двадцяти років. Наразі існують реальні плани на використання технології МБО у Львові та Хмельницькому.

Наразі державну політику у сфері поводження з відходами реалізує Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Нормативно-правове регулювання з питань щодо здійснення операцій у сфері поводження з відходами забезпечує Міністерство екології та природних ресурсів України

Нова стратегія управління відходами до 2030 року була прийнята Кабінетом міністрів України в 2017 році. Проект Національного плану поводження з відходами подано на до Кабінету Міністрів України та затверджено в лютому 2019 року. Наразі розробляється проект рамочного Закону про відходи для впровадження вимог Рамкової Директиви ЄС 2008/98/ЄС щодо відходів.

Згідно з вимогами Національного плану, регіональні плани поводження з відходами мають бути розроблені не пізніше, ніж через два роки після його затвердження. Ці плани є основою для подальшого

фінансування інфраструктурних проектів щодо управління відходами з фондів державного та місцевих бюджетів.

Стратегія управління відходами до 2030 року передбачає перехід від видалення відходів на звалища та полігони до системи комплексного поводження з ТПВ. В той же час стратегія передбачає будівництво мережі нових санітарних регіональних полігонів для захоронення ТПВ. Через відносно високі капітальні й експлуатаційні витрати полігонів, що відповідають вимогам законодавства ЄС, такі об'єкти повинні мати мінімальну потужність близько 50 тис. тонн на рік (оптимальна потужність – 100 тис. т/рік і більше) і покривати агломерацію не менше 150 000 осіб. Оптимальна зона охоплення (кластер) має охоплюватитериторію, на якій проживає принаймні 400 тис. осіб.

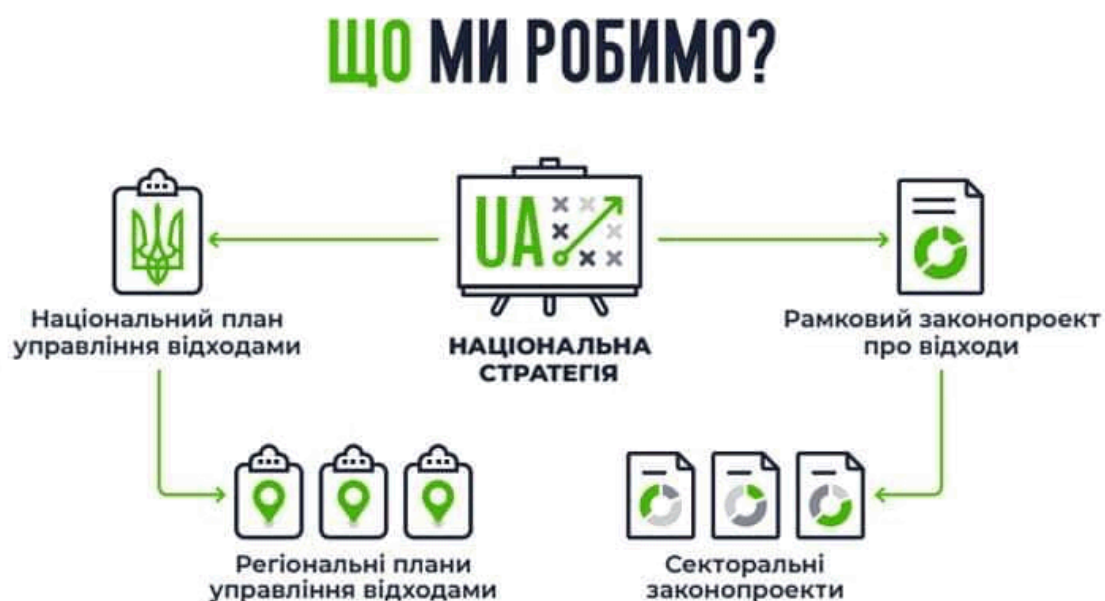


Рис. 4 – Розробка законодавства у сфері поводження з побутовими відходами

До спеціальних заходів Стратегії у сфері побутових відходів належить зростання рівня перероблення побутових відходів, враховуючи:

- досягнення у 2030 році показника перероблення 50% побутових відходів від загального обсягу їх утворення шляхом збільшення охоплення населення України роздільним збиранням побутових відходів до 48% від загальної чисельності населення у 2030 році та введення в експлуатацію

додаткових сміттесортувальних ліній та сміттєпереробних заводів.

- Створення в рамках пілотних проектів об'єктів з виробництва палива з побутових відходів (RDF/SRF⁶) на базі об'єктів механіко-біологічного оброблення за умови їхнього наближеного розташування до цементних заводів.
- Запровадження в Україні низки пілотних проектів з біологічної стабілізації змішаних побутових відходів.

В якості довгострокової перспективи (2026–2030) у стратегії містяться такі цільовізначення:

- відсоток побутових відходів, що направляються на повторне використання – 10%;
- відсоток побутових відходів, що направляються на перероблення – 20%;
- відсоток побутових відходів, що направляються на термічну утилізацію – 10%;
- відсоток побутових відходів, що захоронюються – 30%.

Згідно з проектом закону України «Про управління відходами»⁷ до муніципальних відходів належать побутові відходи, тобто відходи від домогосподарств, включно з папером, картоном, склом, металами, пластиком, біовідходами, деревиною, текстилем, упаковкою, відходами електричного та електронного обладнання, відпрацьованими батарейками, батареями та акумуляторами, великогабаритними відходами, а також відходами з інших джерел, якщо ці відходи подібні за своїм складом до відходів з домогосподарств.

Крім того, до муніципальних відходів належать відходи інфраструктури населеного пункту – відходи об'єктів благоустрою

населених пунктів (включно з відходами від зелених насаджень) та вуличний зміт.

Згідно з проектом закону органи державної влади, місцевого самоврядування, підприємства, установи та організації зобов'язані дотримуватись сучасної ієрархії управління відходами в такій послідовності:

- 1) запобігання утворенню відходів;
- 2) підготовка до повторного використання;
- 3) рециклінг;
- 4) інші операції з відновлення (у т. ч. відновлення з виробленням енергії)/ або утилізація;
- 5) видалення.

При застосуванні ієрархії управління відходами повинні враховуватися принципи державної політики у сфері управління відходами, екологічна та економічна доцільність, технічна спроможність та використовуватися найкращі доступні технології.

Запобігання утворенню відходів – найвища ступінь ієрархії, яка спрямована на оптимізацію процесів проектування, починаючи з видобутку ресурсів, виробництва товарів (еко-дизайн) та утворення відходів.

Другий пріоритет – підготовка до повторного використання – фактично вимагає створення цілої галузі для перевірки, очистки, оброблення відходів чи предметів, що ще не стали відходами, з подальшим поверненням зазначених товарів до сфери споживання.

Згідно з проектом закону відновлення відходів – будь-яка операція, в результаті якої матеріали, отримані з відходів, можуть використовуватися як вторинна сировина, яка здатна замінити первинну сировину, необхідну для виробництва нової продукції, або відходи, підготовлені для заміни первинної сировини. Рециклінг – операція з відновлення, коли відходи переробляються в продукцію, матеріали або речовини, яка включає

перероблення органічного матеріалу, але не включає відновлення енергії чи перероблення в матеріали, що будуть використовуватися як паливо.

В цілому, система управління відходами, зокрема муніципальними, відповідно до проекту закону України «Про управління відходами» повинна виглядати так, як показано на рис. 5, включаючи різні методи енергетичної утилізації, які показано в останньому рядку діаграми.

Видалення відходів в спеціально обладнані місця/об'єкти, що відповідають екологічним нормативам, повинно бути лише у випадку, якщо не можливо виконати попередні ступені ієрархії.

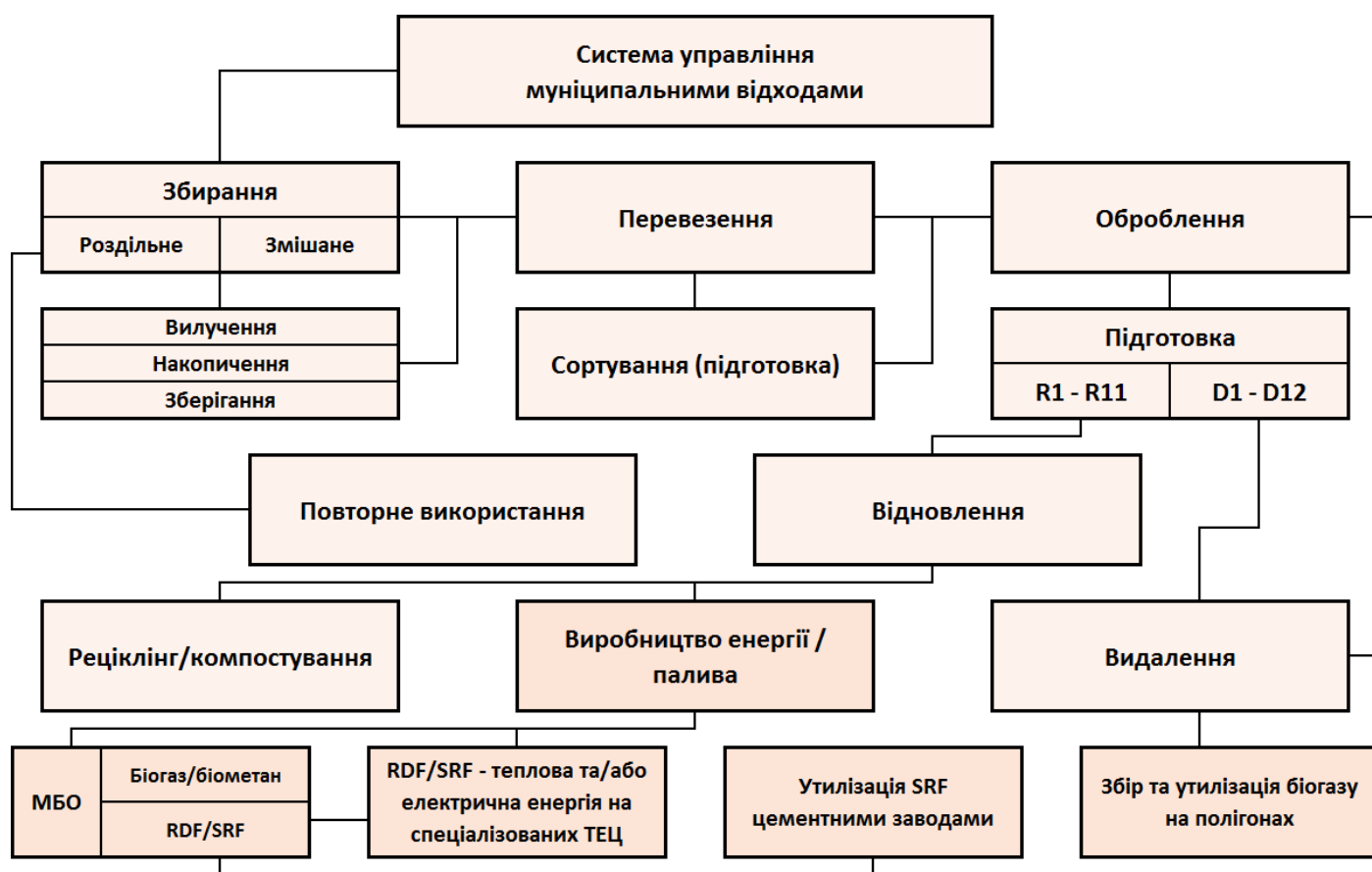


Рис. 5 – Система управління муніципальними відходами в Україні.

Варіантом відновлювання є використання відходів як палива чи іншим способом для виробництва енергії. Це включає також установки термічного оброблення муніципальних відходів, якщо їхня енергетична ефективність не менше:

- 0,60 для підприємств, експлуатацію яких розпочато до

набуття чинності цього Закону;

- 0,65 для підприємств, експлуатацію яких розпочато після набуття чинності цього Закону.

Для визначення енергетичної ефективності (EE) треба використовувати формулу:

$$EE = \left[\left(E_p - (E_f + E_i) \right) / \left(0,97 \times (E_w + E_f) \right) \right] \times KKK,$$

де E_p – річний обсяг виробництва електричної та теплової енергії в ГДж/рік, що

обчислюється:

$$E_p = 2,6 \times E_e + 1,1 \times E_t$$

де E_e – річний обсяг виробництва електричної енергії,

E_t – річний обсяг виробництва теплової енергії,

E_f – річний обсяг енергії, використаної для виробництва пари (теплової енергії) (ГДж/рік);

E_i – річний обсяг додаткової енергії, що надходить до технологічного процесу, за виключенням E_w та E_f (ГДж/рік)

E_w – потенційний річний обсяг енергії, який можна отримати від оброблення відходів (ГДж/рік), на основі врахування у розрахунку їх мінімальної калорійності (теплотворної здатності));

0,97 – коефіцієнт, що враховує втрати енергії, спричинені утворенням шлаку та випромінюванням;
 KKK – коригуючий коефіцієнт клімату.

РОЗДІЛ 2. Види енергетичної утилізації.

Отже, існують такі основні види енергетичної утилізації твердих побутових відходів (рис. 5):

1. Збір біогазу на полігонах і звалищах ТПВ із подальшим виробництвом електричної та/або теплової енергії;
2. Механіко-біологічне оброблення ТПВ із можливим отриманням біогазу та/або твердого палива з ТПВ (RDF/SRF) із подальшою утилізацією на цементних заводах або у спеціалізованих ТЕЦ/котельнях;
3. Термічне оброблення/утилізація змішаних (залишків після сортування) ТПВ із подальшим виробництвом електричної та/або теплової енергії.

2.1. Збирання біогазу на полігонах і звалищах ТПВ

Захоронення на полігонах і звалищах залишається основною практикою поводження з ТПВ в Україні. Стратегія управління відходами до 2030 року передбачає перехід від простого захоронення/видалення відходів до системи комплексного поводження з ними. Зокрема, стратегія передбачає впровадження роздільного збору та сортування відходів, поступове збільшення частки повторного використання і рециклінгу матеріалів, а також необхідне будівництво принаймні 100...150 сучасних регіональних полігонів з використанням принципу міжрегіонального співробітництва. Таким чином, роль полігонного захоронення буде залишатися істотною протягом принаймні кількох десятиків років.

Впродовж захоронення та накопичення ТПВ формується тіло полігону, в результаті основна частина відходів опиняється в анаеробних (без доступу повітря) умовах. Відсутність кисню, висока вологість і температура в діапазоні 30...60 градусів Цельсія є необхідними і достатніми умовами для формування процесів розпаду органічної фракції ТПВ з утворенням біогазу – суміші метану, вуглекислого газу і води з незначними домішками азоту, сірководню та органічних летких сполук.

Український ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» передбачає утилізацію біогазу, що утворюється при анаеробному розкладанні органічної складової ТПВ. Біогаз може використовуватись як паливо для енергетичних установок (котлоагрегатів, промислових печей, стаціонарних двигунів- генераторів) або для заправки в балони. Метод утилізації біогазу визначається під час розроблення технічного завдання на проектування системи збирання й утилізації біогазу для конкретного полігону ТПВ. У разі неможливості використання за умови відповідного техніко-економічного обґрунтування біогаз повинен спалюватися на спеціальній високотемпературній факельній установці.

До проекту системи збирання біогазу, як правило, входять свердловини, газозбірні пункти з трубопроводами біогазу, проміжні і магістральний газопроводи, дегазаційна установка для вилучення біогазу та вузол підготування біогазу до утилізації (осушення та очищення);

Існують такі принципові можливості утилізації біогазу:

1. Установка газових двигунів внутрішнього згоряння (в окремих випадках газових турбін) безпосередньо на території полігону з подачею електроенергії в мережу без утилізації теплової енергії;
2. Прокладка трубопроводу біогазу до найближчої котельні, продаж тепла в мережі централізованого теплопостачання;
3. Спільне використання електроенергії та тепла (наприклад,

установка когенераційного модуля на базі ДВС в приміщенні котельні або постачання тепла побутовому або промислового споживачу в безпосередній близькості від полігону);

4. Збагачення біогазу до якості природного газу з подальшим використанням як моторного палива або закачуванням в розподільні або магістральні мережі природного газу.

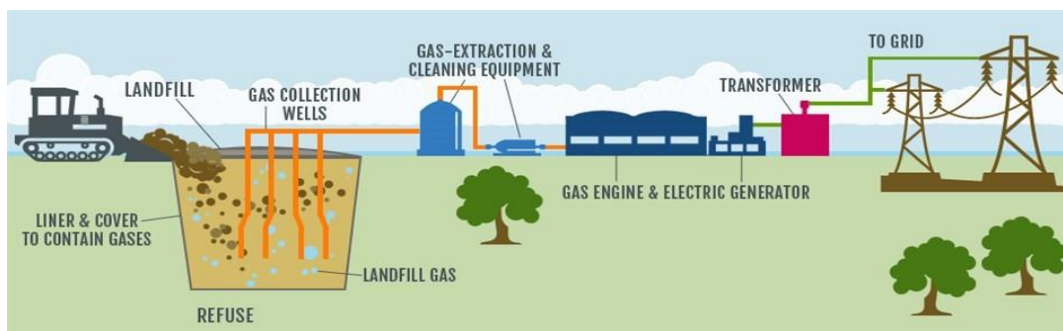


Рис. 6 – Збір и утилізація біогазу на полігоні ТПВ

Вважається, що енергетичну утилізацію біогазу доцільно використовувати на полігонах із середньою товщиною шару ТПВ принаймні 10 метрів і з накопиченою кількістю ТПВ принаймні 1 млн тонн. Велике значення має також тривалість накопичення необхідної кількості відходів. Зазвичай цим умовам задовольняють полігони, які приймають відходи населених пунктів сумарне населення яких перевищує 200 тис. мешканців.

Кількість біогазу, що утворюється на полігоні, визначається морфологією ТПВ та графіком захоронення відходів. В середньому, біогазовий потенціал українських ТПВ складає 60...75 м³/т ТПВ в перерахунку на метан.

Швидкість розпаду ТПВ визначається морфологією ТПВ та фізичними умовами в тілі полігону, в основному вологістю та температурою. В свою чергу внутрішні умови залежать від клімату, в основному від кількості атмосферних опадів. Процес розпаду органічної фракції ТПВ реалізується

за експоненціальним законом, період напіврозпаду в українських умовах (відповідає 50% утворення біогазу) становить 10...12 років.

Кількість зібраного біогазу визначається ефективністю збору, в основному залежить від особливостей експлуатації полігону/звалища. Визначальними факторами є площа «активної» зони полігону, наявність/якість верхнього покриття з низькою газової проникністю, ступінь ущільнення відходів, наявність фільтрату в тілі полігону, можливі загоряння та їхня категорія за весь час експлуатації. Вважається, що ефективність збору біогазу на керованих полігонах становить близько 50%. Для українських місць захоронення відходів така величина може розглядатися в якості верхньої межі, більш характерним значенням може бути 25...30% або навіть нижче.

Якщо врахувати, що частка населення України, що проживає в містах з населенням понад 200 тис. мешканців, становить 40%, то загальний потенціал збору біогазу з ТПВ в Україні складає

$$10 \text{ млн т ТПВ/рік} \times 60 \text{ м}^3/\text{т} \times 0,40 \times 0,25 = 60 \text{ млн м}^3/\text{рік (CH}_4\text{)} = 2,1 \text{ млн ГДж} = 580 \text{ ГВт}\cdot\text{год}$$

Збір біогазу на полігоні або звалищі є ефективним екологічним заходом. В результаті спалювання біогазу (в енергетичних установках або на факелі) зменшується емісія парникових газів в атмосферу, знищуються органічні леткі сполуки, з якими асоціюються неприємні запахи, знижується або усувається ймовірність загорянь ТПВ на звалищах. Крім того, біогаз з ТПВ є місцевим і поновлюваним джерелом енергії, здатним замінити будь-які види викопного палива – вугілля, нафту, природний газ.

2.2. Ситуація зі збором біогазу на полігонах і звалищах ТПВ в Україні

Перші українські проекти зі збору біогазу були реалізовані як проекти спільного впровадження в 2008...2012 роках протягом першого періоду Кіотського протоколу (Ялта/Алушта, Львів, Маріуполь). Майже вісь біогаз спалювався на факелі.

Зараз в Україні доцільність утилізації біогазу визначається можливістю продажу електроенергії з використанням «зеленого» тарифу (0,1239 Євро/кВт•год без ПДВ). Тому після закінчення дії першого періоду Кіотського Протоколу, починаючи з 2012 року основною метою утилізації біогазу з ТПВ стало не зниження емісії парникових газів, а виробництво електроенергії з продажом за зеленим тарифом. Наразі всі нинішні проекти виробляють електроенергію за допомогою газових двигунів з ефективністю 35...42%, але практично все тепло при цьому втрачається.

Найбільші полігони і звалища ТПВ України показані на рис. 7. Помаранчевим кольором виділені полігони, на яких біогаз з ТПВ збирається і використовується для виробництва електроенергії, загальною кількістю 19 міст (20 проектів) станом на 01.01.19.

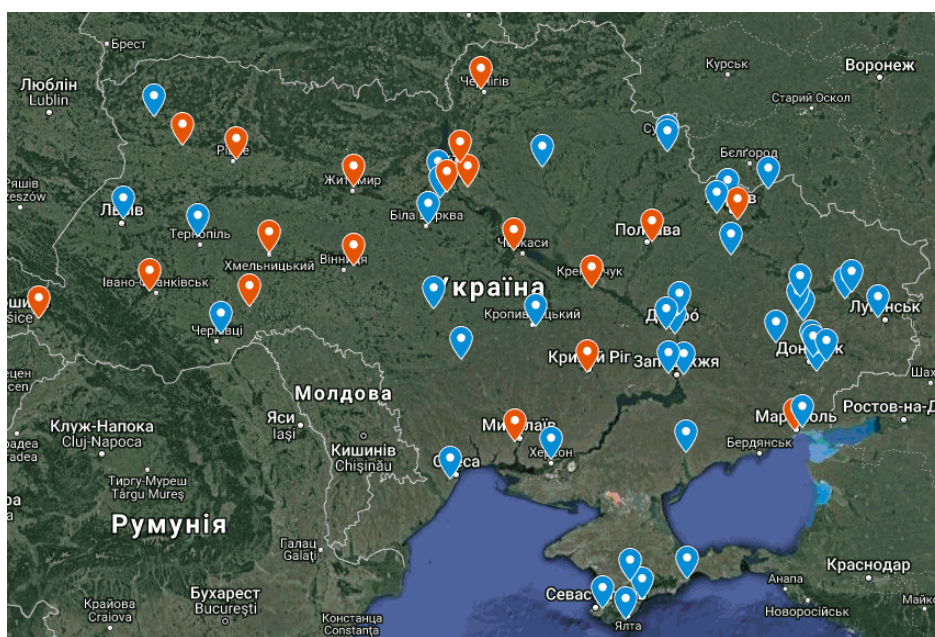


Рис. 7 – Найбільші полігони і звалища ТПВ України

Загальна встановлена електрична потужність на полігонах і звалищах становить понад 18,4 МВт (на 01.01.19). Розвиток виробництва електроенергії з біогазу ТПВ за період 2012...2018 років показано на рис. 8 і в таблиці 2. Додатково в таблиці 2 наведені сумарна встановлена електрична потужність і кількість систем збору біогазу на кінець року за той

же період.



Рис. 8 – Виробництво електроенергії з біогазу на полігонах і звалищах ТПВ в Україні
(Джерело: НКРЕКП)

Наявність зеленого тарифу призвела до того, що значна частина енергетичного потенціалу біогазу на полігонах і звалищах ТПВ України вже реалізована. Характерною особливістю є те, що на місцевому ринку присутні тільки українські компанії.

Рік	Річне виробництво електроенергії, МВт·год	Встановлена електрична потужність на кінець року, МВт	Кількість проектів на кінець року, од.
2012	4 997	0,9	1
2013	10 299	2,1	3
2014	14 243	4,3	4
2015	21 926	6,4	6
2016	32 792	7,4	7
2017	41 065	12,3	12
2018	62 490	18,4	20

Таблиця 2 – Виробництво електроенергії, встановлена електрична потужність і кількість проектів зі збору біогазу на полігонах і звалищах ТПВ в Україні

Аналіз експлуатаційних даних щодо вироблення електроенергії за 2017...2018 роки показує, що коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) становить в середньому від 40 до 60 відсотків (70% для найбільш успішних проектів), що може бути пов'язано із завищеними очікуваннями щодо газоутворення на етапі підготовки проекту.

Перспективи реалізації наступних проектів можуть бути пов'язані з такими містами, як Дніпро, Запоріжжя, Одеса, Маріуполь, Херсон, Суми, Кам'янське, Чернівці.

Незважаючи на те, що у майбутньому вірогідним є розвиток технологій механіко-біологічного оброблення відходів з виробництвом біогазу в спеціалізованих реакторах певна частина потенціалу може бути пов'язана з переходом на будівництво регіональних санітарних полігонів у рамках реалізації стратегії управління ТПВ до 2030 року. Зосередження ресурсів на великих об'єктах і чітке дотримання правил експлуатації для санітарних полігонів дозволило б збирати до 75...85% біогазу, що утворюється

2.3 Механіко-біологічне оброблення ТПВ (МБО)

Механіко-біологічне оброблення відходів використовується для оброблення змішаних відходів з попереднім сортуванням або без нього. Первинна концепція технології передбачає зменшення кількості відходів, що відправляються на захоронення. Наразі технологія також використовується для виробництва палива і додаткового вилучення корисних матеріалів. Технологія об'єднує механічні методи (сепарація за допомогою сит, барабанів, магнітів і ін.) і біологічні методи (компостування і анаеробне зброджування). МБО є загальним поняттям для всіх концепцій, які передбачають оброблення відходів комбінацією механічних і біологічних методів. Основними відмінністю різних концепцій є послідовність стадій процесу і мета біологічної стадії оброблення. Технологічний ланцюжок орієнтується або на концепцію поділу (сплітінга), або на ідею стабілізації.

використовуватися як RDF-паливо для виробництва енергії на відповідних установках для спалювання.

Садово-паркові та харчові відходи можуть перероблятися біологічно – аеробними (компостування в присутності кисню) або анаеробними методами (зброджування в герметичних реакторах у відсутності кисню). В результаті аеробного компостування садово-паркових відходів в буртах, критих траншеях або в спеціальних ємностях виробляється компост, який може використовуватися в садових і паркових господарствах, а також для ландшафтного будівництва. Компостування харчових відходів вимагає застосування додаткових біофільтрів для зменшення атмосферних емісій. Анаеробні методи пов'язані з високими капітальними витратами, однак при їхньому використанні отримують додаткове джерело енергії – біогаз.

Механіко-біологічне оброблення відходів не є методом остаточного усунення відходів, тому що твердий залишок, що отримується на виході, повинен піддатися додатковим операціям у вигляді полігонного захоронення або спалювання.

Таким чином, існують наступні принципові можливості організації МБО:

1. Сортивання з відділенням ресурсоцінних та інертних компонентів, зброджування органічної фракції ТПВ, отримання біогазу, виробництво з нього корисної енергії, компостування і захоронення/утилізація зброженого залишку;
2. Сортивання з відділенням ресурсоцінних та інертних компонентів, біологічна стабілізація – компостування і захоронення/утилізація стабілізованого залишку;
3. Виробництво спеціально підготовленого палива з ТПВ (SRF). У найпростішому випадку підготовка може полягати в попередньому сортуванні, вилученні деяких

компонентів з потоку змішаних відходів і подрібненні залишку. Надалі можливі:

- використання палива в спеціалізованих котельнях для виробництва електричної та/або теплової енергії;
- передача/продаж палива на найближчий цементний завод.

Використання SRF в цементній промисловості дозволяє використовувати не тільки енергію палива, але і його мінеральну частину в процесі виробництва клінкеру.

Загальний теоретичний потенціал виробництва біогазу в процесі механіко-біологічного оброблення ТПВ в Україні (у разі оброблення всієї кількості органічної фракції ТПВ, що утворюється в Україні) складає

$$10 \text{ млн т ТПВ/рік} \times 60 \text{ м}^3/\text{т} = 600 \text{ млн м}^3/\text{рік} (\text{CH}_4) = 21 \text{ млн ГДж} = 5800 \text{ ГВт}\cdot\text{год}$$

Таким чином, потенціал отримання біогазу в процесах МБО на порядок вище в порівнянні зі збором біогазу на полігонах з двох причин:

1. у керованих реакторах існує можливість використання всього обсягу біогазу, що утворюється, на відміну від полігонів, де кількість біогазу обмежується ефективністю його збору, а також можливим окисленням метану в верхніх шарах відходів;
2. на відміну від захоронення на великій кількості дрібних і середніх місць захоронення відходів, використання технологій МБО передбачає концентрацію ТПВ за регіональним принципом із майже повною утилізацією біогазового потенціалу.

Також перевагами отримання біогазу в рамках реалізації концепції МБО є:

1. багаторазове прискорення процесів зброджування в

порівнянні з природними процесами, що відбуваються в надрах сміттєзвалищ і полігонів;

2. потенційна можливість отримання умовно чистого компосту в разі оброблення роздільно зібраних органічних відходів.

Для спалювання палива з ТПВ на цементних заводах або в спеціалізованих котельнях потрібна попередня класифікація палива. Завдання та заходи проекту Національного плану управління відходами до 2030 року передбачають розроблення акту Мінекономрозвитку про впровадження стандарту на основі наявного європейського стандарту EN 15359:2011 «Тверді відновлювані палива (SRF). Специфікація та класифікація», а також проекту акту про затвердження рекомендацій щодо використання палива, отриманого з відходів (RDF).

Наразі в Україні вже існує стандарт на тверде відновлювальне паливо¹¹. Даний документ прийнятий методом підтвердження і представлений тільки мовою оригіналу (англійська). Документ містить наступну класифікацію твердого палива з побутових відходів (табл. 3).

Класифікаційний параметр	Статистична характеристика	Одиниця виміру	Клас				
			1	2	3	4	5
Нижча теплота згоряння $Q_{\text{н}}$, не менше	Середньоарифметичне значення	МДж/кг	25	20	15	10	3
Вміст хлору Cl, не більше	Середньоарифметичне значення	%	0,2	0,6	1,0	1,5	3
Вміст ртуті Hg, не більше	Усереднене значення	мг/МДж	0,02	0,03	0,08	0,15	0,50
	80-відсоткове значення	мг/МДж	0,04	0,06	0,16	0,30	1,00

Таблиця 3 – Система класифікації твердого палива з побутових відходів (SRF)

SRF складається переважно з біологічних відходів і являє собою гомогенну суху сировину з низьким вмістом небажаних домішок, придатну для складування. Калорійності фракції 15 МДж/кг (клас 3) достатньо для більшості цементних виробництв і/або ТЕЦ, що працюють на твердому паливі. Для SRF такого типу характерний низький вміст хлору (<1,0%), що

також допустимо для цементних виробництв.

В Україні існує інтерес до реалізації демонстраційних проектів з утилізації палива з ТПВ в цементній промисловості в рамках реалізації стратегії управління відходами. Але можливість утилізації палива з українських ТПВ потребує додаткового опрацювання, партнерами для обговорення можуть бути Асоціація виробників цементу України «Укрцемент» та ДАЕЕ.

У більшості випадків для використання альтернативного палива цементними заводами буде потрібно здійснити їх модернізацію. Крім того, доцільність використання SRF визначається логістикою, в основному відстанню між виробником палива та цементним заводом. Цементні заводи України показані на рисунку 10. Легко побачити, що такі заводи розташовані в основному на заході і південному сході країни

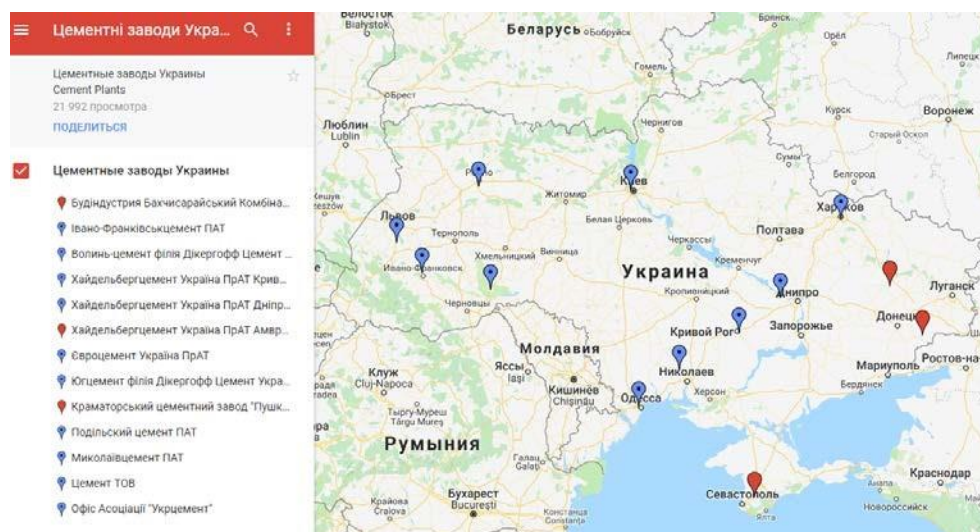


Рис. 10 – Цементні заводи України

Технологічно виробництво палива з ТПВ складається з біобоксов стабілізації органічної фракції ТПВ, зони механічного сортування та кондиціонування, систем очищення, а саме очищення води, системи контролю і видалення запахів, пиловловлювачів, фільтрів, тому експлуатація таких підприємств не пов'язана з додатковим навантаженням на навколишнє середовище.

Існує значна розбіжність щодо вартості різних технологій МБО, тому що не існує «універсального» варіанту для оброблення змішаних ТПВ.

Різні рішення можуть вважатися найбільш вигідними для різних територій охоплення/ кластерів.

Як вже зазначалося вище, доцільність отримання біогазу з ТПВ з подальшим виробництвом електроенергії визначається можливістю продажу електроенергії за фіксованим «зеленим» тарифом (0,1239 Євро/кВт·год без ПДВ). Доцільність виробництва RDF/SRF визначається, крім власне оброблення ТПВ, заміщенням викопних видів палива, в першу чергу, природного газу.

Будівництво об'єктів МБО може виявитися економічно сталим рішенням за певних обставин, наприклад:

- МБО виробляє біогаз з продажом за зеленим тарифом, тепло продається комунальному або промисловому користувачу
- МБО виробляє паливо RDF/SRF за наявності в регіоні сформованого ринку для нього (наприклад, цементна промисловість або система централізованого опалення).

Якщо розглядається можливість будівництва об'єкту МБО, спочатку необхідно провести ретельне техніко-економічне обґрунтування (ТЕО), яке має довести комерційну життєздатність (інвестиційну привабливість) подібної пропозиції.

2.4 Ситуація з механіко-біологічним обробленням ТПВ в Україні

Наразі в Україні немає проектів механіко-біологічного оброблення побутових відходів, які працюють. Єдина спроба організувати виробництво RDF для подальшого спалювання на ПАТ «Волиньцемент» в сусідньому місті Здолбунів була зроблена в місті Рівне. Сміттепереробний завод був побудований в 2013 році. Експлуатація виявилася недовгою через технологічні недоліки та проблеми з визначенням тарифу на переробку ТПВ, а також неможливості сертифікації якості одержуваного палива. На сьогодні завод працює нерегулярно в режимі сортування відходів, «хвости» вивозяться на муніципальне звалище.

Великий проект сміттепереробного комплексу, який кредитується Світовим Банком на суму 30 млн Євро, реалізується в Харкові на Дергачівському полігоні ТПВ. Однак проект передбачає реалізацію тільки «простих» концепцій: рекультивацію старого полігону, будівництво нового санітарного полігону, організацію збору та утилізації біогазу для виробництва електроенергії на старому і, в перспективі, на новому полігоні, а також запуск двох сортувальних ліній потужністю 40 і 80 тис. тонн на рік.

Також на стадії реалізації знаходиться проект у Львові. Тут планується рекультивація старого закритого звалища в Грибовищах та будівництво сміттепереробного комплексу. Технічна концепція буде полягати в механіко-біологічній обробленні ТПВ. Підписання договорів стосовно виділення 35 млн євро від ЄБРР та Фонду Східноєвропейського партнерства з енергоефективності та довкілля (E5P) відбулось у червні 2018 року.

Якщо тендерні процедури завершаться вчасно, будівництво сміттепереробного заводу у Львові може розпочатись уже в 2019 році. Претендентами на будівництво заводу з переробки відходів у Львові стали компанії Control Process S.A. (Польща), Eggersmann Anlagenbau GmbH (Німеччина), Helector S.A. (Греція), консорціум MUT (Австрія) з Dogusan (Туреччина) та консорціум WTT (Нідерланди) з Axis (Литва). Окрім

будівництва заводу, у Львові також планують запровадити нову систему роздільного збирання відходів

Ідея будівництва заводу механіко-біологічної оброблення ТПВ потужністю 80 тис. т/рік активно розвивається у Хмельницькому. Силами місцевих і зарубіжних експертів проведено якісне і кількісне дослідження потоків відходів, підготовлено техніко-економічне обґрунтування проекту. У Хмельницькому планується виробництво біогазу і палива RDF/SRF. Для реалізації проекту місто залучає кошти ЄБРР (20 млн євро) і, в перспективі, Міжнародної фінансової корпорації (Світовий банк).

Ідея будівництва заводу МБО потужністю 82 тис т/рік також анонсована в Житомирі в середині 2018 року. Планується виробництво RDF-палива для цементного виробництва і компосту.

2.5 Термічне оброблення ТПВ

Термічне оброблення ТПВ є найбільш ефективним методом зменшення кількості відходів та потреби в захороненні. Можливі такі види термічної утилізації муніципальних відходів:

1. виробництво тепла та електроенергії з RDF/SRF, що отримані після МБО;
2. Класичний ССЗ – спалювання змішаного потоку ТПВ після вилучення ресурсоцінних компонентів;
3. експериментальні технології: газифікація, піроліз, плазм

Спалювання

Тверді побутові відходи можуть спалюватися в установках різного типу, враховуючи установки з рухомою решіткою і з обертовими печами, а також установки з киплячим шаром. Основним корисним продуктом спалювання відходів є тепло відхідних газів, що використовується як вторинний енергетичний ресурс для вироблення пари, електроенергії, гарячої води для виробничих та побутових потреб.

Як метод оброблення спалювання використовують для частково відсортованих відходів, у складі яких не більше 10...15% інертного матеріалу. Для спалювання можна використовувати тільки відходи з достатньо високою теплотворною здатністю (більш ніж 6,0 МДж/кг). Область застосування термохімічних методів обмежується властивостями продуктів реакції. При згорянні органічної частини відходів утворюються діоксид та оксид вуглецю, пари води, оксиди азоту та сірки, аерозолі. Термохімічні методи небажано застосовувати для переробки відходів, якщо останні містять фосфор, галогени, сірку.

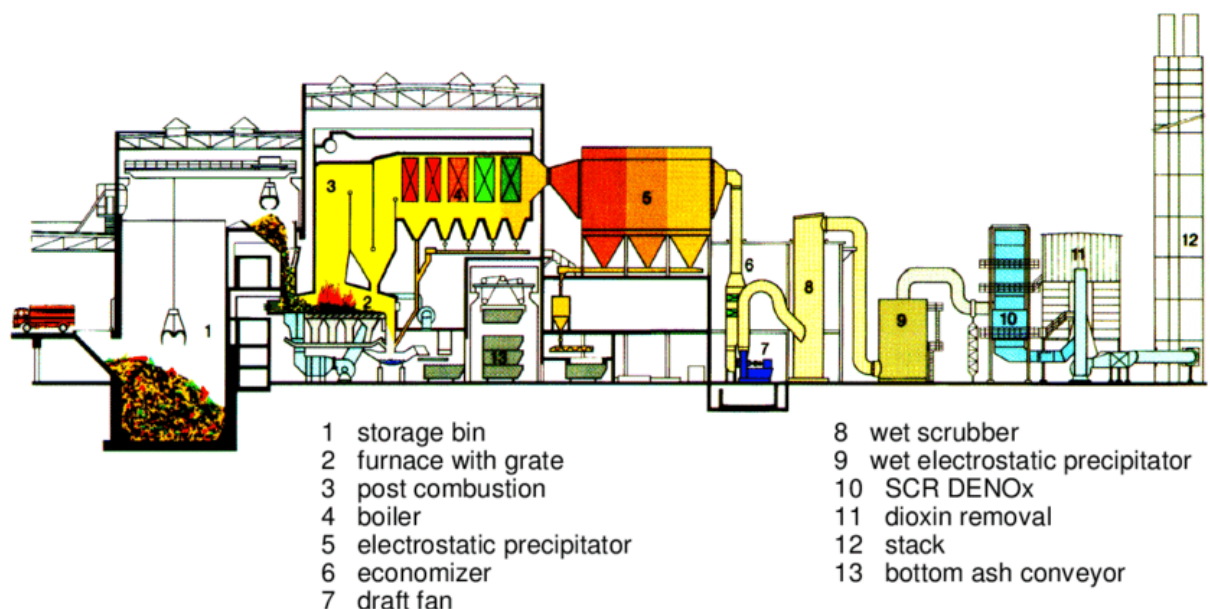


Рис. 11 – Термічна утилізація відходів

Відходи завантажуються в бункер безпосередньо зі сміттєвозів (рис. 11).

Обсяг бункера розрахований на тижневий запас відходів. Далі відходи подаються за допомогою тельферного крану в систему подачі палива на рухомі решітки. Останні бувають похилі або горизонтальні з повітряним або водяним охолодженням. Відходи переміщуються уздовж решітки під дією гравітації (похилі решітки) або в результаті переміщення частин решітки.

Тепло продуктів згоряння використовується для вироблення пари високого тиску, що в свою чергу подається на турбіну з генератором. Низькотемпературний пар після турбіни може використовуватися в системах централізованого теплопостачання.

Система очищення димових газів є необхідним компонентом термічної утилізації ТПВ. Для очищення використовуються різні типи процесів: рідинні («мокрі»), сухі та напівсухі. Вибір між ними залежить від місцевих обмежень і певних технологічних міркувань.

У «мокрому» процесі димові гази спочатку проходять через електрофільтр або рукавний фільтр, в яких видаляються тверді частинки (пил). Пил збирається в зольному бункері. Потім димові гази пропускаються через «мокрі» скрубери. Зазвичай у першому скрубері видаляються важкі метали та кислоти, у другому – діоксид сірки. Використання спеціальних пакувальних матеріалів в скруберах дозволяє видалити з димових газів діоксини.

«Сухий» процес заснований на інжекції в котел сухого вапняного порошку, який реагує з газами, що містять кислоти. Далі в рукавному фільтрі збираються пил, солі та інші продукти хімічних реакцій. Для ефективного уловлювання діоксинів і газоподібних важких металів, таких, як ртуть, також впорскується активоване вугілля. У деяких випадках на початку процесу використовуються електростатичні фільтри.

Ще одна можливість очищення – напівсухий процес, заснований на інжекції в абсорбер вапняного молока замість сухого порошку. На наступному етапі використовується тканинний фільтр для відділення в димових газах продуктів реакції, важких металів і пилу.

Крім очищення від забруднень в димових газах необхідно знижувати вміст оксидів азоту. Однією з можливостей є селективний каталітичний конвертер, встановлений за основним газоочисним обладнанням. Димові гази проходять через пористий матеріал і контактують заміачною водою в присутності каталізатора, наприклад, оксиду титану. При цьому оксиди азоту за допомогою каталізатора при низькій температурі відновлюються до азоту. Таке очищення називається селективним каталітичним. Інша можливість полягає в селективному некаталітичному відновленні. Для цього аміачна вода або газоподібний аміак впорскується в топку при високій температурі, що призводить до утворення азоту некаталітичним способом. Обидва підходи широко використовуються в Європі.

Таким чином можна розрізнити три рівня очистки димових газів – базовий, середній і «просунутий». Базовий включає очищення від пилу за допомогою електрофільтрів. Середній рівень може бути забезпечений за допомогою різних комбінацій мокрих і сухих скрубєрів. На цьому рівні забезпечується очищення від пилу, HCl, HF, SO₂ і важких металів (As, Cd, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni). «Просунута» газоочистка, що використовується в розвинених країнах, являє собою комплексну і кошовну систему, яка додатково забезпечує очищення від оксидів азоту NO_x, діоксинів і фуранів. Перехід від середнього до просунутого варіанту газоочистки підвищує вартість проекту приблизно на 15%⁸.

Важливим завданням при експлуатації ССЗ, поряд з очищенням газів, що відходять, є утилізація та захоронення токсичної золи, включно з летючої, і шлаку, що залишаються

після спалювання (до 30% від сухої маси ТПВ). Концентрація оксидів важких металів в них на 2...3 порядки вище, ніж у відходах, що спалюються.

Газифікація

Газифікація є варіантом термічної утилізації, при якій на першому етапі окислення палива супроводжується утворенням «синтез-газу», на другому етапі горючий синтез-газ спалюється у вторинному топочному пристрої для отримання тепла або в газових двигунах/турбінах для вироблення електроенергії.

Газифікація як промислова технологія зазвичай застосовується для переробки твердих, рідких і пастоподібних відходів. Зокрема, вона широко використовується в металургії для отримання горючих газів з бурого високозольного вугілля. Сутність газифікації полягає в обробленні вуглецевої речовини (вугілля) при 600..1100°C водяною парою, киснем (повітрям) або діоксином вуглецю. В результаті відповідно парової, кисневої, углекислотної або комбінованої конверсії вугілля утворюється рівноважна суміш новостворених (водень, оксид вуглецю) і початкових газів.

Генераторний газ, що отриманий при газифікації за допомогою повітряного або пароповітряного дуття, має низьку (3,5...6 МДж/м³) теплоту згоряння через значний вміст азоту. Зазвичай він використовується за місцем отримання в низькотемпературних технологічних процесах. Газ парокисневої конверсії більш калорійний (до 16 МДж/м³) і може застосовуватися як технологічне паливо для високотемпературних печей, а також транспортуватися на значні відстані від газогенераторної станції. Він також є цінної хімічної сировиною, в якій вміст H₂ і CO доходить до 70%.

Щодо ТПВ існує кілька варіантів технології, які розвинені принаймні в Японії, наприклад, процес прямого розплаву JFE (direct melting process), технологія Thermoselect, газифікація в вертикальній колоні попередньо пелетованого RDF, комбіноване спалювання та газифікація Energos Grate Combustion and Gasification Process (Норвегія, Німеччина, Великобританія), газифікація в киплячому шарі Ebara fluidized bed process (Іспанія), плазмова

газифікація, що зазвичай використовується для утилізації небезпечних відходів (Японія).

Причиною поширеності газифікації в Японії є особливості місцевого законодавства, наприклад, заборона транспортування ТПВ між муніципалітетами і неможливість у зв'язку з цим накопичити велику кількість ТПВ в одному місці, а також специфічні вимоги до якості золи.

Переваги газифікації в порівнянні зі спалюванням ТПВ на решітці полягають в плавленні (спіканні) золи, зменшенні кількості газів, що відходять, зниженні емісії NOx. Незважаючи на розвиток технології, в світі як і раніше відсутній достатній досвід реалізації великих проектів газифікації на змішаних відходах, існують складності з газифікацією вологої сировини.

Піроліз

Піроліз як спосіб нагрівання органічних речовин до відносно високих температур без доступу повітря супроводжується розкладанням високомолекулярних сполук на низькомолекулярні, рідку і газоподібну фракції, а також коксуванням і

смолоутворенням.

Його використовують при сухій перегонці деревних відходів, переробки гумотехнічних виробів, нафтопродуктів та ін.

Залежно від температури процесу розрізняють три види піролізу: низькотемпературний (небільш ніж 450...550 °C); середньотемпературний (до 800 °C) і високотемпературний або коксування (900...1050°C). З підвищенням температури знижується вихід рідких і збільшується вихід газоподібних продуктів. Тому низькотемпературний піроліз зазвичай використовують для отримання первинної смоли – цінного джерела рідкого палива і різних хімічних продуктів. Основне завдання високотемпературного піролізу – отримання високоякісного пального газу. Твердий залишок

(піролізний кокс) використовують як заміник природних і синтетичних вуглецевих матеріалів, сорбенту при очищенні питних істічних вод.

Для змішаних ТПВ досвід впровадження піролізу недостатній, вважається, що технологія піролізу має експериментальний характер. Абсолютна більшість проектів термічної утилізації змішаних ТПВ використовує стандартну технологію спалювання на рухомий решітці. У таблиці 4 показано поширеність різних видів термічної утилізації ТПВ в 22 країнах світу (для підприємств, побудованих після 2000 року). Легко бачити, що основнимиметодами термічної утилізації ТПВ залишаються спалювання на рухомих решітках і, в якійсь мірі, в киплячому шарі.

Технологія	Сировина	Енергетичний продукт	Сумарна потужність, млн. т/рік	Локація
Спалювання на рухомий решітці	Змішані ТПВ	Пар високого тиску	< 168	Азія, Європа, Америка
Обертові печі	Змішані ТПВ	Пар високого тиску	> 2	Японія, США, ЕС
SEMASS (Energy Answers Process)	Подрібнені ТПВ	Пар високого тиску	> 1	США
Спалювання RDF на решітці	Подрібнені та сортовані ТПВ	Пар високого тиску	> 5	США, ЕС
Циркулюючий киплячий шар	Подрібнені ТПВ, RDF	Пар високого тиску	> 11	Китай, Європа
Киплячий шар (Ebara process)	Подрібнені ТПВ, RDF	Пар високого тиску	> 0.8	Японія, Португалія
Киплячий шар (bubbling)	Подрібнені ТПВ, RDF	Пар високого тиску	> 0.2	США
Газіфікація (JFE, Nippon Steel)	RDF	Пар високого тиску	> 0.9	Японія
Газіфікація Thermosteel	Змішані ТПВ	Синтез-газ (CO, H ₂ , CO ₂)	> 0.8	Японія
Плазмона газифікація	Подрібнені та сортовані ТПВ	Синтез-газ (CO, H ₂ , CO ₂)	> 0.2	Канада, Японія, Франція
МБО	Подрібнені і біологічно стабілізовані	RDF – цементні заводи і вугільні електростанції	> 5	ЄС
Всього			< 195	

Таблиця 4 – Поширеність різних термічних технологій в світі

2.6 Ситуація з термічним обробленням ТПВ в Україні

У 80-е і 90-е роки в Україні було побудовано чотири ССЗ – в Києві, Дніпропетровську, Харкові та Севастополі. До недавнього часу працювали два заводи – у Києві та Дніпропетровську. Єдиний працюючий наразі в Україні ССЗ «Енергія» знаходиться в Києві. Будівництво заводу було розпочато в 1983 і завершено в 1987 році. Потужності підприємства дозволяють спалювати близько 20% твердих побутових відходів, що утворюються в Києві (240 тис. т/рік).

У 2013 році була розроблена та почала виконуватися програма модернізації підприємства. Обсяг інвестицій першого етапу програми склав 28 млн. грн. На другому етапі, в 2015...2018 роках ПАТ «Київенерго» планувало інвестувати в розвиток підприємства 210 млн грн. Перший етап програми був спрямований на скорочення споживання газу. Одним із заходів була реалізація проекту теплопостачання. В результаті житловий масив Позняки отримав можливість користуватися опаленням і гарячою водою після спалювання ТПВ. Використання тепла становить 150 тис. Гкал, цього достатньо забезпечення взимку 200 будинків (близько 80 тис. квартир) і 300 будинків гарячою водою влітку. Економія газу на виробництво теплової енергії протягом 2015 року склала близько 30 млн м³.

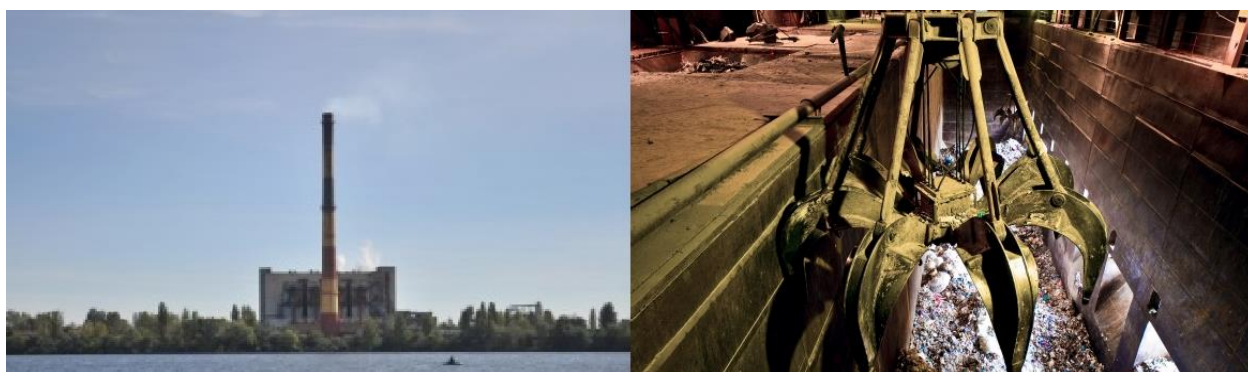


Рис. 12 – Зовнішній вигляд і завантажувальний кран ССЗ «Енергія»

На другому етапі модернізації ПАТ «Київенерго» планував капремонти всіх котлів ССЗ і встановлених на них електрофільтрів. В результаті планувалося збільшити кількість спалювання ТПВ на 20% (з 235 до 280 тис. т/рік), а

виробництво теплової енергії на 60% (до 360 тис. Гкал/рік). Наступним етапом модернізації повинен був стати запуск турбіни потужністю до 4 МВт_е. Основним компонентом очистки димових газів на заводі є електрофільтри. Однак до 2022 року планується запуск системи хімічної очистки димових газів з інжекцією вапняного розчину і активованого вугілля.

Протягом останніх десятиліть плани будівництва ССЗ в містах України анонсувалися неодноразово, однак ці плани не були реалізовані.

Потенціал виробництва енергії в процесі термічної утилізації ТПВ в Україні складає (у разі використання 25% ТПВ):

Виробництво е/е: $10 \text{ млн т/рік} \times 8 \text{ ГДж/т} \times 0,22 \times 0,25 = 4,4 \text{ млн ГДж} = 1200 \text{ ГВт}\cdot\text{год}$

Виробництво тепла: $10 \text{ млн т/рік} \times 8 \text{ ГДж/т} \times 0,55 \times 0,25 = 11,0 \text{ млн ГДж} = 3000 \text{ ГВт}\cdot\text{год}$

Потенціал заміщення природного газу в процесі термічної утилізації ТПВ в Україні складає (в разі використання 25% ТПВ) понад 0,5 млрд м³.

2.7 Морфологія відходів, вплив на вибір типу/технологій оброблення

Спосіб переробки (наприклад, можливість і доцільність спалювання) відходів визначається морфологічним складом відходів, інтегральним показником якого можуть слугувати величина теплотворної здатності і зольність. Зрозуміло, що чим вище теплотворна здатність, тим ефективніше технології термічної утилізації, які передбачають корисне використання енергії (тепло і/або електроенергія, промисловий пар). Залежність теплотворної здатності від вологості для змішаних ТПВ, а також для деяких найбільш характерних компонентів ТПВ, показана на рис. 13

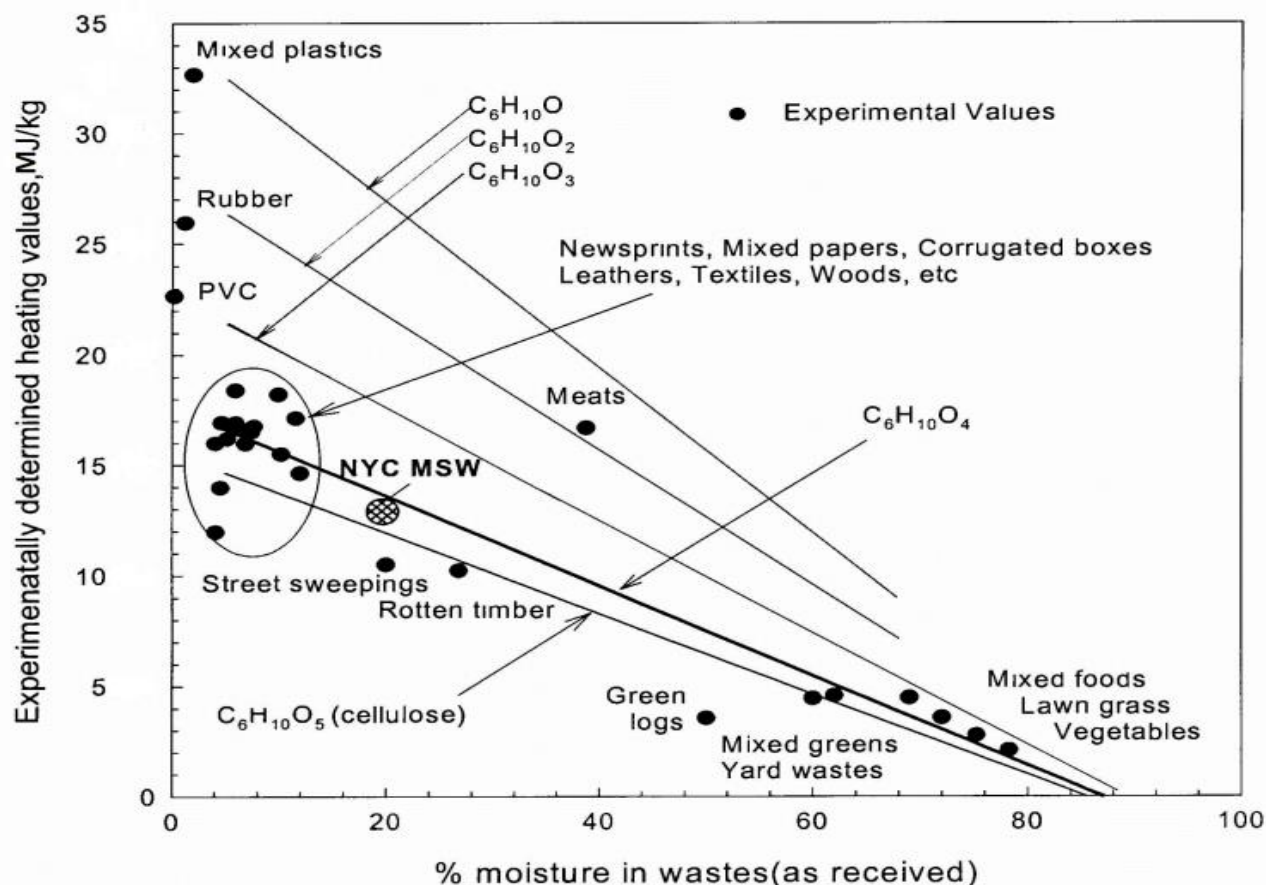


Рис. 13 – Залежність теплотворної здатності від вологості різних видів палива
Джерело: WTE Guidebook, EEC / IDB, July 2013

Можна побачити, що теплотворна здатність ТПВ може змінюватися в діапазоні від 3...5 МДж/кг (переважно вміст харчових відходів) до 15..18 МДж/кг (переважно вміст паперу, картону, текстилю, деревини). Теплотворна здатність середньостатистичних ТПВ може перебувати в діапазоні 8...12 МДж/кг при вологості 30...50%.

Вважається, що граничним значенням теплотворної здатності для комерційної термічної утилізації є величина 6 МДж/кг. Зазначимо, що термічна утилізація часто застосовується для обов'язкового знезараження небезпечних відходів (наприклад, медичних). В цьому випадку теплотворна здатність відходів не впливає на прийняття рішення щодо використання технології.

Теплотворна здатність 10 МДж/кг відповідає 2.8 МВт·год теплової енергії

на тонну відходів. Найефективніші ССЗ (наприклад, Ramboll, Denmark) отримують з тонни ТПВ 0.67 МВт·год електричної та до 2.0 МВт·год теплової енергії. Наведені на малюнку 13 залежності підтверджують дані 97 європейських ССЗ, наведені у вигляді гістограми на рис. 14¹⁶. Можна побачити, що на європейських заводах спалюються ТПВ в діапазоні 7...14 МДж/кг при середньому значенні 10 МДж/кг. Перевищення величини 14 МДж/кг, що присутнє на малюнку, характерно для суміші ТПВ з промисловими відходами.

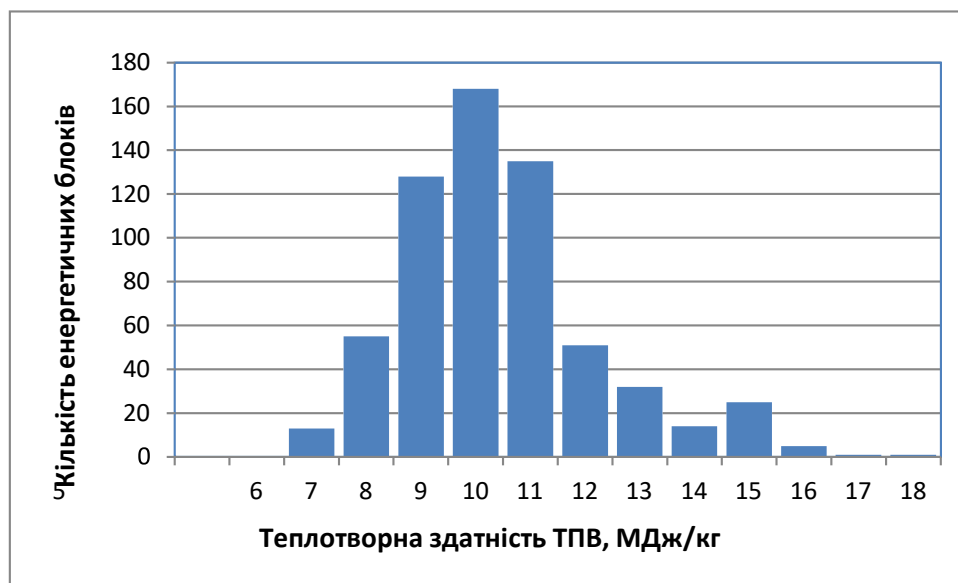


Рис. 14 – Теплотворна здатність ТПВ, що використовуються на 97 європейських ССЗ

На рис. 15 показано процентний вміст (по масі) окремих фракцій ТПВ у місті Києві за даними Державного Підприємства «Науково дослідного та конструкторсько- технологічного інституту міського господарства». Видно, що основну частину ТПВ складають харчові відходи, скло, різні полімери, папір і картон.

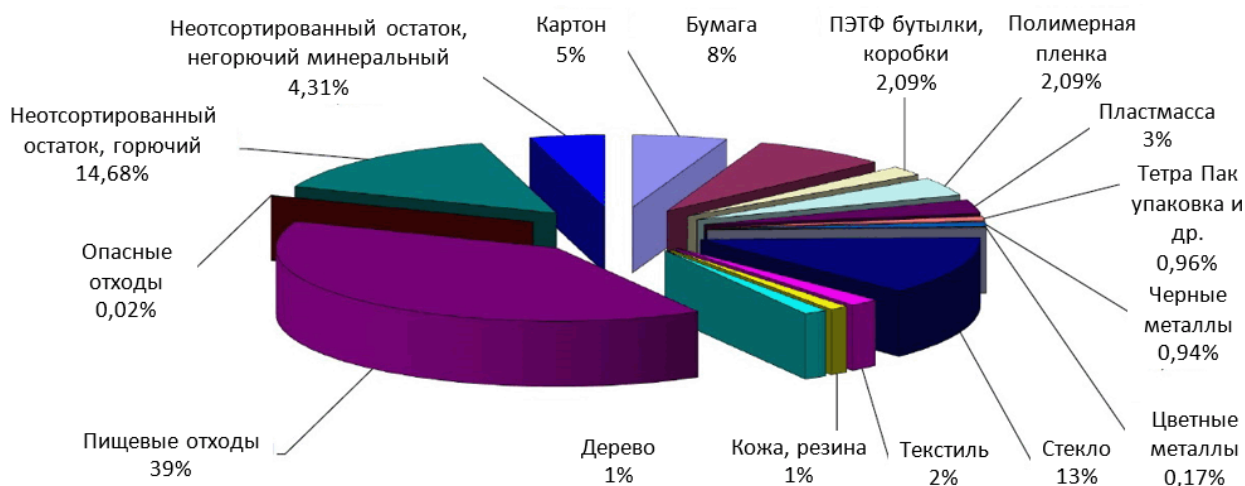


Рис. 15 – Процентний вміст (по масі) окремих фракцій в змішаних ТПВ, Київ

Морфологічний склад ТПВ і відповідна (розрахункова) величина теплотворної здатності ТПВ наведена в таблиці 5 для п'яти міст України. Можна побачити, що склад ТПВ, зокрема, внесок окремих компонентів може змінюватися в широкому діапазоні (остання колонка). Але незважаючи на розповсюджену думку про те, що ТПВ в Україні суттєво відрізняється за складом від європейських аналогів, в цілому середня теплотворна здатність ТПВ України відповідає наведеним вище даним для ЄС.

Теплотворна здатність ТПВ у конкретному місці може змінюватися протягом року в залежності від погодних умов і сезонних особливостей споживання. Моніторинг зміни складу ТПВ для одного з полігонів України (м Бориспіль) протягом майже двох років показав, що теплотворна здатність ТПВ може змінюватись від 6,5 до 12,0 МДж/кг.

Компоненті	1	2	3	4	5	Середн	Діапазон
Харчові відходи	30,0	35,5	43,6	45,6	29,4	36,8	30 – 45
Папір і картон	5,3	5,9	7,6	8,5	15,6	8,6	5 – 15
Полімери	16,0	8,7	12,3	10,7	16,6	12,9	8 – 17
Скло	13,6	10,9	11,3	9,1	15,2	12,0	9 – 14
Чорні метали	1,0	0,3	0,6	1,2	2,0	1,0	0 – 2
Кольорові метали	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0 – 0,5
Текстиль	2,0	3,8	2,2	2,2	5,7	3,2	2 – 5
Деревина	1,6	2,5	0,1	1,4	2,0	1,5	0,1 – 2
Небезпечні відходи	0,3	0,1	0,3	0,3	0,5	0,3	0,1 – 0,5
Кістки, шкіра, гума	0,5	1,6	0,4	0,9	0,8	0,8	0,5 – 1,5
Комбіновані відходи	0,5	0,9	0,4	1,0	–	0,7	0,4 – 1
Залишок, в т.ч.	29,1	29,4	20,9	18,7	11,9	22,0	12 – 30
Дрібні будівельні відходи	0,3	2,8	3,4	3,2	3,2	2,6	0,3 – 3,5
Вуличний змій, листя	6,1	0,5	0,3	0,0	3,4	2,1	0 – 6
Гігієнічні засоби	3,1	3,7	2,6	2,8	3,6	3,2	2,3 – 3,5
Інше	19,6	22,4	14,7	12,7	1,8	14,3	2 – 22
Теплотворна здатність, Дж/кг	9,4	7,5	8,3	8,4	11,8	9,1	7,5 – 11,8

Таблиця 5 – Морфологічний склад ТПВ для п'яти міст України

При плануванні проекту необхідно враховувати, що склад ТПВ може змінюватися протягом тривалих періодів часу. В якості ілюстрації на рисунку 16 наведено дані щодо вмісту полімерів для міст України та РФ за 2000...2012 роки. Легко помітити тенденцію до збільшення кількості пластику.

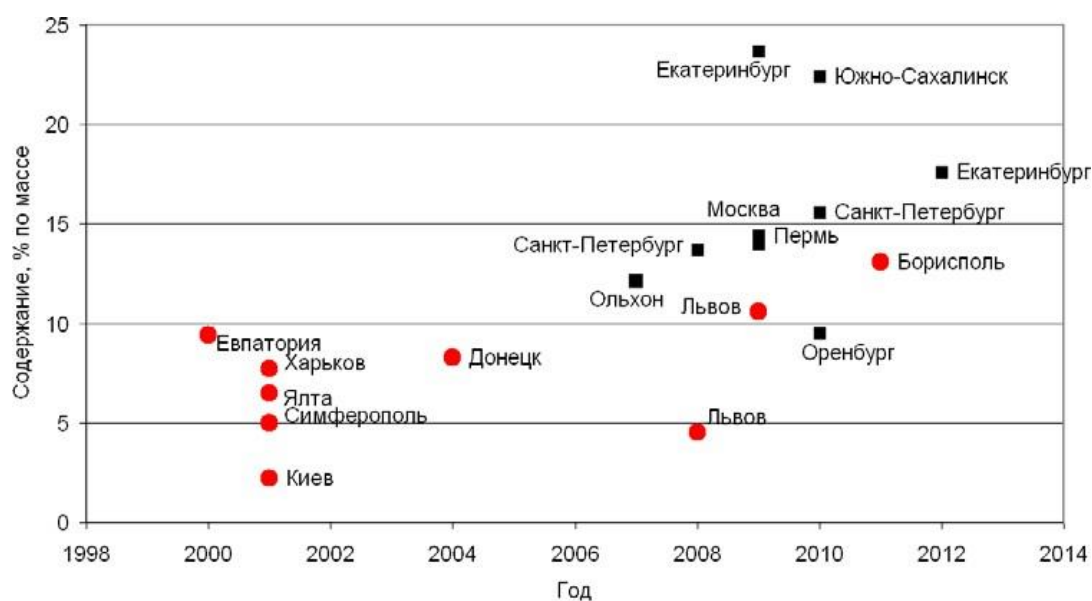


Рис. 16 – Зміна вмісту полімерів в ТПВ (Україна та РФ)

Спроба відстежити зміну морфології ТПВ в Україні з початку двадцятого століття була зроблена в роботі, і в подальшому, була використана в Національному кадастрі викидів парникових газів за 1990 –2016 роки для компонентів ТПВ, що біологічно розкладаються та вносять вклад в утворення біогазу на звалищах і полігонах (рис. 17).



Рис. 17 – Зміна змісту фракцій ТПВ, що біологічно розкладаються в Україні (I – папір і картон, II – текстиль, III – харчові відходи, IV – деревина, V – садово –паркові відходи, VI – засоби гігієни, VII – шкіра і гума, VIII – неорганічні відходи)

Оскільки термічне оброблення відходів має нижчий пріоритет в ієрархії поводження з ТПВв порівнянні з повторним використанням і рециклінгом, при виборі технології обробленнянеобхідно враховувати склад ТПВ після сортування, якщо таке планується.

Сортування може здійснюватися різними способами, а саме:

- Безпосередньо в місці утворення (ініціатива населення);
- «Неформальним сектором економіки» в міських контейнерах до транспортування;
- На спеціалізованих сортувальних лініях (ручних або автоматичних);
- В якості першого етапу реалізації технології МБО.

На рисунку 18 в якості ілюстрації показана ефективність ручного та автоматичного сортування змішаних відходів за даними роботи. Відзначимо, що наведені цифри є орієнтиром. Для кожного конкретного випадку реалізації проекту та підбору обладнання з урахуванням реальної морфології ТПВ відповідні показники можуть відрізнятися. На рисунку показано, що відходи сортування (хвости) відправляються на захоронення. Альтернативою може бути термічна утилізація з попередньою біологічною стабілізацією або без неї.

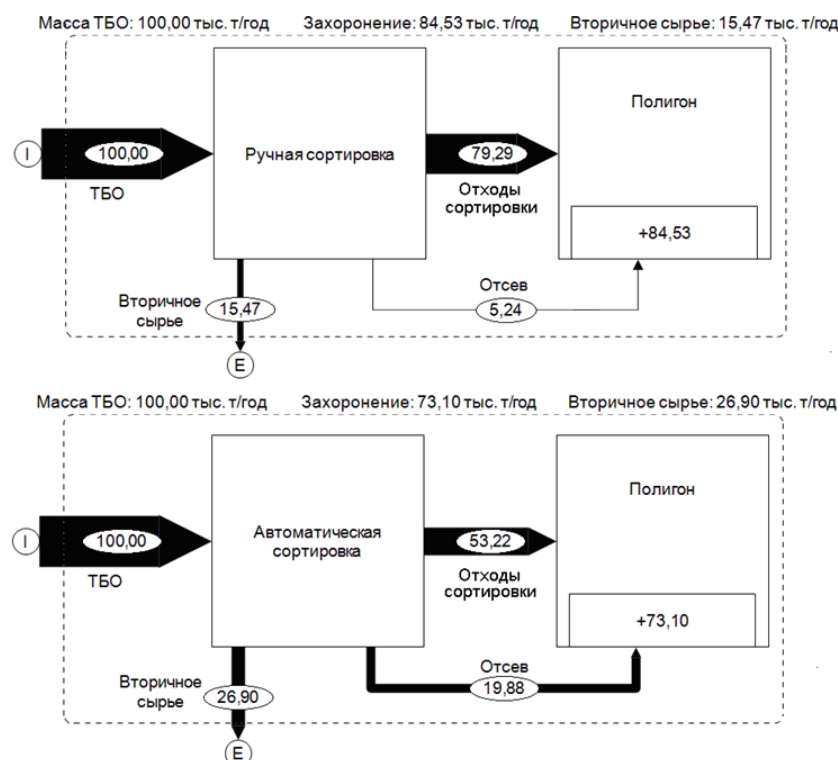


Рис. 18 – Матеріальні потоки для ручного та автоматичного (оптико-механічного) сортування

Основні компоненти, що вилучаються з потоку ТПВ у відсотках від

початкової кількості компонента:

- папір і картон – 17...46%
- полімери – 27...58%
- скло – 38%
- чорні метали – 39...73%
- кольорові метали – 52...80%.

При цьому менше значення характерне для ручного сортування, більше – для автоматичного оптико-механічного сортування.

Процес попереднього сортування може істотно впливати на теплотворну здатність. Оскільки з потоку ТПВ частково вилучаються найбільш калорійні полімери, папір і картон, теплотворна здатність може знизитися з 9.0 до 8.4 МДж/кг для ручного сортування і до 6.8 МДж/кг у випадку оптико-механічного сортування.

Навпаки, сушка та компостування залишку після сортування, наприклад, у процесі механіко-біологічного оброблення, може збільшити теплотворну здатність потенційного палива до 10...15 МДж/кг.

РОЗДІЛ 3. Фінансові показники різних варіантів оброблення ТПВ

3.1 Потенційний дохід на тонну ТПВ

Цікавим є оцінка та порівняння між собою потенційного доходу, що можна отримати при впровадженні роздільного збору та сортування, а також біологічних і термічних методів оброблення / утилізації ТПВ з отриманням енергії.

3.1.1 Роздільне збирання та сортування

Вище вже зазначалося, що наразі в країні працює кілька десятків сортувальних ліній, ефективність відбору вторинних матеріалів на яких не перевищує 15...20%. Сортування змішаних відходів рідко буває прибутковим заходом через низьку якість сировини і, як наслідок, низьку ефективність сортування. Підвищити ефективність сортування можна за допомогою роздільного збирання відходів.

Потенціальний дохід від реалізації вторинної сировини – полімерів (пластика), макулатури (паперу і картону), склобою (скла) на тонну ТПВ можна оцінити використовуючи зміст в ТПВ відповідної фракції відходів, ціни реалізації вторинної сировини на ринку і гіпотези щодо досяжної глибини переробки. В якості останнього параметра доцільно прийняти цілі, сформульовані в Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. В якості вартості реалізації прийняті середні ціни імпорту та експорту вторинних полімерів, макулатури і склобою за період 2008...2018 років не європейському ринку. Результати оцінки наведені в таблиці 6.

Можна побачити, що дохід від реалізації вторинної сировини в разі досягнення глибини переробки 60...75% може скласти від 34 до 63 євро на тонну відходів.

Вид сировини	Частка в ТПВ, %	Кількість, тис. т/рік	Вартість, Євро/т	Глибина переробки*, %	Потенційний дохід, Євро/т ТБО
Пластик	10 –15	1000 –1500	250	60	15,0 – 22,5
Папір і картон	5 –15	500 –1500	150	75	5,6 – 16,9
Скло	9 –14	900 –1400	50	75	3,4 – 5,3
ВСЬОГО		2400 – 4400			24,0 – 44,6

Таблиця 6 – Потенційний дохід від реалізацій вторинної сировини

* Мета для України згідно з Національною стратегією з управління відходами в Україні до 2030 року

3.1.2 Виробництво та утилізація біогазу (МБО)

Біогазова продуктивність однієї тонни українських ТПВ становить 60...75 м³/т в перерахунку на метан (CH₄). Як консервативна оцінка може бути прийнята величина 60 м³ CH₄/т. Нижня теплотворна здатність метану становить приблизно 10 кВт·год/м³. Тому загальний потенціал вироблення електричної енергії на тонну змішаних ТПВ при електричному к.к.д. 40% становить:

$$60 \text{ (м}^3\text{/т)} \times 10 \text{ (кВт·год/м}^3\text{)} \times 0,4 = 240 \text{ кВт·год/т}$$

При величині зеленого тарифу 0,1239 євро/кВт·год потенційний дохід від продажу електроенергії складе 29,7 Євро/т на тонну змішаних ТПВ.

Утилізація тепла з ефективністю 45% з використанням тарифу 1200 грн/Гкал (37,5 євро/Гкал) може принести ще 0,240 МВт·год х 0,45 / 4 х 0,86 х 37,5 = 8,7 Євро на тонну змішаних ТПВ.

Ще одним джерелом доходу для технологій МБО може бути виробництво компосту зі зброженої маси після отримання біогазу або взагалі без біогазової компоненти в проекті. Однак для виробництва товарного компосту з ТПВ необхідно принципове поліпшення системи роздільного збору відходів.

Потенційним джерелом доходу для технологій МБО може бути виробництво твердого палива з ТПВ (SRF) для подальшого застосування в цементній промисловості або спеціалізованих ТЕЦ/котельнях, що

постачають тепло в комунальну систему ЦТ/ГВП, а також, якщо це ТЕЦ, електроенергію в мережі або на потреби комунального господарства.

В Україні існує інтерес до реалізації демонстраційних проектів з утилізації палива з ТПВ в цементній промисловості. Складність такого підходу зумовлена відсутністю в Україні відповідного законодавства та прецеденту і – як наслідок, наявною зараз невизначеністю умов передачі/продажу палива цементним заводам.

Використання RDF/SRF як палива на енергетичних підприємствах або цементних заводах пов'язано з необхідністю встановлення додаткового обладнання для очищення та контролю якості димових газів. Тому такі підприємства можуть як купувати паливо, так і брати плату за утилізацію RDF/SRF, вважаючи його відходами, а не паливом. Тобто RDF/SRF може мати як позитивну, так і негативну ринкову вартість.

3.1.3 Термічне оброблення ТПВ

У разі термічної утилізації ТПВ з теплотворною здатністю 8 МДж/кг на тонну змішаних ТПВ можна орієнтовно отримати 0,5 МВт·год електричної і до 1,2 Гкал теплової енергії.

При оптовому тарифі на електроенергію 2 грн/кВт·год і тарифі на тепло 1200 грн/Гкал дохід від продажу електроенергії може скласти 980 грн/т (30,6 євро/т) і від продажу тепла 1440 грн/т (45 Євро/т).

Потенційний дохід на тонну ТПВ для різних способів утилізації показаний на рис. 19. Мінімальні та максимальні значення у разі сортування відповідають мінімальному та максимальному вмісту відповідної фракції у вихідних ТПВ, у випадку виробництва та утилізації біогазу – виходу 60 та 75 кубічних метрів біометану на тонну ТПВ, у разі термічної утилізації нижньої теплотворної здатності ТПВ, що дорівнює відповідно 8 та 10 МДж/кг.

Легко побачити, що з точки зору формування доходу від реалізації

матеріальних або енергетичних ресурсів найбільш цікавими є реалізація на вторинному ринку полімерів, виробництво електроенергії з біогазу з подальшим продажем за зеленим тарифом, а також реалізація електричної та/або теплової енергії, отриманих в процесі термічної утилізації ТПВ. Найбільший дохід може бути сформований за допомогою термічної утилізації, проте реалізація цих технологій пов'язана з найбільшими капітальними (CAPEX) та експлуатаційними витратами (OPEX)

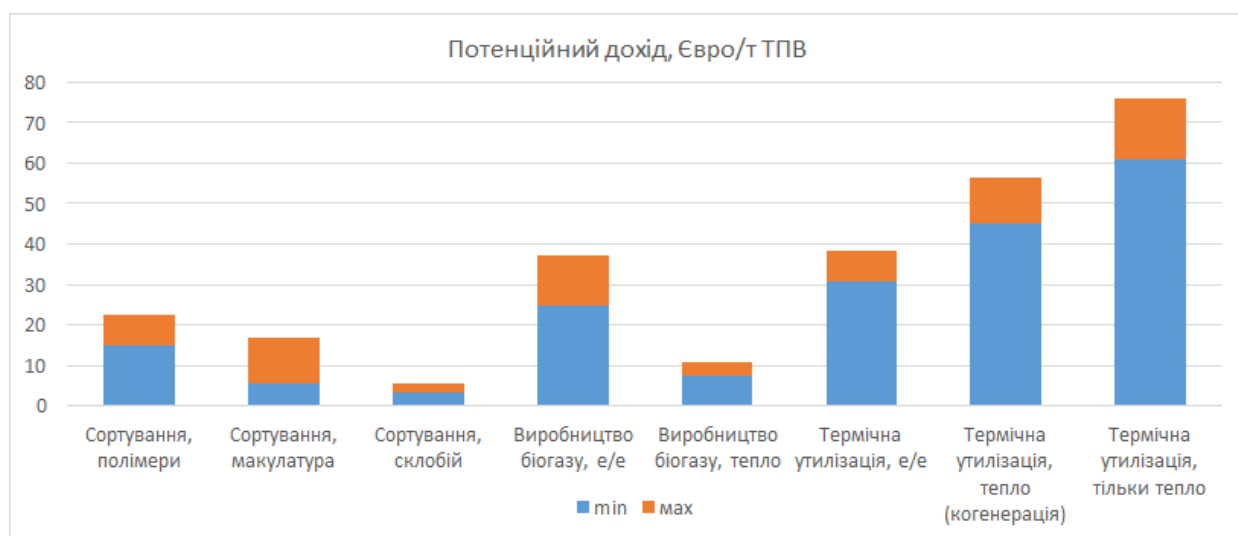


Рис. 19 – Потенційний дохід на тонну ТПВ

3.2 Капітальні та експлуатаційні витрати

3.2.1 Збирання біогазу на полігонах і звалищах ТПВ

Вхідними даними для оцінки необхідних інвестицій для будівництва системи збору біогазу із подальшим виробництвом електричної та/або теплової енергії за допомогою газових двигунів можуть слугувати: оцінка газоутворення і як наслідок, потенціал встановленої електричної потужності, а також площа полігону (площа збирання біогазу в випадку часткового використання полігону).

Капітальні витрати на будівництво системи збору та утилізації біогазу на звалищах і полігонах ТПВ залежать від фізичних умов на полігоні, що формуються в процесі його експлуатації. Питома вартість проекту, який передбачає виробництво електроенергії з біогазу, зазвичай становить від 1500 до 2500 євро/кВт встановленої електричної потужності. При цьому нижня величина характерна більше для керованих полігонів, верхня для стихійних звалищ. Для цього існують – як мінімум – дві причини. На стихійних звалищах вдається зібрати менше біогазу на одиницю накопичених відходів, крім того, будівництво системи збору біогазу на звалищах пов'язано з додатковими витратами через складну геометрію об'єкта захоронення та необхідністю формування верхньої поверхні звалища, що вкриває відходи.

Інвестор повинен усвідомлювати, що при відносно невеликих капітальних витратах проекти на стихійних звалищах пов'язані з підвищеним ризиком через невизначеність вихідних умов і неможливість надійно передбачити кількість біогазу. Період окупності проекту буде залежати від кількості біогазу, що утворюється, й ефективності його збору. При існуючому тарифі на продаж електроенергії і досягнутої ефективності збору біогазу 50% проекти можуть окупатися за 2...3 роки, при можливій ефективності збору 20% – за 6...8 років і більше.

3.2.2 Механіко-біологічне оброблення ТПВ

Капітальні витрати на реалізацію технологій МБО залежать від великої кількості факторів і з цієї причини не можуть бути оцінені однозначно. Питомі капітальні витрати будуть відрізнятися в залежності від:

1. обраних пріоритетів переробки, серед яких може бути виробництво RDF/SRF, відбір ресурсоцінних компонентів, виробництво біогазу з подальшим енергетичним використанням, виробництво компосту або компостоподібного продукту);
2. морфології ТПВ на вході (ТПВ після роздільного збору або змішані ТПВ);
3. наявності і типу сортування (ручна, автоматична);
4. потужності переробки (ефект масштабу).

Оскільки зробити надійну оцінку капітальних і експлуатаційних витрат без прив'язки до умов конкретного проекту неможливо, наведені нижче оцінки є індикативними, тому їх слід розглядати як орієнтир.

Вартість заводу МБО в залежності від проектної потужності показана на рис. 20 за даними двох авторів, що були опубліковані в 2000 і 2006 роках. Легко бачити, що в діапазоні потужності переробки 50...150 тис. тонн на рік вартість заводу МБО може становити від 10 до 25 млн доларів США. При цьому витрати на реалізацію проектів однакової потужності можуть відрізнятися в два і більше разів, що, мабуть, пов'язано з різницею технологічних рішень.

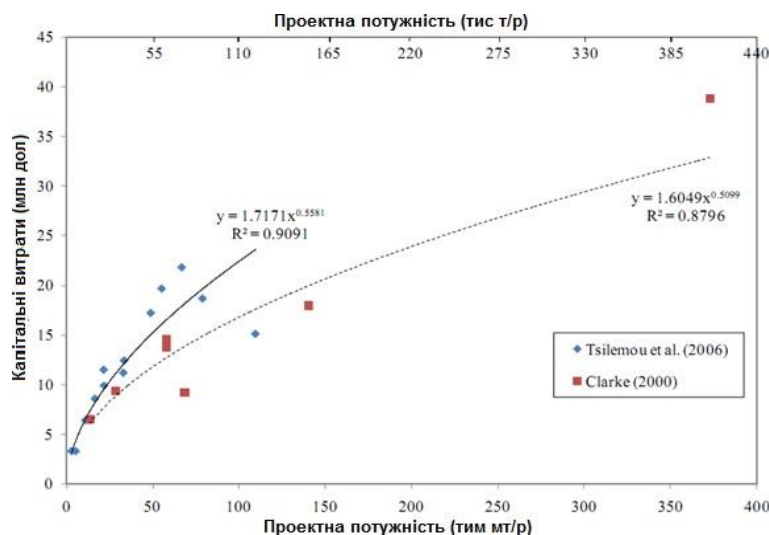


Рис. 20 – Орієнтовна вартість заводу МБО

За даними данської компанії Ramboll вартість проектів МБО потужністю від 85 до 200 тис. т/рік, що були реалізовані в Німеччині та Великобританії з 2001 по 2012 роки, перебувала в діапазоні від 20 до 75 млн євро (в одному випадку 156 млн євро), при цьому всередньому капітальні витрати складали близько 250 євро на тонну ТПВ, що перероблені протягом року.

Проведений авторами аналіз проектів МБО, які були авансовані у світі за період 2017 –2018 років, показав схожу картину. Типові питомі витрати на реалізацію проектів у діапазоні потужності 100...200 тис. т/рік становлять від 150 до 400 Євро/т ТПВ в таких країнах як Франція, Іспанія, США, Австралія. Існують повідомлення про плани реалізації подібних проектів у країнах, що розвиваються, наприклад, Індії та Непалі. У цьому випадку заплановані витрати істотно нижче та знаходяться в діапазоні від 50 до 100 Євро/т ТПВ. Проте слід пам'ятати, що в даному випадку мова йде про запланові витрати на нереалізовані проекти.

Цікавим є порівняти витрати, що анонсуються, для проектів в Україні. Відповідні дані наведені в таблиці 7 для чотирьох майбутніх українських проектів у Львові, Полтаві, Хмельницькому та Житомирі. Незважаючи на те, що наведені дані мають оціночний характер, оскільки всі розглянуті проекти ще не реалізовані, можна побачити, що запланована вартість проектів, що розвиваються в Україні, знаходиться в діапазоні від 120 до 250 Євро/т ТПВ в рік.

Проект	Потужність, тис. т/рік	Кап. витрати, млн Євро	Питомі витрати, Євро/(т/рік)	Статус проекту (Станом на січень 2019)
Львів	240	35*	146	Вибір постачальника технології, тендерні процедури
Полтавський субрегіон	130	18 – 21**	140 – 160	Стадія планування, розробка концепції
Хмельницький	80	20***	250	Оцінка технічних рішень, вибір постачальника технології
Житомир	82	10****	122	Проект анонсований в середині 2018 року

Таблиця 7 – Анонсовані проекти МБО в Україні

* – кредит ЄБРР (включає рекультивацію закритого полігону ТПВ)

** – оцінка НТЦ Біомаса (нижня межа – виробництво RDF/SRF, верхня межа – виробництво електроенергії з біогазу)

*** – оцінка GIZ (варіант виробництва електроенергії з біогазу)

**** – виробництво RDF/SRF і компосту з органічної фракції ТПВ

Експлуатаційні витрати (OPEX) на технології МБО пов'язані в першу чергу зі споживанням електроенергії, витратами на ремонт і технічне обслуговування, оплатою персоналу, а також платою за захоронення залишків після переробки (так званих хвостів). Величина щорічних експлуатаційних витрат для МБО зазвичай становить від 8 до 12% капітальних витрат.

Кінцева собівартість переробки тонни ТПВ визначається капітальними та експлуатаційними витратами, а також умовами фінансування проекту. Якщо питомі капітальні витрати на проект складають 150 Євро/т ТПВ, що переробляються за рік, собівартість переробки ТПВ складає 30...40 Євро/т в залежності від умов і частки залученого банківського капіталу. Тут під собівартістю ми розуміємо умовний дохід на тонну ТПВ, необхідний для того, щоб чиста приведена вартість проекту (NPV) тривалістю 20 років дорівнювала нулю.

У разі більш дорогого проекту вартістю 300 Євро/т собівартість переробки ТПВ може скласти 60...80 Євро/т, а у випадку залучення українських комерційних банків на існуючих сьогодні умовах кредитування до 100 Євро/т. Якщо в першому варіанті (CAPEX= 150 Євро/т) існує потенційна можливість покриття основних витрат на проект за рахунок продажу електроенергії з

біогазу за зеленим тарифом, а в певних випадках і продажу тепла, то в іншому варіанті (CAPEX= 300 євро/т) виникає необхідність істотного підвищення тарифу на переробку ТПВ. У цих міркуваннях не враховувалися гіпотетичні можливості залучення цільового безповоротного фінансування та використання бюджетних коштів, наприклад, засобів екологічних фондів або фондів розвитку.

3.2.3 Термічне оброблення ТПВ

Капітальні витрати на будівництво сміттєспалювального заводу залежать від технологічного рішення, вихідних властивостей ТПВ, виду виробленої енергії, глибини очищення димових газів. Залежність питомих інвестицій від потужності сміттєспалювального заводу показана на рисунку 21 за даними Світового Банку. Автори вказують, що криві були актуальні в середині 1998 року для ССЗ із середнім рівнем газової очистки, що виробляють електроенергію, призначених для спалювання відходів з нижньої теплотворною здатністю 6...9 МДж/кг.

Незважаючи на те, що дані дещо застаріли, на рисунку наочно представлені залежність капітальних витрат від потужності заводу, а також поділ капітальних витрат на обладнання та будівельні роботи. Можна побачити, що загальна вартість заводу термічного оброблення змішаних відходів у 2000 році становила 60 млн USD при потужності заводу 100 тис. т/рік і 200 млн USD при потужності 500 тис. т/рік. Таким чином, питомі інвестиції становили 600 USD/т у першому випадку та 400 USD/т для більш масштабних проектів потужністю 500 тис. т/рік.

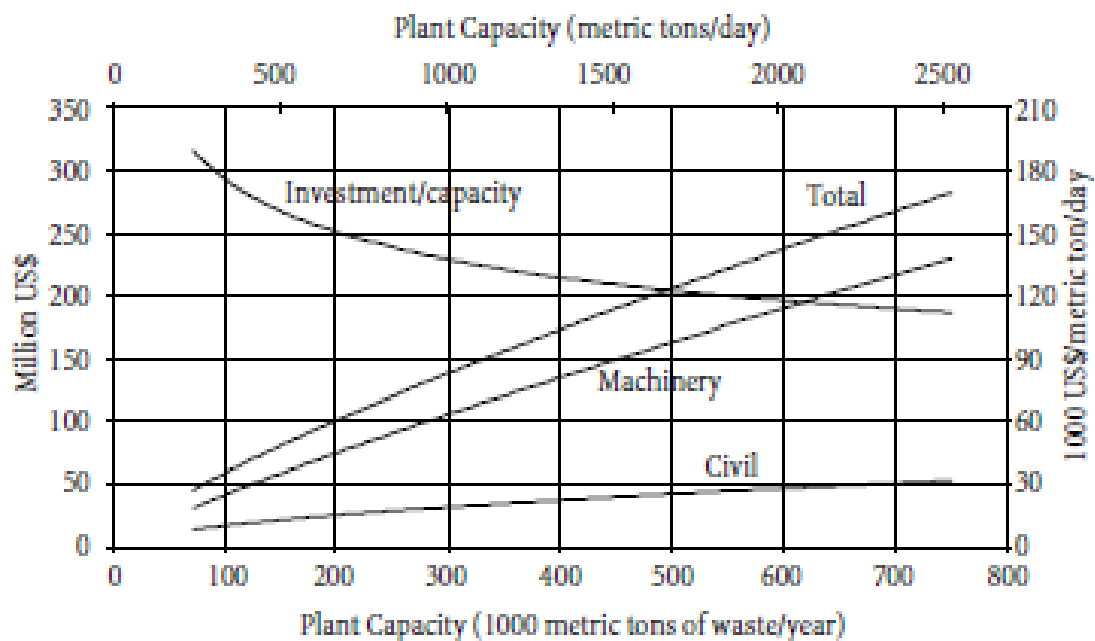


Рис. 21 – Економіка ССЗ (CAPEX)

Подібну картину можна побачити і для більш сучасних проектів. На рисунку 22 зібрані дані стосовно капітальних витрат для проектів ССЗ, більша частина з яких була реалізована з 2000 по 2005 роки в таких країнах, як Данія, Норвегія, Німеччина і Китай.

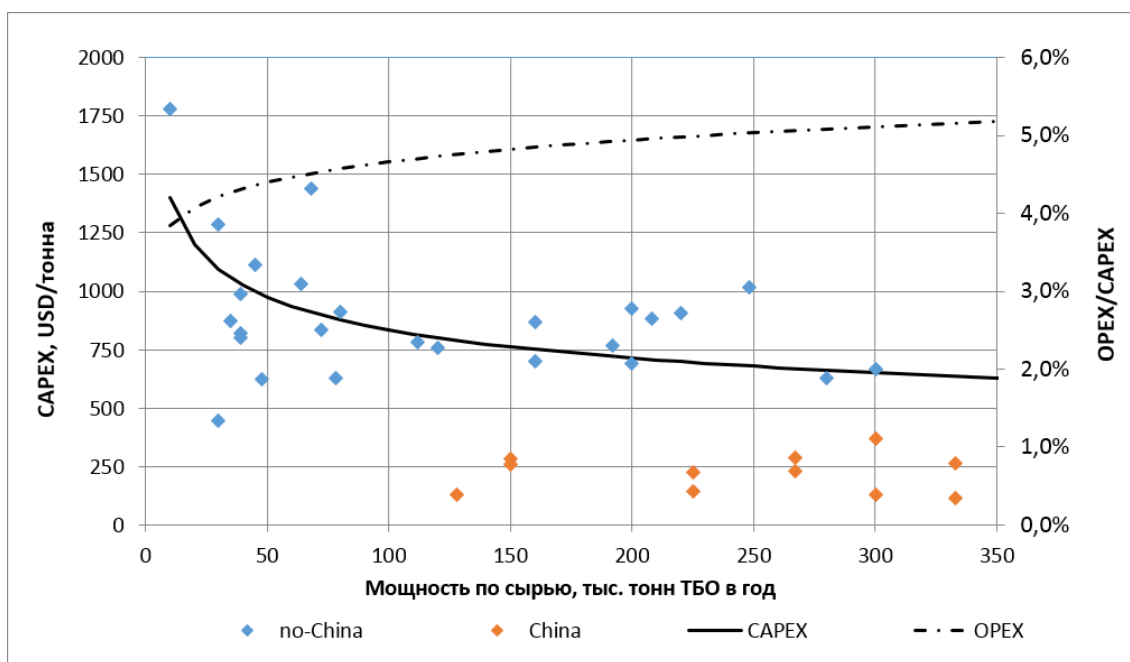


Рис. 22 – Питомі витрати реалізованих проектів ССЗ
Джерело: WTE Guidebook, EEC/IDB, July 2013

На малюнку різними кольорами виділені проекти, що були реалізовані в Китаї і за його межами. Легко побачити, що питомі вартості китайських проектів значно нижчі за європейські. Витрати на підприємства, побудовані за межами Китаю, склали в середньому 800 USD/т, при цьому розкид вартостей був значним, особливо для відносно невеликих проектів (<100 тис. т/рік). Для невеликих європейських підприємств питома вартість перевищує 1000 USD/т і може доходити до 1800 USD/т. Витрати китайських проектів знаходяться в межах 150...400 USD/т при середньому значенні 200 USD/т і не демонструють ефект масштабу в діапазоні потужності переробки 100...350 тис. т/рік.

На цьому ж рисунку показані капітальні та експлуатаційні витрати, порашовані у вигляді функцій $CCCCPPPPPP = 2.3507 \times PP^{0,7753}$ та $00PPPPPP = 0.0744 \times PP^{0,8594}$, що були запропоновані авторами роботи²⁴, де X – потужність проекту по сировині в тис. т/рік. Видно, що запропонована залежність для капітальних витрат адекватно описує середню вартість проектів за межами Китаю.

В Україні доцільно було б будувати ССЗ з потужністю оброблення від 100 тис. тонн ТПВ на рік в обласних центрах з населенням 250...500 тис. мешканців до 300 тис. тонн в містах з мільйонним населенням. У Києві потенційно можна побудувати завод на 500 тисяч тонн ТПВ. Використовуючи наведені вище залежності можна зрозуміти, що вартість МСЗ можескласти від 75 мільйонів євро для потужності оброблення 100 тис. т/рік до 265 млн євро для 500 тис. т/рік (табл. 8). При таких параметрах собівартість оброблення однієї тонни ТПВ складе до 100 євро/т для великого проекту (500 тис. т/рік) і до 150 євро/т для «маленького» проекту (100 тис. т/рік).

Показник	I	II	III
Потужність по ТПВ, т ТПВ/рік	100 000	200 000	500 000
Інвестиції, млн євро	75	130	265
Експлуатація, млн євро/рік	3,5	6,5	14
Собівартість оброблення ТПВ, євро/т	130...150	110...130	90...100
Електрична потужність, МВт	5,6	11,2	28
Виробництво є/є, МВт·год/рік	42 000	84 000	210 000
Виробництво є/є, кВт·год/рік/т	0,42		

Таблиця 8 – Основні параметри ССЗ

Джерелами доходу для заводів термічного оброблення ТПВ може бути продаж електроенергії, тепла/пари, та металобрухту. Дохід від продажу металобрухту не перевищує кількох євро за тонну відходів. Електричну потужність можна оцінити з розрахунку, що нижня теплота згоряння ТПВ складає 8 МДж/кг, а електричний к.к.д. енергоустановки – 22%. Легко бачити, що питома вартість МСЗ в перерахунку на встановлену електричну потужність дуже висока. Вона становить від 10 до 15 тис. євро на один кВт встановленої електричної потужності. Це природно, оскільки ССЗ не є спеціалізованим енергетичним підприємством, його основна функція – оброблення відходів.

Вище ми оцінили, що продаж електроенергії і тепла при існуючих тарифах може приносити від 30 до 70 євро на тонну перероблених ТПВ.

Інша частина доходу підприємства може формуватися за рахунок плати (тарифу) за оброблення відходів. Якщо прийняти, що межею прийнятності для сучасної України є тариф на оброблення 30 євро/т, то для великого МСЗ дохід від продажу енергії має становити принаймні 60...70 євро/т. Вище ми показали, що при певних умовах це можливо в разі спільного виробництва і продажу тепла та електроенергії або відмови від виробництва є/є на користь виробництва та реалізації виключно тепла.

Однак в цілому можна зробити висновок, що європейські підходи та рівень витрат на термічну утилізацію ТПВ є занадто дорогими для сучасної України. Наша країна поки ще потребує більш економічних технологічних рішень.

3.3 Критерії вибору технологій оброблення ТПВ

Вибір технології переробки відходів повинен бути частиною розробки регіонального плану поводження з ТПВ. Одним із перших пріоритетів плану є визначення розташування регіонального полігону для захоронення ТПВ з використанням принципів міжрегіонального співробітництва. Підприємства з переробки відходів в більшості випадків будуть територіально прив'язані до регіонального полігону. Вибір конкретної технології переробки залежить від багатьох факторів, частина з яких розглянута нижче (табл. 10). Одним з визначальних факторів на даний момент є собівартість переробки тонни ТПВ.

Вибір енергетичної утилізації зазвичай визначається такими міркуваннями:

1. бажанням збільшити глибину переробки відходів, особливо в разі термічних методів переробки для того, щоб мінімізувати захоронення;
2. можливістю отримання власного джерела енергії, що заміщує викопні види палива, такі як природний газ або вугілля;
3. можливістю отримання додаткового доходу за рахунок продажу електроенергії та тепла, а в деяких випадках і RDF/SRF;

Необхідно відзначити, що отримання додаткового доходу за рахунок продажу електроенергії та тепла, що отримані з ТПВ, в більшості випадків не означає досягнення привабливих для інвестора економічних параметрів проекту. У більшості випадків для реалізації проектів необхідно істотне підвищення тарифу на переробку відходів, особливо суттєве для термічних методів оброблення. Винятком з цього правила є проекти на збору та утилізації біогазу в місцях захоронення відходів.

З технологічної точки зору найбільш простими є проекти збору та утилізації біогазу, далі за ускладненням йдуть ручні та автоматичні сортувальні лінії, кондиціонування ТПВ, аеробні та анаеробні методи переробки, термічна утилізація підготовлених (RDF/SRF) і змішаних ТПВ.

Зі збільшенням складності технології зростають питомі капітальні витрати. При наявному рівні економіки України можуть розвиватися тільки відносно

прості проекти, в більшості випадків вибір технології буде визначатися принципом «розумної достатності». Відповідно до цього принципу вже реалізуються проекти збору та утилізації біогазу на полігонах і звалищах, використання сортувальних ліній, плануються перші проекти МБО потужністю не менше ніж 80 тис. т/рік. Останній обставині допомагає те, що законодавство України передбачає використання стимулюючого «зеленого» тарифу на електроенергію з біогазу, зібраного на полігонах або отриманого в результаті МБО.

Для реалізації термічних проектів з використанням обладнання європейських постачальників економічні умови в Україні поки що відсутні. Подібні проекти можуть бути реалізовані тільки в разі істотного зниження капітальних витрат без втрати якості очистки димових газів. Винятком є спалювання RDF/SRF цементними заводами.

Тверде паливо з ТПВ може бути використано в спеціалізованих ТЕЦ/котельнях, що постачають тепло в систему ЦТ/ГВП, а також – якщо це ТЕЦ – електроенергію в мережі або на потреби комунального господарства. Реалізація такого проекту можлива в двох варіантах – ТЕЦ з турбіною, що працює в теплофікаційному і конденсаційних режимах і котельні (без турбіни). Перший варіант (ТЕЦ) забезпечує постійне навантаження потсировині, влітку надлишок тепла може утилізуватися на градирнях (до 30% енергії палива). Другий варіант (котельня) дозволяє знизити капітальні витрати, збільшити ефективність використання палива, але не забезпечує постійне навантаження по сировині протягом року. Влітку залишок палива необхідно накопичувати і використовувати в осінньо-зимовий період. Для проектов термической утилизации принципове значення має близькість виробничих потужностей то теплових мереж.

Використання стимулюючого «зеленого» тарифу на електроенергію, отриману в результаті термічного оброблення, не передбачено. Більш того, гіпотетичне використання тарифу на електроенергію на рівні існуючого

тарифу для біомаси та біогазу не створює необхідних фінансових потоків для підвищення економічної привабливості проектів термічного оброблення до необхідного інвестору рівня. При питомих витратах на спалювання ТПВ 100...150 євро/т потенційний прибуток від продажу електроенергії за «зеленим» тарифом складає 60 євро/т для ТПВ з нижньої теплотворної здатністю ТПВ 8,0 МДж/кг і 75 євро/т для випадку 10 МДж/кг.

При спалюванні ТПВ електричний к.к.д. досить низький, в когенераційних схемах більшу кількість енергії з ТПВ може бути отримано у вигляді тепла. Тому основний дохід може бути пов'язаний з продажем тепла, а не електроенергії. Наприклад, в ЄС сміттєспалювання особливо розвинене в країнах, які практикують централізоване тепlopостачання (Данія, Швеція). Незважаючи на те, що в Україні спостерігаються негативні тенденції розвитку ЦТ, потенціал використання тепла з ТПВ в системах ЦТ/ГВП досить великий.

При відсутності ТЕЦ / котелень для виробництва RDF/SRF велике значення має відстань до найближчого цементного заводу, який зацікавлений у використанні альтернативного палива і має повний цикл випалу клінкеру.

Ризики проектів пов'язані із залежністю від поставок відходів/сировини, залежністю від споживача енергії, необхідністю виділення додаткової землі в безпосередній близькості від систем ЦТ, а також недостатнім споживанням тепла в літній час. Зниження ризиків може бути досягнуто за рахунок збільшення кількості сировини і гарантій на його поставку, визначення умов передачі / продажу палива цементним заводам, створення умов для повного використання тепла. У таблиці 9 проведено порівняльний аналіз варіантів енергетичного використання ТПВ.

Тип проекту	Збір біогазу на полігоні ТПВ	МБО з виробництвом біогазу	Виробництво опалива з ТПВ(SRF)	Виробництво RDF/SRF з енергетичним використанням	Спалювання ТПВ з отриманням енергії
-------------	------------------------------	----------------------------	--------------------------------	--	-------------------------------------

Склад обладнання	Система зборуБГ + КГУ на полігоні	Сортування +БГУ + КГУ	Біологічна стабілізація + сортування + кондиціонування	Виробництво SRF + ТЕЦ / спеціалізовані котельні на твердому паливі	Сміттєспалювальний завод (змішане ТПВ)
Виробництво е/е	Зелений тарифна є/є з біогазу	Зелений тарифна є/є з біогазу	Ні	Відсутність зеленого тарифу	
Виробництво тепла	Відсутність споживача в радіусі 3 км	Відсутність споживача, 30% тепла на	Ні	Система ЦТ/ГВП, мале споживання тепла в літній час	

Таблиця 9 – Порівняльний аналіз варіантів енергетичного використання ТПВ

Тип проекту	Збір біогазу на полігоні ТПВ	МБО з виробництвом біогазу	Виробництво опалива з ТПВ(SRF)	Виробництво RDF/SRF з енергетичним використанням	Спалювання ТПВ з отриманням енергії
		підтримку процесу			
Логістика	Виробництво е/е з біогазу на місці його утворення	Виробництво е/е з біогазу як складова частина оброблення ТПВ	Виробництво та доставка SRF на найближчий цементний завод (до 200 км)	Мінімізація відстані до мереж ЦТ / ГВП, транспортування, зберігання влітку (варіант без ТЕЦ)	
Необхідність захоронення після оброблення	100%	30 –35% (+ зброджена маса)	20 –25%	25 –30%	20 –25%
Ризики	Мала ефективність збору біогазу	Кількість і склад сировини для отримання біогазу	Залежність від споживача палива (SRF)	Необхідність виділення земельної ділянки поруч з мережею ЦТ, недостатнє споживання тепла в літній час	
Можливості зниження ризиків	Рекультивация, створення споживача тепла поблизу полігону	Розширення сировинної бази (об'єднання регіонів)	Визначення умов передачі / продажу SRF цементним заводам	Об'єднання теплових мереж в єдиний кластер, наявність промислового споживача тепла, відмова від виробництва е/е на користь тепла	
Економіка	Економ – варіант	Середні витрати	Середні витрати	Дорого	Дуже дорого
CAPEX	1,5...2,5 євро/МВтє	200...400 євро/(т/рік)	150...300 євро/(т/рік)	300...500 євро/(т/рік)	500...1000 євро/(т/рік)
Переваги	Простота, дешевизна	Задовільні економічні показники проекту	Заміщення викопного палива в цементній промисловості	Заміщення природного газу, диверсифікація джерел палива	
Недоліки	Короткий термін життя проекту, обмежений вплив на поводження з ТПВ	Залежність від сировинної бази, відсутність об'єктивних даних про склад ТПВ	Велике плече доставки палива (цементна промисловість, залежність від споживача палива)	Необхідність додаткової земельної ділянки, незадовільні економічні показники, необхідність істотного підвищення тарифу/податку на оброблення ТПВ	

РОЗДІЛ 4. Видобуток біогазу на полігонах ТПВ.

4.1 Видобуток і утилізація біогазу

В результаті анаеробного розкладання органічної фракції відходів утворюється біогаз. Із загальної кількості метану, яка щорічно надходить в атмосферу, 40-70% утворюється в результаті антропогенної діяльності, причому більше 20% з них припадає на об'єкти захоронення ТПВ.

Розраховано, що з однієї тони ТПВ утворюється 200-300 м³ біогазу. Основні компоненти біогазу (%): метан 40-75 (зазвичай 50-60), діоксид вуглецю 30-40, азот 5-15, кисень 0-2, сірководень та інші токсичні сполуки (у невеликих кількостях).

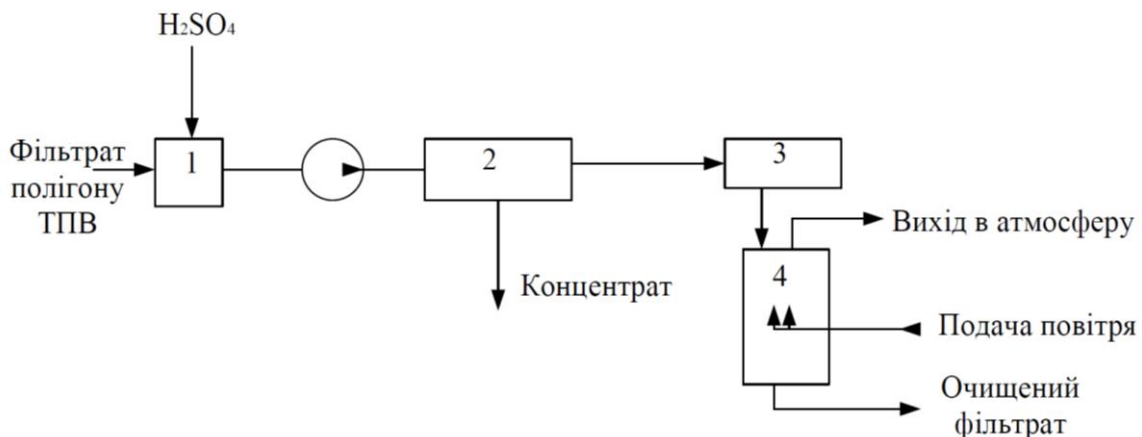


Рисунок 23 –Схема очистки фільтрату полігонів ТПВ методом зворотно-го осмосу : 1 - приймальний резервуар , 2 - установка зворотно-го осмосу ; 3 - збірник очищеного фільтрату , 4 - дегазатор

Ступінь очистки фільтрату на таких спорудах становить:

- 1) БСК - с 2100 до 5 мг О₂/л;
- 2) ХСК- с 7300 до 15 мгО₂/л;
- 3) СІ⁻ - с 3010 до 20 мг/л;
- 4) NH₄ - с 1300 до 10 мг/л.

Біогаз полігонів ТПВ містить ряд газів, що володіють шкідливими для здоров'я людини властивостями. В залежності від рівня його емісії в атмосферу і ступеня його розбавлення повітрям звалищний газ може чини- ти

токсичні впливи на всі види живих організмів.

Так, коренева система рослин на поверхні заповненого полігону може піддаватися шкідливому впливу звалищного газу, що може призводити до затримки їх росту і навіть загибелі.

Звалищний газ, що проник з тіла полігону в атмосферу, може під час штилю накопичуватися над поверхнею полігону і потім заноситися вітром до житлових районів, розташованих за межами 500-метрової санітарно-захисної зони.

Мікрогази є джерелом неприємних запахів для людини, а деякі з них навіть можуть становити загрозу для здоров'я.

Вільні порожнини в тілі полігону, що утворилися за рахунок нерівномірного розкладання ТПВ, можуть бути місцем скупчення біогазу. В цьому випадку виникає реальна загроза вибуху (суміш метану 7-15% з повітрям вибухонебезпечна).

Метан і діоксид вуглецю є парниковими газами, що саме по собі вимагає вжиття заходів до обмеження їх емісії в атмосферу.

У зв'язку з вищевикладеним для захисту атмосферного повітря, здоров'я людей і запобігання загрози вибухів необхідно збирати утворений в тілі полігону біогаз, не допускаючи його проникнення в атмосферу. При цьому виникає питання: скільки біогазу утворюється при анаеробному розкладанні органіки? За різними джерелами з однієї тонни ТПВ, що містить близько 50% органіки, за період її розкладання в анаеробних умовах може утворитися, в залежності від зовнішніх умов, від 175 до 300м³ біогазу. Звідси, виходячи з обсягу укладених в полігон ТПВ, можна прогнозувати кількість біогазу, що утворився при розкладанні цих ТПВ. Наприклад, полігон, де заскладовано 20 млн. т ТПВ, може служити джерелом одержання від $3,5 \cdot 10^9$ до $6,0 \cdot 10^9$ кубометрів біогазу. При цьому промисловий відбір біогазу можна починати не раніше ніж через два роки після складування, а ці два роки необхідно спалювати біогаз у вигляді факела/

У міру складування ТПВ промисловий відбір біогазу буде зростати і досягне максимуму в момент завершення останнього року активної експлуатації полігону. У період пасивного життя полігону (після завершення його заповнення ТПВ) дебет біогазу буде поступово знижуватися і досягне свого промислового мінімуму через 12-15 років після закриття полігону. З цього моменту в експлуатацію повинен включитися факел для спалювання залишкової кількості біогазу.

Звалищний газ, що надходить з тіла полігону, являє собою низькоенергетичне паливо, тому що крім метану містить велику кількість діоксиду вуглецю (до 50%).

В залежності від вмісту метану біогаз має теплоту згоряння від 15 до 20 МДж/м, що відповідає 50% теплоти згоряння природного газу.

Біогаз відноситься до числа газів, що створюють «парниковий ефект» і впливають на зміну клімату (ратифікований Україною в 1992 р.); це зобов'язує країн-учасників мінімізувати викиди в атмосферу парникових газів, таких як метан, який за своїм згубним наслідком для зміни клімату еквівалентний викиду в атмосферу близько 25 м³ діоксиду вуглецю. У зв'язку з цим зменшення викидів біогазу в атмосферу забезпечує не тільки поліпшення екологічної ситуації навколо полігонів ТПВ, а й сприяє виконанню Україною своїх міжнародних зобов'язань.

Біогаз є однією з причин спалаху ТПВ на полігонах та звалищах. Присутність в повітрі від 5 до 15% метану і 12% кисню утворюється вибухово-пожежна суміш.

Біогаз чинить також негативний вплив на рослинний покрив, пригнічуючи рослинність на прилеглих до полігону ТПВ площах (механізм впливу пов'язаний з насиченням біогазом порового простору ґрунту і витісненням з неї кисню).

Негативний вплив біогазу на навколишнє середовище призвів до того, що в більшості розвинених країн власники полігонів законодавчо примушуються до запобігання його стихійного розповсюдження.

У зв'язку з цим за кордоном в останнє десятиліття одержали широке поширення технології видобутку та утилізації біогазу. У Німеччині, наприклад, до початку нового тисячоліття видобуток біогазу на полігонах. ТПВ склав близько 35 млн. м³/рік, що дозволяє отримувати щорічно 140 млн. кВт-год електроенергії та економити 14 тис. т/рік нафти. На українських полігонах та звалищах біогаз практично не збирався.

В даний час в багатьох розвинених країнах розроблені різні технології отримання з біогазу «чистого» метану (наприклад, для моторно-го палива) і «чистого» вуглекислого газу.

Кілька таких технологій створено в Харківському національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут». Так, наприклад, в ННЦ ХФТІ створено промислова установка-модуль, принцип якої заснований на адсорбційному селективному поглинанні вуглекислого газу з біогазової суміші комбінованими адсорбентами, типу алюмосилікатів. Такий модуль може служити елементом для складання установок будь-якої продуктивності. Дві паралельні поперемінно працюючі лінії установки забезпечують безперервність її експлуатації.

Для збору біогазу використовують вертикальні свердловини, газо- проводи і компресорні станції, що забезпечують подачу газу до мотор- генераторів (при використанні біогазу для виробництва електроенергії). Компресор створює необхідне розрідження для збору біогазу та його транспортування по газопроводах [40-51]. На рис. 24 показана блок-схема видобутку та утилізації біогазу.

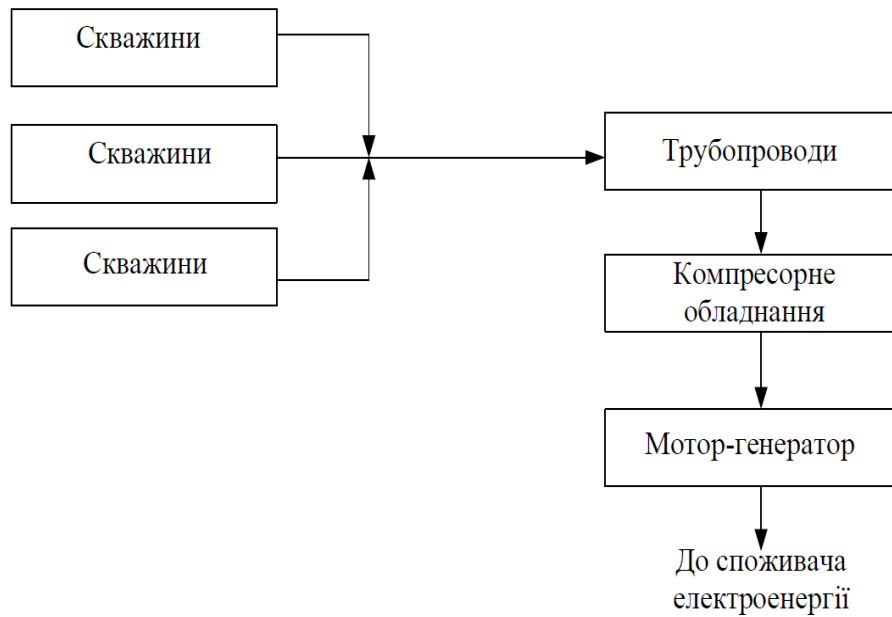


Рисунок 24 – Блок-схема видобутку та утилізації біогазу

У російських умовах, як показала практика, найбільш доцільне шнекове буріння свердловин діаметром 250-300 мм (для порівняння - в Швеції практикується буріння свердловин діаметром 150-200 мм).

За європейськими даними, вихід біогазу з пробуреної свердловини глибиною 10 м зазвичай становить 10-20 м³/год. Стійка робота свердловини забезпечується, якщо її дебет не перевищує обсягу знов створюваного біогазу. Підраховано, що для забезпечення потужності 1 МВт потрібно 15-20 пробурених газових свердловин в тілі полігону. Регулювання виходу біогазу з полігону здійснюється шляхом регулювання числа обертів компресорів.

Відстань між газовими свердловинами на ділянці збору біогазу зазвичай становить 50-60 м. Якщо число газових свердловин на полігоні оптимально, а відкоси полігону ущільнені, вилучення біогазу становить до 80% від його утвореного обсягу. Якщо біогаз збирається на так званих біокартах з однорідними відходами (європейські умови), вилучення біогазу підвищується до 90%.

На рис. 25 показаний загальний вигляд свердловини для видобутку біогазу.

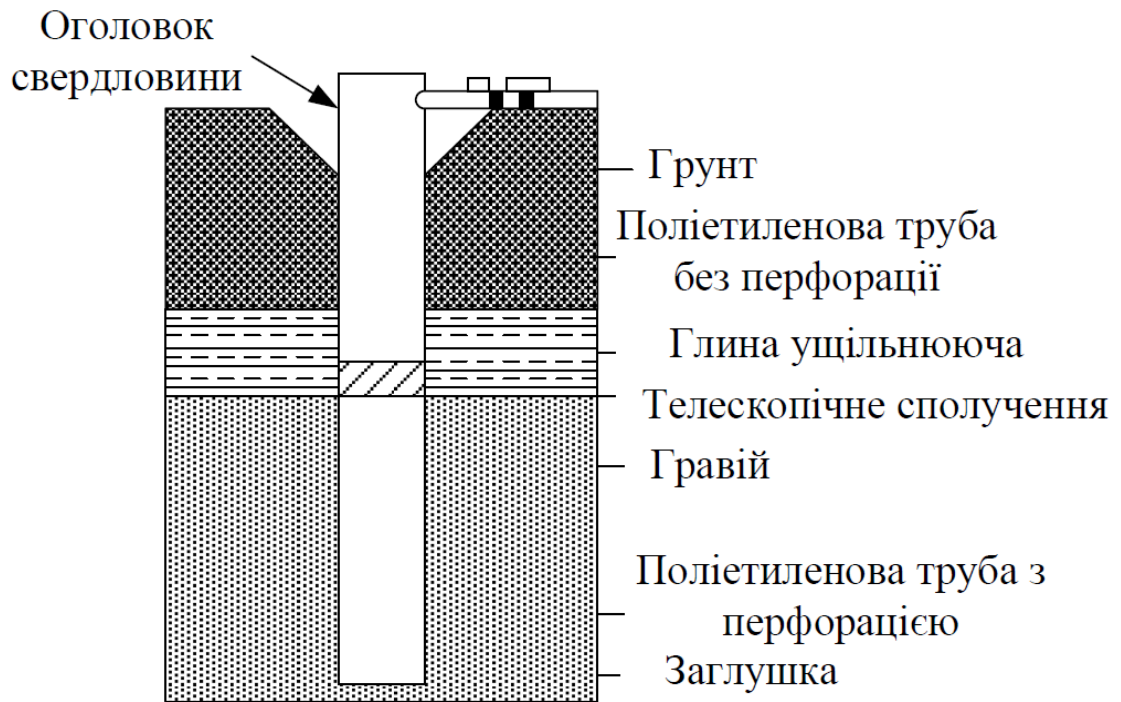


Рисунок 25 – Загальний вид свердловини для видобутку біогазу

Інженерний пристрій свердловини включає кілька етапів. На першому етапі в свердловину опускається перфорована сталева або пластмасова труба, заглушена знизу і забезпечена фланцевим з'єднанням в пригирловій частині. Потім у міжтрубний простір засипається пористий матеріал (наприклад, гравій) з пошаровим ущільненням до глибини 3-4 м від гирла свердловини. На наступному етапі споруджується глиняний замок потужністю 3-4 м для запобігання попадання в свердловину атмосферного повітря. Після цього приступають до установки оголовка свердловини. Оголовок являє собою газонапірною арматурою для регулювання дебету свердловини і контролю складовою металевий циліндр, забезпечений у біогазу, а також патрубком для приєднання свердловини до газопроводу.

У шведській практиці для кріплення бурових свердловин використовуються обсадні труби, які після установки перфорованого пластмасового фільтра частково виймаються з тіла полігону. Нижня секція обсадної труби довжиною 3 м залишається на рівні 1,5-4,5 м нижче рівня ґрунту, а над верхньою частиною фільтра в свердловині утворюється ізолююче покриття висотою 4,5

м, що дозволяє створити відносно велике розрідження навколо свердловини і підвищити ефективність збору біогазу

За даними шведської практики, при зборі біогазу на діючих полігонах виникають експлуатаційні складності, і протягом перших десяти років частини газопроводів і фільтрів повинні бути оновлені (руйнування труб під дією просідання відходів, що надходять, закупорювання фільтруючих труб). Схема розміщення газопроводів на високонавантаженому полігоні в Швеції показана на рис. 27.

Температура біогазу, що утворюється, відповідає температурі тіла полігону, яка при анаеробному розкладанні органічної фракції ТПВ підвищується до 25-40 ° С. Оскільки для відходів характерна висока вологість, біогаз насичується парами води. При зниженні температури біогазу до 10 °С в системі газопроводів утворюється до 20 г/м³ конденсату. На установці потужністю 1 МВт щодоби утворюється 100 л конденсату. Цей конденсат необхідно видаляти з системи збору біогазу та направляти на знешкодження, так як за хімічним складом він багато в чому аналогічний фільтрату. Нахил газопровідних труб в межах полігону повинен забезпечувати збір конденсату (відповідно до європейської практики, ухил труб - не менше 20 %). Для видалення вологи з системи встановлюють конденсатовідвідники (сталеві резервуари з гідрозатворами)

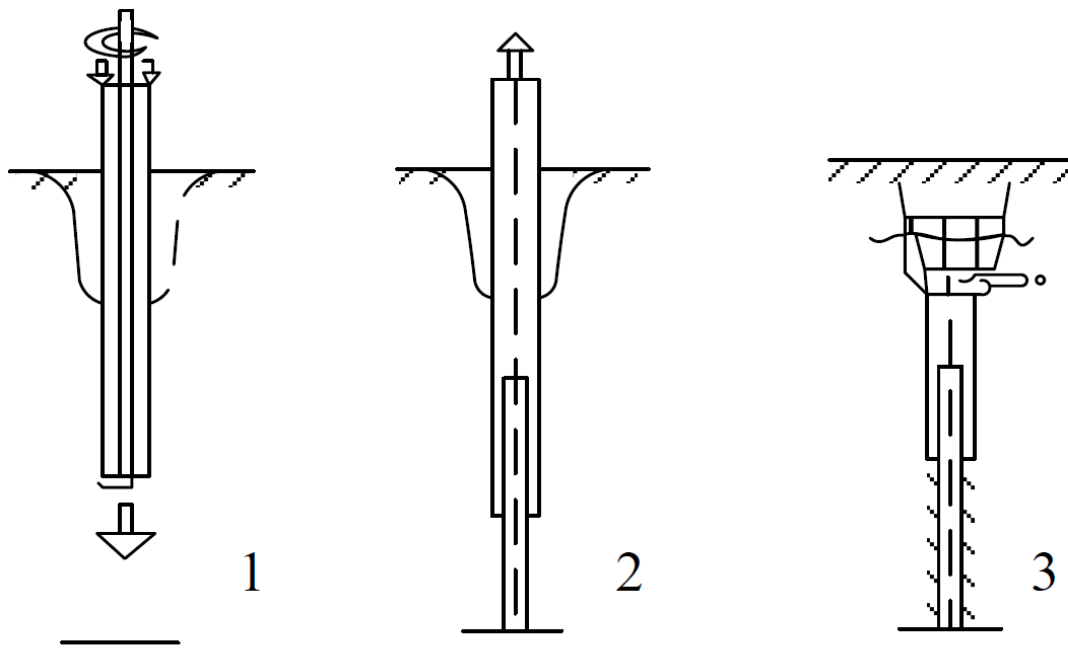


Рисунок 4.14 – Конструкція газових свердловин

(європейська практика)

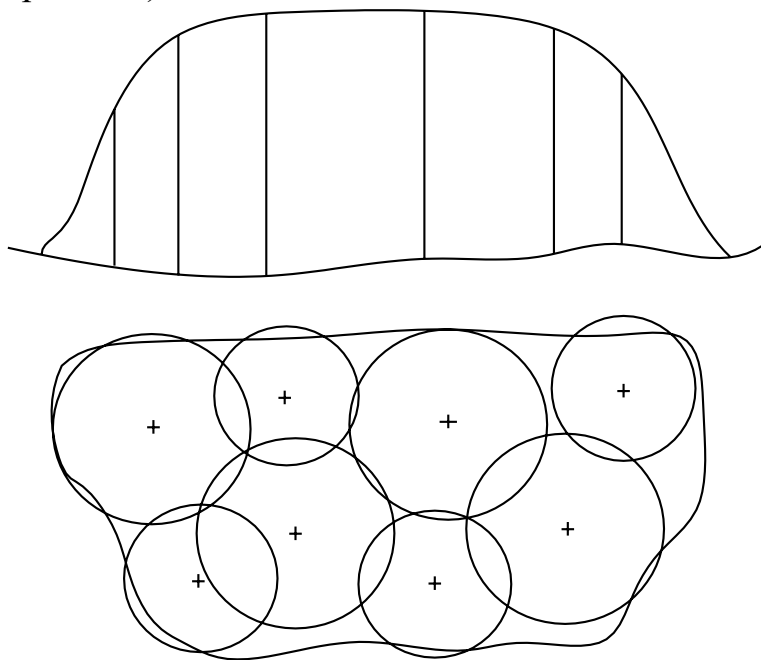


Рисунок 27 – Схема розміщення газових свердловинна високонавантаженому поліго

Біогаз, що видобувається на полігонах, найбільш часто використовують для виробництва електроенергії. В російських умовах з 1 м³ біогазу можна отримати 1,5 кВт-год електроенергії. На жаль, великий енергетичний потенціал полігонів в даний час не використовується. У той же час у більшості розвинених країн виробництво електроенергії на основі біогазу стимулюється державою за допомогою спеціальних законів. Так, в США і країнах ЄС існують закони, які зобов'язують енергетичні компанії використовувати нетрадиційні джерела енергії, а споживачів - купувати альтернативну енергію. При цьому нормативно визначається вартість альтернативної енергії, яка, як правило, в 2-2,5 рази вище вартості енергії, виробленої на основі використання традиційних енергоносіїв (природний газ, нафтопродукти). У ряді випадків електроенергія, вироблена з біогазу, частково або повністю використовується для потреб підприємства, що експлуатує полігон ТПВ [26-35].

На відміну від багатьох європейських країн, у Швеції традиційною формою утилізації біогазу є його спалювання в газових котлах для виробництва теплової енергії. Газові котли найчастіше з'єднуються з місцевою системою районного тепlopостачання. У Швеції є також досвід утилізації біогазу для комбінованого виробництва електричної та теплової енергії на стаціонарних газових двигунах.

У тих випадках, коли виникають труднощі з утилізацією біогазу (наприклад, через великі відстані до споживача), зібраний біогаз піддають факельному спалюванню в спеціальних газових пальниках. Факельне спалювання біогазу слід розглядати як вимушену і проміжну міру, що сприяє зниженню надходження біогазу в атмосферу та ймовірності загоряння ТПВ на полігонах.

4.2Визначення обсягу біогазу на полігонах ТПВ

До складу міських твердих побутових відходів (ТПВ) входить органічна речовина, здатна на 70-80% до розкладання в аеробних (з доступом кисню) і анаеробних (без доступу кисню) умовах. У свою чергу, органічна речовина включає папір, харчові відходи, рослинні залишки та ін. Орієнтовний морфологічний склад органічної частини ТПВ, а також зміст основних хімічних елементів у сухій речовині її компонентів наведено в табл. 10.

Якщо взяти порцію ТПВ масою 1 кг при вологості 40-60%, при якій вони звичайно вивозяться на полігони або звалища для поховання, то за наведеними даними можна розрахувати, скільки в ній буде міститися сухої органічної речовини, здатної до розкладання.

Донецьк (2010 р.) $472 \cdot 0,6 \cdot 0,75 = 212,4(г)$.

Знаючи процентний вміст в органічному речовині ТПВ та атомну вагу: вуглецю (12); водню (1); кисню (16); азоту (14); сірки (32), можна визначити кількість грам-молей цих елементів в 1 кг ТПВ (табл. 4.4).

Приклад розрахунку:

$$a = \frac{48,1 \cdot 212,4}{100 \cdot 12} = 8,51(грам - молей).$$

Таблиця 10 – Морфологічний склад органічної частини ТПВ і вміст основних хімічних елементів у сухій речовині її компонентів

Морфологічний склад органічної частини ТПВ	Донецьк (2010 р.)		Відсотковий вміст по масі основних хімічних елементів у сухій речовині органічних компонентів ТПВ					
	%-вий вміст по масі в ТПВ	%-вий вміст в органічній частині ТПВ	С	Н	О	N	S	Зола
Папір	21,0	44,5	45,40	6,10	42,10	0,30	0,12	6,00
Харчові	12,0	25,4	41,70	5,80	27,60	2,80	0,25	21,90
Дерево	2,1	4,5	48,30	6,00	42,40	0,30	0,11	2,90
Текстиль	2,6	5,5	46,20	6,40	41,80	2,20	0,20	3,20
Шкіра, гума	4,6	9,5	59,80	8,30	19,00	1,00	0,30	11,60
Пластмаса	3,4	7,2	67,90	8,57	10,30	1,13	0,05	12,02
Кістки	1,6	3,4	59,60	9,50	24,70	1,02	0,19	4,99
Суміш	47,2	100	48,10	6,53	33,30	1,18	0,15	10,74

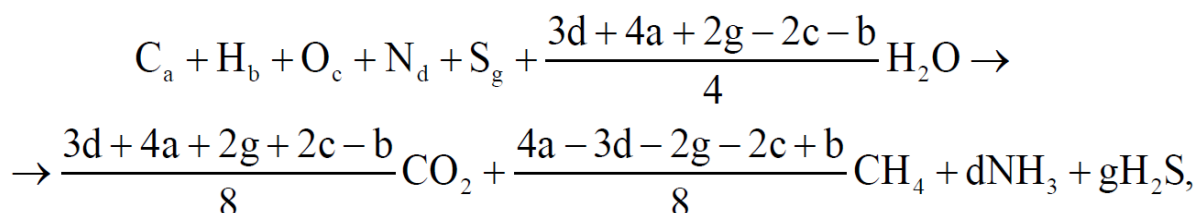
При похованні ТПВ на полігонах вони ущільнюються і перекриваються шарами ґрунту, що обмежує надходження кисню (з повітря), тому в тілі полігону відбувається анаеробний процес розкладання органічної речовини. А на звалищах, де товщина шару ТПВ незначна і відсутнє верхнє укриття, органічна речовина внаслідок природної аерації розкладається переважно в аеробних умовах.

При анаеробному розкладанні органічної речовини в тілі полігону звільняються основні хімічні елементи, які при наявності води, що міститься в складі ТПВ (40-60 % по масі) або проникаючої через укриття полігону під час атмосферних опадів, утворюють нові хімічні сполуки, такі, як діоксин вуглецю (CO_2), метан (CH_4), аміак (CH_3), сірководень (H_2S). Ці газоподібні речовини, змішуючись, утворюють біогаз.

Хімічний знак елемента	Донецьк (2010 р.)		Умовне позначення кількості грам- молей
	Маса в 1 кг ТПВ, г	Кількість грам-молей	
C	102,16	8,51	a
H	13,87	13,87	b
O	70,70	4,40	c
N	2,50	0,18	d
S	0,32	0,01	g
	189,55		

Таблиця 11 – Кількість грам - молей основних хімічних елементів в органічній речовині 1 кг ТПВ

Основну хімічну формулу анаеробного процесу можна записати в такому вигляді:

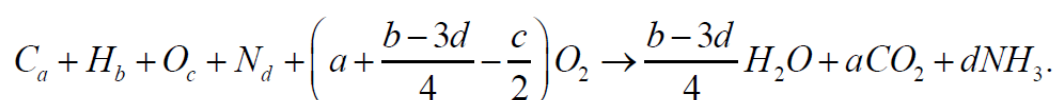


де a, b, c, d, g - кількість грам-молей відповідного хімічного елемента.

Знаючи молекулярну утворених сполук: CO_2 (44), CH_4 (16), NH_3 (17), H_2S (34), H_2O (18), можна визначити маси речовин , що утворюються при розкладанні 1 кг ТПВ. Дані таких розрахунків наведено в табл . 12 .

При аеробному розкладанні органічної речовини ТПВ утворюється вода (H_2O) , діоксин вуглецю (CO_2), аміак (NH_3).

Основну хімічну формулу аеробного процесу можна записати в та- кому вигляді:



Далі, як і при анаеробному процесі, можна визначити маси речовин , що

утворюються при розкладанні 1 кг ТПВ. Дані розрахунків наведено в табл. 12.

Вихідні хімічні елементи		Продукти реакції				
хімічний знак	маса, г	хімічна формула	маса, г	масова частка, г	об'єм, м ³	об'ємна частка, г
Анаеробний процес (полігон) Донецьк (1991 р.)						
C	102,16	CO ₂	162,20	66,70	0,0923	42,36
H	13,88	CH ₄	77,20	31,80	0,1210	55,53
O	70,73	NH ₃	3,06	1,36	0,0044	2,02
N	2,51	H ₂ S	0,34	0,14	0,0002	0,09
S	0,32					
H ₂ O	53,50					
	242,90		242,90	100	0,217	100
Аеробний процес (полігон) Донецьк (1991 р.)						
C	102,20	H ₂ O	120,0	24,10	-	-
H	13,88	CO ₂	374,30	75,20	0,213	98,0
O	70,70	NH ₃	3,06	0,70	0,004	2,0
N	2,50					
O ₂	308,20					
	497,50		497,50	100	0,217	100

Таблиця 12 – Баланс мас вихідних речовин та продуктів реакції при анаеробному і аеробному розкладанні органічної речовини 1 кг ТПВ

У розрахунку прийнято, що біогаз виходить з ТПВ при температурі 30 °С. Перерахунок щільності газів при цій температурі визначається за формулою:

$$\frac{PV}{T_0} = const,$$

де P – тиск газу, $p = 760$ мм рт. ст.;

V - об'єм газу, $V = m/p$, m - маса газу;

T - абсолютна температура газу (по шкалі Кельвіна),

$T = t + 273$, де t - температура по шкалі Цельсія.

Щільність CO₂ (при 30 °С) складає 1,7596 кг/м³; CH₄ - 0,6380, NH₃-0,6863 и H₂S-1,3699.

Об'єм суміші утворених газів визначається за формулою:

де V_i - парціальний об'єм визначеного (i -го) газу.

$$V_c = \sum_i^n V_i,$$

Щільність суміші газів визначається за формулою:

де M_c - маса суміші газів.

$$\rho_c = \frac{M_c}{V_c},$$

За даними табл. 4.5 визначаємо, що при анаеробному процесі $\rho_{c1} = 1,1 \text{ кг/м}^3$; при аеробному процесі - $\rho_{c2} = 1,7 \text{ кг/м}^3$.

При анаеробному розкладанні 1 кг ТПВ для утворення продуктів реакції використовується 54-65 г води. Навіть при достатньо низькій вологості (40 %) в 1 кг ТПВ міститься 400 г води. Тому процес анаеробного розкладання органічної речовини в тілі полігону відбувається і без доступу атмосферних опадів, тобто при водонепроникному укритті. Частина води при цьому утворює фільтрат. Потреба у вільному кисні (O_2) при аеробному розкладанні 1 кг ТПВ складає 300-350 г, що необхідно враховувати, наприклад, при компостуванні ТПВ. Компостування повинно здійснюватися тільки при аеробному процесі, а тому в компостну суміш повинна подаватися достатня кількість повітря (кисню). Діоксин вуглецю або вуглекислий газ (CO_2), утворений як при анаеробному, так і при аеробному розкладах органічної речовини ТПВ, є парниковим газом, і його залишкова концентрація в атмосфері призводить до глобальних і локальних аномальних потеплінь, а тому його викиди в атмосферу є шкідливими. Як видно з табл. 4.5, на звалищах з 1 кг ТПВ утворюється в 2,3-2,4 рази більше CO_2 , ніж на полігонах.

В Україні щорічно утворюється майже 9 млн. т ТПВ. При анаеробному

розкладанні (на полігонах) з цієї маси ТПВ може утворитися 0,83- 0,93 млрд. м³, в атмосферу може надійти відповідно 394-443 або 910-1030 тис. т вуглецю.

Наведені обсяги утворення газів можна вважати лише потенційними, так як на практиці ні аеробного, ні анаеробного процесу в чистому вигляді не буває, ці процеси завжди йдуть одночасно. У верхніх шарах полігону (звалища) домінує аеробний процес, а в нижніх - анаеробний. Крім того, ці процеси значно розтягнуті у часі: аеробний - на роки, а анаеробний - на десятиліття.

Найбільший практичний інтерес викликають процеси, що відбуваються в тілі полігону, оскільки вони пов'язані з утворенням значної кількості шкідливих міграцій в навколишнє середовище: біогазу - в атмо- сферу, а фільтрату - в ґрунтові води.

Як видно, утворення біогазу та фільтрату на полігоні залежить від видів складованих матеріалів, їх фізико-хімічних і біологічних особливостей, режиму експлуатації полігону, кліматичних умов. ТПВ на полігоні перебувають під дією комплексу взаємопов'язаних фізичних, хімічних, біологічних процесів. Найбільш важливі фізичні процеси - це ущільнення, дроблення, розчинення, сорбція. Основні хімічні реакції - окислювально-відновлювальні та рН-залежності. Біологічні процеси є ключовими і виражені фазами аеробного і анаеробного розкладання органічної речовини з утворенням біогазу та фільтрату. Аеробне розкладання органічної речовини відбувається на поверхні полігону, а також в його тілі до тих пір, поки не буде використаний весь кисень (O₂), що міститься в ТПВ при їх похованні. Цей процес може тривати 50-150 днів, після чого обов'язкові аеробні мікроорганізми відмирають, а факультативні переходять в анаеробні, і починається фаза анаеробного розкладання органічної речовини.

Анаеробне розкладання органічної речовини триває кілька

десятиліть, причому інтенсивність процесу досягає максимуму вже через рік після закриття ТПВ ізолюючим шаром ґрунту і знаходиться практично на одному рівні 5-6 років, а далі плавно спадає. Для орієнтовних розрахунків

можна вважати, що 42,5% біогазу виділяється в перші 6 років і ще 57,5 - за наступні 15.

Наведемо приклад розрахунку обсягів утворення біогазу на умовно-му полігоні, де захороняються ТПВ з міста в 1 млн. жителів (при нормі накопичення ТПВ 300 кг/рік на одного жителя) протягом 20 років, після чого полігон закривається [40-46].

Річну кількість ТПВ, що надходить на полігон, визначимо за формулою

$$M = H \cdot \chi = 300 \cdot 1 \cdot 10^6 = 300 \cdot 10^6 \text{ (кг)},$$

где H - річна норма накопичення ТПВ на одного жителя, χ – кількість жителів.

На рис. 28 наведено графік залежності q утворення біогазу, виходячи з річної кількості похованих на полігоні ТПВ від часу, що пройшов з моменту поховання.

$$q = \frac{0,4253 \cdot M \cdot V_c}{5,5} = \frac{0,4253 \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot 0,217}{5,5} = 5,034 \cdot 10^6 \text{ (м}^3 \text{ / год)},$$

де $V_c = 0,217 \text{ м}^3/\text{кг}$ – об'єм біогазу, що утворюється з 1 кг ТПВ (Донецьк, 2010 р.)

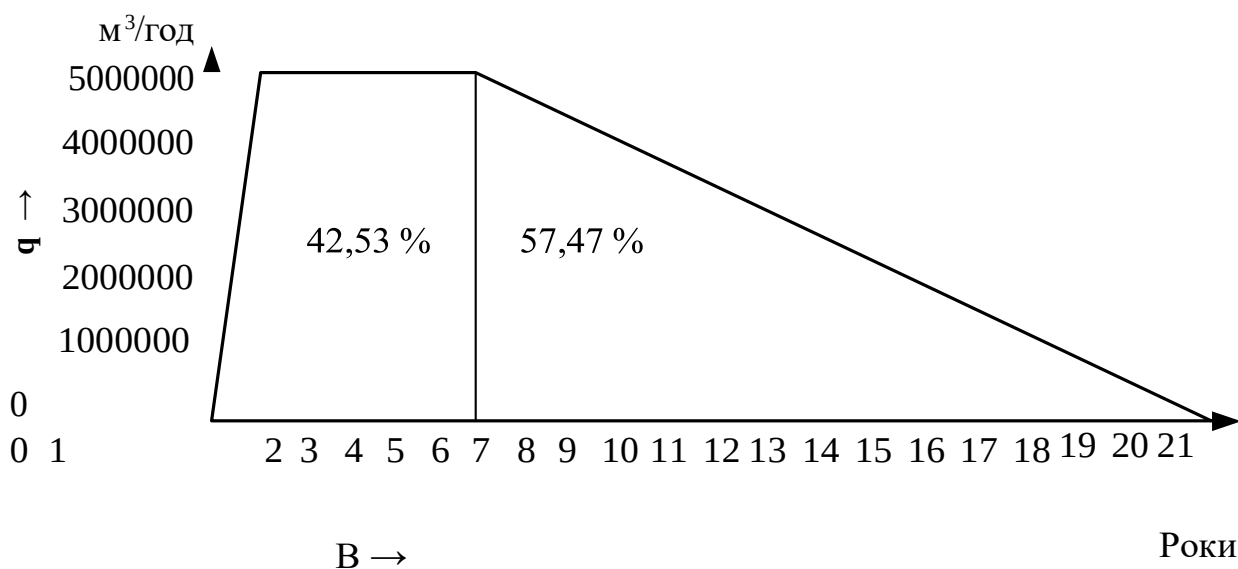


Рисунок 28 – Залежність інтенсивності утворення біогазу з річної кількості ТПВ від часу

На рис. 29 наведено графік залежності відносної інтенсивності сумарного утворення біогазу Q від часу на полігоні за умови безперервного складування ТПВ і закриття полігону через 20 років. Графік відображає прямолінійно-криволінійну параболічно-гіперболічну кускову функцію, виражену на чотирьох інтервалах часу такими залежностями:

$$Q_{n1} = q'_{\max} \cdot n, \text{ для } 1 \leq n \leq 6;$$

$$Q_{n2} = q'_{\max} \left(n - \frac{\sum_{i=1}^{n-6} [1+2+\dots+(n-6)]}{15} \right), \text{ для } 6 < n \leq 20;$$

$$Q_{n3} = q'_{\max} \left(25 - n + \frac{\sum_{i=1}^{15} [1+2+\dots+15]}{15} \right), \text{ для } 20 < n \leq 25;$$

$$Q_{n4} = q'_{\max} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{40-n} [1+2+\dots+(40-n)]}{15}, \text{ для } 25 < n \leq 40,$$

де n - кількість років від початку складування ТПВ на полігоні;

$q'_{\max}$ - одиночна максимальна річна інтенсивність утворення біогазу,

$q'_{\max} = 1$.

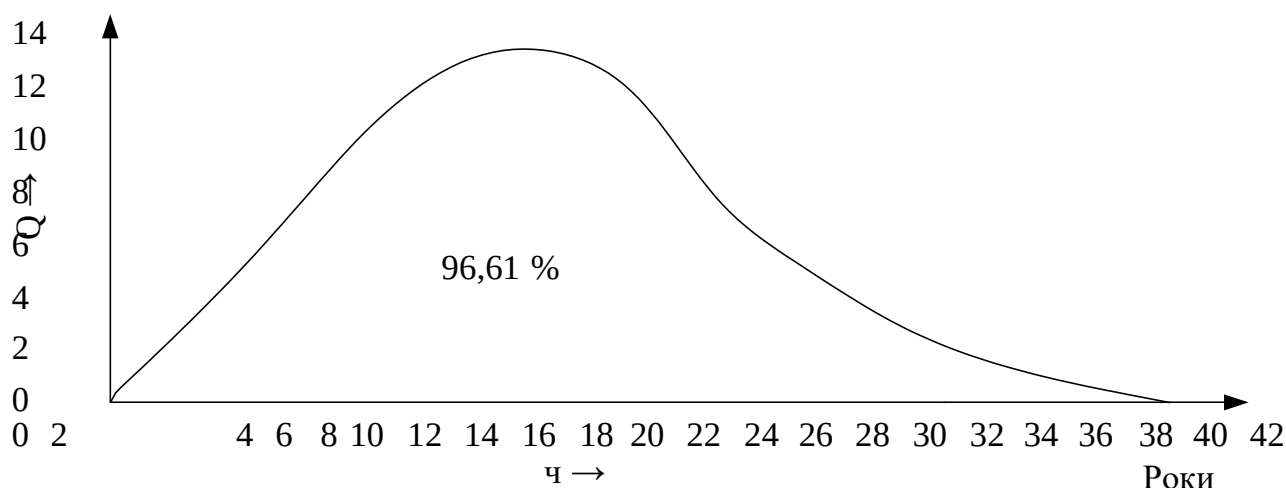


Рисунок 28 – Залежність утворення біогазу на полігоні від часу

Дані розрахунків за обсягами захоронення ТПВ і утворення біогазу на розрахунковому полігоні наведено в табл. 13.

Рік від початку складування	Захоронено ТПВ на кінець року, млн. т	Середньорічна інтенсивність утворення біогазу, млн. м ³ /рік	Утворено біогазу від початку складування (на кінець року)		Відносна ефективність утворення біогазу (на кінець року)
			млн. м ³	% від сумарних об'ємів	
1	0,3	2,50	2,50	0,19	1,0
5	1,5	22,50	62,50	4,81	5,0
10	3,0	44,83	244,99	18,84	9,33
15	4,5	59,00	514,98	39,60	12,0
20 закриття	6,0	64,83	830,80	63,88	13,0
25	6,0	42,50	1093,30	84,06	8,0
30	6,0	20,18	1236,34	95,06	3,67
35	6,0	6,00	1291,38	99,29	1,0
40	6,0	0,18	1300,60	100,00	0
Всього:	6,0		1300,6	100	

Таблиця 13 - Об'єми захоронення ТПВ і утворення біогазу по роках експлуатації на розрахунковому полігоні

Розрахунки свідчать про те, що на умовному полігоні (прийнятому у розрахунку на 1 млн. жителів) за 40 років утворюється 1,3 млрд. м³ біогазу. Враховуючи, що теплотворна здатність біогазу 10-20 МДж/м³, це складе 3,10-6,21 млн. Гкал, або 3,607,2 млрд. кВт · год. За 30 років, з кінця другого до кінця 32-го року, на розрахунковому полігоні утвориться 97% загальної кількості біогазу, тобто 1,26 млрд. м³.

Для того щоб практично здійснити збір біогазу, необхідно розробити проект

для конкретного полігона з урахуванням його параметрів і особливостей поховання ТПВ, а також умов використання отриманого газу. При цьому необхідно утворити і змонтувати необхідне обладнання для збору, очищення і використання біогазу. Традиційна система збору біогазу включає вертикальні газоподібні свердловини (2-3 на 1 га), об'єднані між собою горизонтальними газовідвідними трубами з колекторами і відкачними вентиляторами. Як видно з рис. 27 і табл. 13, системи збору біогазу необхідно монтувати та експлуатувати вже на діючому полігоні, тому що після закриття (20-й рік) більше половини (64%) потенційних обсягів збору біогазу буде втрачено. Навіть при своєчасній установці опisanого обладнання воно може зібрати лише 60-70% утвореного біогазу. Біогаз очищають від водяної пари, діоксину вуглецю, сірководню та інших домішок, в залежності від цілей використання. Існують технології очищення, що дозволяють довести біогаз до стану, при якому його можна спалювати з отриманням тепла, використовувати в газових турбінах або двигунах внутрішнього згоряння для виробництва електроенергії, а також подавати в газопровід природного газу.

Для реалізації цих проектів необхідні значні капіталовкладення (2,0- 3,5 млн. грн. для полігону з 2 млн. т відходів), які повинні окупитися внаслідок використання біогазу. Орієнтовно капіталовкладення в систему збору біогазу складають 60-70% від вартості проекту і в систему очищення біогазу - 30-40%.

Як бачимо, утворення та монтаж обладнання для збору і використання біогазу вимагає значних матеріальних витрат. Досвід свідчить, що економічно доцільним є збір біогазу на полігоні, де поховано більше 5 млн.т відходів з висотою складування не менше 10 м при наявності потреби у використанні біогазу.

В Україні існує 140 великих полігонів, на яких захороняється майже половина всіх утворених ТПВ та на яких економічно доцільно збирати і використовувати біогаз. З річних обсягів ТПВ, захороняється на цих

полігонах, можна зібрати майже 0,98-1,12 млрд. м3 біогазу. Якщо врахувати, що на цих полігонах за останні 15-20 років поховано 60-100 млн. т ТПВ, то за наведеною методикою можна розрахувати, що на цих полігонах щорічно утворюється 600-1000 млн. м3 біогазу.

При реалізації проектів збору та використання біогазу на полігонах ТПВ капіталовкладення можуть окупитися за два роки. При цьому збір та утилізація біогазу скоротять його скиди в атмосферу і поліпшать екологічну ситуацію в приміських зонах. На самому полігоні біогаз є причиною неприємних запахів, а його неконтрольований вихід часто призводить до самозаймання відходів, крім того, концентрація метану в суміші з повітрям в межах 5-15% може викликати вибух.

Необхідно відзначити, що сучасні санітарно-гігієнічні вимоги і правила безпеки передбачають обладнання полігонів системою керованого газорозділення і газовідведення, незначне доопрацювання якої дасть можливість збирати і використовувати біогаз.

РОЗДІЛ 5. Когенераційні установки.

5.1 Робота когенераційних установок

Для збору та утилізації звалищного газу, на нашу думку, найбільш доцільно використати Когенераційну установку.

Когенерація представляє собою високоефективне використання первинного джерела енергії – в даному проекті біогазу, для одержання двох форм корисної енергії - теплової та електричної.

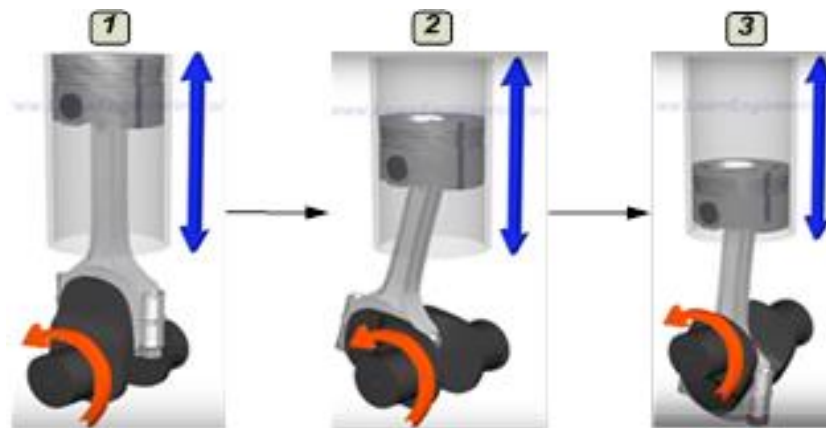
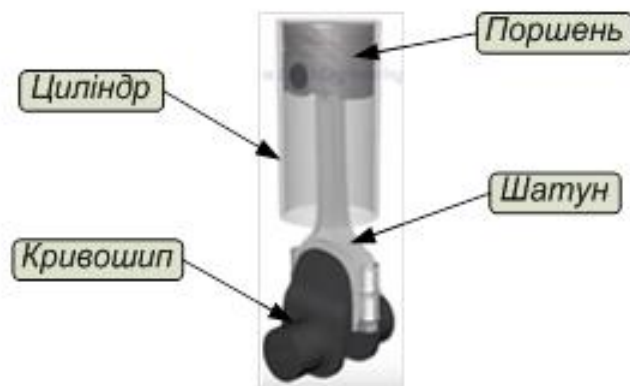
Головна перевага когенератора перед звичайними теплоелектростанціями полягає у тому, що перетворення енергії тут відбувається з великою ефективністю. Іншими словами, система когенерації дозволяє використовувати тепло, яке зазвичай втрачається. При цьому знижується потреба в енергії на величину вироблених теплової і електричної енергії, що сприяє зменшенню виробничих відходів. Найбільшою ефективністю, надійністю і універсальністю відрізняються установки на основі газових (газопоршневих) двигунів. Це викликано, передусім, сучасними вимогами до екологічної чистоти доквілля, а також до зниження експлуатаційних витрат на органічне паливо і доступністю його використання. Газові двигуни використовуються для роботи у складі генераторних установок, призначених для постійної та періодичної роботи (зняття пікових навантажень) з комбінованим виробленням електроенергії і тепла.

Основним елементом установки є газопоршневий двигун, принцип дії якого заснований на перетворенні теплової енергії згоряння палива у механічну енергію руху поршневого механізму.

Основним вузлом двигуна є кривошипно-повзунний механізм, який складається з поршню, шатуна, кривошипу та циліндру.

У кривошипно-повзунному механізмі лінійний рух поршню, який виникає під дією теплової енергії згоряння паливної суміші, перетворюється у обертовий рух на кривошипі (на вихідному валу двигуна). Блок двигуна в повній мірі забезпечує даний механізм. Загальний вигляд руху поршню та обертання кривошипу наведено на схемі нижче.

Загальний вигляд кривошипно-повзунного механізму



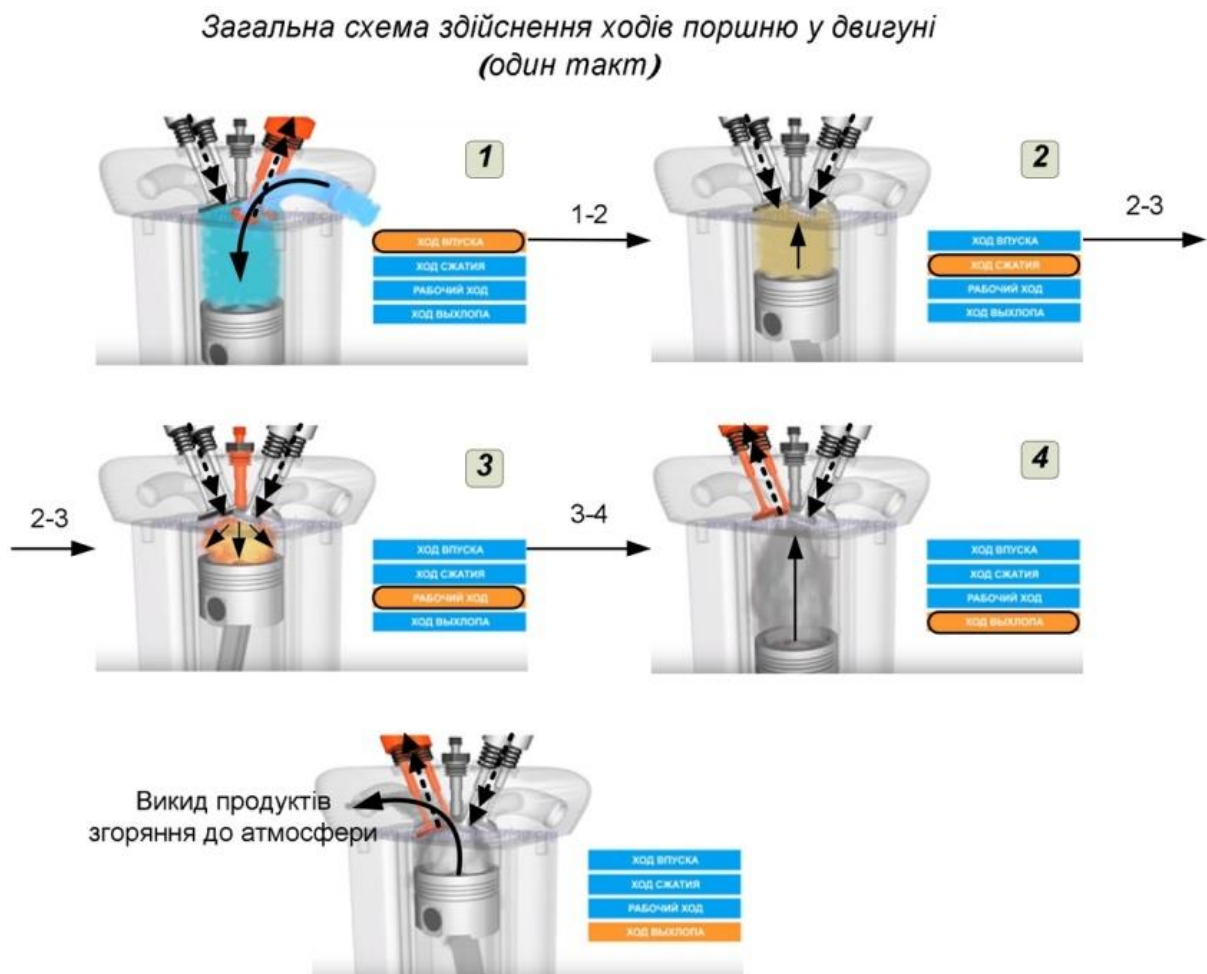
Головка блоку циліндрів, клапани та газо-паливні інжектори встановлені над блоком двигуна. При русі поршня вниз клапани відкриваються та подається паливна суміш (двигун «вдихає»). Під час зворотнього ходу впускні та випускні клапани закриваються та паливна суміш в циліндрі стискується. Під час ходу стиснення поршень здійснює роботу у відношенні паливної суміші, тому значення температури та тиску будуть підніматися до рівня, що перевищує рівень самозайняття газового палива. Відбувається займання паливної суміші із виділенням великого значення теплової енергії із значним розширенням газової суміші.

Гаряча газова суміш із великим значенням розширення тисне на поршень та тепла енергія згоряння паливної суміші перетворюється у механічну енергію поршня. Це єдиний рух поршня, при якому він поглинає теплову

енергію згоряння палива. Через те, що загалом система є інертною, поршень знову рухається вгору, при цьому витискаючи газову суміш з простору циліндру через випускні клапани, які відкриваються, та відбувається викид продуктів згоряння з камери. Далі знову відбувається цикл рухів поршню під дією теплової енергії.

Такий цикл рухів називається тактом. Кожний такт складається з чотирьох ходів поршню із відповідним обертанням вихідного валу двигуна:

- перший хід – впуск («вдих»);
- другий хід – стиснення;
- третій хід – розширення (робочий хід циліндру);
- четвертий хід – випуск (вихлоп).



Чим більша кількість циліндрів встановлена в двигуні, тим більш «рівною» буде робота двигуна.

При роботі двигуна спостерігається сильна вібрація. Тому двигун монтується на міцній конструкції, яка частково пригнічує великі значення вібрації.

Вихідний вал двигуна з'єднаний із генератором електричного току. Механічна енергія обертання валу передається через ротор електричного генератора. З генератора утворена електроенергія по системі ліній електропередачі подається в єдину мережу електропостачання.

ТОВ «ТІС ЕКО» для забезпечення технологічних потреб вироблення електроенергії у енергетичній когенераційній установці для потреб загального користування шляхом спалювання біогазу експлуатує когенераційну установку TSU-200 BG (UMGS 200 KГУ), яка представлена у контейнерному виконанні модульного типу, складається з наступних основних технологічних вузлів (модулів): газопоршневого двигуна, налаштованого для роботи на збіднених газових сумішах, синхронного генератора з повітряним охолодженням і системою утилізації тепла при роботі двигуна.

Основне технологічне обладнання, з якого складається зазначена установка:

- базовий двигун DoosanP180LE;
- генератор перемінного струму MarelliMJB355SA4B.

Загальний вигляд та схема улаштування когенераційної установки наведені нижче на рисунку.

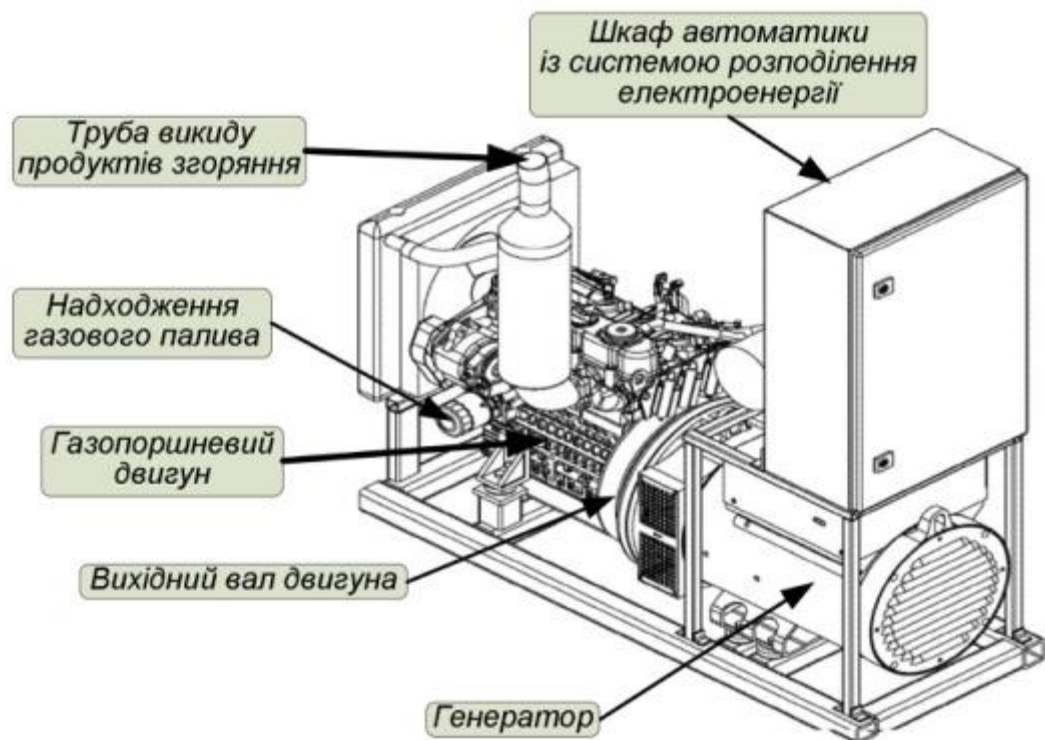


Рис. 29 – Загальний вигляд улаштування газопоршневої когенераційної установки

Змащення поршнів двигуна енергетичної установки забезпечується потоком масла під тиском. Вихлопні гази відводяться через збірний колектор установки. Корпус та блок циліндрів представляють собою єдиний литий вузол. Корпус переходить в блок, що складається з 12-ти циліндрів, розташованих в два ряди. Колінчастий вал виготовлений із загартованої хромомолібденової сталі. Підшипникові вкладиші виготовлені зі свинцю/бронзи зі сталевою спинкою. Штамповані шатуни також виконані з хромомолібденової сталі.

Поршні зроблені з алюмінієвого сплаву з дуже низьким коефіцієнтом теплового розширення. Завдяки спеціальній конструкції камери згоряння не відбувається пошкодження поршнів і клапанів при виході з ладу зубчастого ременя приводу механізму газорозподілу.

Двигун має циркуляційну систему змащення під тиском. Всі вузли системи змащування маслом є закритими та герметичними. Масло подається з масляної ванни насосом з шестерним приводом. Очищення мастила відбувається в масляному фільтрі з паперової вставкою. Фільтр розташований на головній магістралі маслопроводу. З головної магістралі очищене масло розподіляється по різним масляним каналах. Мастило надходить до корінних і шатунних підшипників колінчастого вала, цапфу поршнів, опорам розподільного вала, клапанним важелів і одночасно через сопла охолоджує днища поршнів. Всі вузли системи змащування маслом є закритими та герметичними.

Двигун енергетичної установки має замкнуту систему охолодження. Насос подає охолоджуючу рідину спочатку до корпусу двигуна. По внутрішнім каналам корпусу охолоджуюча рідина надходить до гільз та голівок циліндрів. Система охолодження двигуна складається з відцентрового насоса з електроприводом, запобіжного клапана і мембранного розширювального бака. Всі вузли системи охолодження є закритими та герметичними.

Викид продуктів згоряння газового палива відбувається через димову трубу, змонтовану безпосередньо на збірний колектор вихлопних газів від

установки.

Для роботи енергетичної когенераційної установки TSU-200 BG (UMGS 200 КГУ) ТОВ «ТІС ЕКО» використовує звалищний газ (біогаз), який збирається з полігону твердих побутових відходів (ТПВ) та надходить до установки по системі газопроводів та колекторів.

Основні технологічні параметри установки наведені нижче.

Основні дані:

Електрична потужність	кВт	200
-----------------------	-----	-----

Стандартні виробничі умови:

Тиск повітря	мбар	1000
Висота над рівнем моря	м	100
Температура повітря	°C	25
Відносна вологість	%	30

Паливний газ:

теплотворна здатність	кВт*год/м ³	3,18
кількість газу	нм ³ /час	187

Потужність і ККД

Споживання енергії (+/- 5%)	кВтч/кВт*ч ел.	2,98
механічна потужність	кВт	217
відведена електрична потужність при $\cos f = 1$	кВт	202
електричний ККД	%	33,6

5.2 Розрахунок уражаючих факторів при можливих аваріях

При пошкодженні герметичності технологічних систем запропонованої газової когенераційної установки, існує ймовірність виникнення вибуху та пожежі. З метою визначення зони ураження та встановлення доцільності використання цієї установки, в даній роботі було проведено ряд розрахунків. Енергетичними показниками вибухонебезпечності газових когенераційних установок є наступні критерії:

Загальний енергетичний потенціал установки - (Е), що характеризується сумою енергій адіабатичного розширення парогазової фази, повного згоряння наявних і новоутворених з рідини парів за рахунок внутрішньої і зовнішньої енергії при аварійному розкритті обладнання, кДж.

- Загальна маса горючих парів вибухонебезпечної парогазової хмари (m)приведена до єдиної питомої енергії згоряння, кг.
- Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки (Ов)технологічного блоку.

Розрахунки:

Маса метану, що міститься в корпусі та технічних збірниках газу вкогенераційній установці за даними технічних характеристик [30]:

$$V (\text{газу}) = 2 \text{ м}^3;$$

$$1 \text{ м}^3 (\text{газу}) = 2 \text{ кг};$$

$$G_{\text{теоретичне}} (\text{газу}) = 2 \text{ кг};$$

$$G_{\text{практичне}} (\text{газу}) = 2 \cdot 0,85 = 1,7 \text{ кг}.$$

Знаходимо загальний енергетичний потенціал вибухонебезпеки (E) когенераційної установки [42-43]:

$$E = \Sigma G \cdot q;$$

де: G – маса метану в корпусі та технічних збірниках газу, q_i – питома теплота згорання газу, кДж/кг;

$$q = 49800 \text{ (кДж)}; E = 1,7 \cdot 46300;$$

$$E = 78\,710 \text{ (кДж/кг)}.$$

Знаходимо загальну масу горючих газів вибухонебезпечної парогазової хмари (m), приведеної до єдиної питомої енергії згорання, яка дорівнює 46000 кДж/кг:

$$m = E / 4,6 \cdot 10^4 \text{ (кг)};$$

$$m = 78\,710 / 46000;$$

$$m = 1,711 \text{ (кг)}.$$

Знаходимо відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки (Q_v) когенераційної установки за формулою:

$$Q_v = (1 / 16,534) \cdot \sqrt[3]{E};$$

$$Q_v = (1 / 16,534) \cdot \sqrt[3]{78\,710};$$

$$Q_v = 2,592$$

За значеннями відносного енергетичного потенціалу (Q_v) і приведеної маси метану (m) газова когенераційна установка відноситься до III класу вибухонебезпеки.

Розрахунок зон дії вражаючих факторів вибухів проводять з розрахунку тротилового еквіваленту вибуху парогазового середовища.

Тротильовий еквівалент вибуху парогазового середовища (W_T), який визначається за умовами адекватності характеру і ступеня руйнування при вибухах парових хмар і концентрованих ВР, розраховуємо за формулою:

$$W_T = \frac{0,4q'}{0,9q_T} \cdot z \cdot m,$$

де: W_T - тротиловий еквівалент, кг; 0,9 - частка енергії вибуху тринітротолуолу (ТНТ), що витрачається на формування ударної хвилі; 0,4 - частка енергії вибуху парогазового середовища, що витрачається безпосередньо на формування ударної хвилі; q' - питома теплота згорання парогазового середовища, кДж/кг; q_T - питома енергія вибуху ТНТ, кДж/кг. Для розрахунку тротилівих еквівалентів приймається теплота детонації тротилу, що дорівнює 4520 кДж/кг. z - частка приведеної маси пари, що бере участь у вибуху, m – приведена маса ПГС, кг (з розрахунку енергетичного потенціалу).

Для неорганізованих парових хмар в незамкненому просторі з великою масою горючих речовин, частка участі речовини у вибуху z може прийматися рівною 0,1.

$$W_T = \frac{0,4 \cdot 78710}{0,9 \cdot 4520} \cdot 0,1 \cdot 1,711$$

$$W_T = 1,324 \text{ кг.}$$

Радіуси зон руйнування визначаємо за формулою:

$$R = K \cdot R_0;$$

де: при $m < 5000$ кг

$$R_0 = \frac{\sqrt[3]{W_T}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_T}\right)^2\right]^{1/6}};$$

$$R_0 = \frac{\sqrt[3]{1,324}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{1,324}\right)^2\right]^{1/6}};$$

$$R_0 = 0,09 \text{ м.}$$

Тоді:

- радіус зони повного руйнування будівель і смертельної небезпеки

для людей:

$R_1 = K_1 \cdot R_0 = 3,8 \cdot 0,09 = 0,342$ м – радіус зони з надлишковим тиском в передбачуваному епіцентрі вибуху $\Delta P \geq 100$ кПа;

- радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін і смертельної небезпеки для людей:

$R_2 = K_2 \cdot R_0 = 5,6 \cdot 0,09 = 0,504$ м – радіус зони, за межами якої надлишковий тиск на фронті передбачуваної ударної хвилі $100 \text{ кПа} < \Delta P < 70 \text{ кПа}$;

- радіус зони середніх руйнувань будівельних конструкцій і смертельної небезпеки для людей на відкритій місцевості:

$R_3 = K_3 \cdot R_0 = 9,6 \cdot 0,09 = 0,864$ м - радіус зони, за межами якої надлишковий тиск на фронті передбачуваної ударної хвилі $70 \text{ кПа} < \Delta P < 28 \text{ кПа}$;

- радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних проїомів, легкоскидних крівель) і тяжкого травмування людей на відкритій місцевості:

$R_4 = K_4 \cdot R_0 = 28 \cdot 0,09 = 2,52$ м - радіус зони, за межами якої надлишковий тиск на фронті передбачуваної ударної хвилі $28 \text{ кПа} < \Delta P < 14 \text{ кПа}$;

- радіус зони часткового руйнування застелення, безпечної для людей на відкритій місцевості:

$R_5 = K_5 \cdot R_0 = 56 \cdot 0,09 = 5,04$ м - радіус зони, за межами якої надлишковий тиск на фронті передбачуваної ударної хвилі $14 \text{ кПа} < \Delta P < 2 \text{ кПа}$.

За даними розрахунків видно, що радіуси зон руйнування будуть настільки малими, що в зону ураження потраплятиме лише обладнання самої установки. Таким чином, можна зробити висновок, що дана модель установки є досить безпечною в плані вибухо- та пожежонебезпеки.

Висновки:

Нова українська стратегія управління відходами до 2030 року передбачає перехід від видалення відходів на звалища та полігони до системи комплексного поводження з ТПВ. На практиці це означає досягнення у 2030 році показника перероблення 50% побутових відходів від загального обсягу їх утворення, введення в експлуатацію додаткових сміттесортувальних ліній та сміттєпереробних заводів, створення в рамках пілотних проектів об'єктів з виробництва палива з побутових відходів (SRF) на базі об'єктів механіко-біологічного оброблення за умови їхнього наближеного розташування до цементних заводів, запровадження в Україні низки пілотних проектів з біологічної стабілізації змішаних побутових відходів.

Доцільність енергетичної утилізації може визначатись зменшенням кількості відходів, що відправляються на захоронення, та збільшенням терміну експлуатації нових регіональних полігонів. Досвід розвинених країн показує, що роздільний збір і повторне використання розвиваються одночасно з енергетичним використанням ТПВ, конкуруючи певною мірою за сировину, але не суперечачи одне одному.

З технологічної точки зору найбільш простими є проекти збору та утилізації біогазу, далі за ускладненням йдуть ручні та автоматичні сортувальні лінії, кондиціонування ТПВ, аеробні та анаеробні методи, термічна утилізація підготовлених (RDF/SRF) і змішаних ТПВ. Зі збільшенням складності технології зростають питомі капітальні витрати на їх реалізацію.

Впровадження будь-яких методів переробки вимагає консолідації системи поводження з твердими побутовими відходами на регіональному рівні з потенціалом принаймні 100 тис. т ТПВ в рік або більше. Для такого проекту задовільні економічні показники демонструє механічно-біологічне оброблення ТПВ з отриманням біогазу та подальшими виробництвом і продажом електроенергії за зеленим тарифом.

Іншою перспективою є виробництво твердого палива з ТПВ (SRF) для подальшого застосування в цементній промисловості. Складність такого підходу обумовлена відсутністю в Україні відповідного законодавства і, як наслідок, наявною зараз невизначеністю умов передачі / продажу палива цементним заводам.

При наявному рівні економіки в Україні можуть розвиватися тільки відносно прості проекти переробки, вибір може визначатися принципом «розумної достатності». Відповідно до цього принципу вже реалізуються проекти збору та утилізації біогазу, використання ручних сортувальних ліній, плануються проекти МБО за умови концентрації ресурсів понад 100 тис. т/рік.

Спалювання ТПВ залишається найдорожчим методом його утилізації. Для реалізації в Україні термічних проектів з використанням обладнання європейських постачальників економічні умови поки відсутні. Такі проекти можуть бути реалізовані тільки в разі істотного зниження капітальних витрат без втрати якості газоочистки або підвищення тарифу на переробку ТПВ.

Можливі варіанти зниження вартості термічної утилізації:

1. Відмова від будівництва МСЗ для спалювання змішаних відходів на користь виробництва RDF/SRF для цементних заводів і спеціалізованих твердопаливних котелень/ТЕЦ.
2. Орієнтація на системи ЦТ великих міст, відмова від виробництва електроенергії на користь тепла, відповідна економія на обладнанні, що виробляє електроенергію (відсутність паротурбінної групи).
3. Зниження капітальних витрат за рахунок максимального використання потенціалу місцевих виробників обладнання.

Наявний тариф на поводження з ТПВ покриває переважно витрати на перевезення відходів до місць захоронення, проте саме захоронення оплачується за залишковим принципом. Вартість будівництва майбутніх об'єктів поводження з ТПВ, як регіональних керованих полігонів, так і сміттєпереробних комплексів, істотно перевищує наявний обсяг сплачених послуг в сфері поводження з ТПВ. Тому в Україні назріла необхідність використання тарифів на переробку та захоронення, які б забезпечували експлуатацію на необхідному техніко-екологічному рівні і включали б певну складову для реалізації інвестиційних проектів.

Список використаної літератури:

1. Тверді побутові відходи в Україні: Потенціал розвитку. Сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами [Текст] // Міжнародною фінансовою корпорацією (ШС, Група Світового банку). - Київ. - 2015. - 114 с.
2. Закон України «Про відходи» (м. Київ, 04.10.2018 р., № 187/98-ВР). [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/go/187/98-вр>
3. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: Навчальний посібник / За ред. В.К. Хільчевського. - К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. - 152 с.
4. ДБН В.2.4.-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів, Основні положення проектування».
5. 6. Концепція комплексного вирішення проблеми твердих побутових відходів // Звіт ВАТ "Гірхімпром" та ВГХС АГНУ, Автори: Зозуля І.І., Гайдін А.М., Дяків В.О. Львів. - 2007.
6. 7. Про дослідження з оцінки екологічного та санітарно-гігієнічного стану територій, прилеглих до Львівського полігону твердих побутових відходів // Звіт ВАТ "Геотехнічний інститут". Автори: Волошин П.К., Цегелик Р.О., Бірук С.В. - Львів. - 2005.
7. 8. Матвеев Ю.Б. Потенциал снижения эмиссии парниковых газов на полигонах ТБО Украины // Матер. III Междунар. Конф. "Сотрудничество для решения проблемы отходов", Харьков. - 2006.
8. 9. Черп О. М., Вініченко В.Н. Проблема твердих побутових відходів: комплексний підхід. — <http://www.ecologia.nier.org>.
9. Мислюк Є.В. До питання про утилізацію твердих побутових відходів / Є.В. Мислюк, О.О. Мислюк // Хімічні технології і екологія: Вісник ЧДТУ. — 2008. — №3. — С.177-182.
10. Оцінка впливу на навколишнє середовище полігону по захороненню твердих побутових відходів МКП "Збиранка". Львів, 2001р.

11. Обращение с отходами мусоросжигания в Европе. (Электронный ресурс) / Режим доступа :<http://www.solidwaste.ru/publ/view/524.html>
12. Тверді побутові відходи: джерела утворення та екологічний аспект проблеми [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://osvita.ua/vnz-/reports/ecology/21366>.
13. Радовенчик, В. М. Тверді відходи: збір, переробка, складування: навчальний посібник / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. —К: Кондор, 2010.
14. Твердые бытовые отходы / А.М. Касимов, В.Т. Семенов, А.М. Коваленко, А.М. Александров. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 301с.
15. Получение свалочного газа – экономия первичных природных энергоресурсов / А.М. Шаимова, Л.А. Насырова, Г.Г. Ягафарова, Р.Р. Фасхутдинов // Сб. тезисов Междунар. научно – практ. конф. «Нефтегазопереработка и нефтехимия». – 2006, –Уфа, 2006.- С. 246-248.
16. Обращение с отходами мусоросжигания в Европе. (Электронный ресурс) / Режим доступа: <http://www.solidwaste.ru/publ/view/524.html>
17. Утворення та поводження з відходами в Україні / [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
18. Інтерактивна мапа сміттєзвалищ України / [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ecomapa.gov.ua/>
19. Технічні характеристики когенераційної установки / [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://madek.ua/content_files/products/-cogeneration/Gas/PG620B1.pdf
20. Біогаз із осадів стічних вод муніципальних каналізаційних очисних споруд в Україні. Перспективи виробництва/ Мальований М.С. та ін. Хімічна промисловість України. 2015. № 6(13). С. 34-39.
21. Аналіз екологічної небезпеки існуючих сміттєзвалищ та стратегія її мінімізації (на прикладі Грибовицького сміттєзвалища) / Мальований Мирослав, Слюсар Віра, Серeda Андрій, Стокалюк Олег. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2017. № 1 (15). С.5-11.

22. Система утилізації біогазу та тепла з масиву полігону твердих побутових відходів / Гвоздевич О. В., Стефаник Ю. В., Гронський Я. Й., Горбаль Б. М. // Деклараційний патент України №58244 А МПК 7 E21C 41/00 F23G 5/34. – Опубл. 15.07.2003 р. Бюл. Пром. Власн. – 2003, №7.
23. Попович В. В. Вплив продуктів горіння полігонів твердих побутових відходів на організм людини та біоту / В. В. Попович, В. П. Кучерявий // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2012. – № 20. – С. 60-66.
24. Попович В. В. Горіння полігонів твердих побутових відходів як загроза здоров'ю людини та фактор техногенного навантаження на довкілля / В. В. Попович, В. П. Кучерявий // Науково-теоретичний, науково-практичний журнал : «Вісник ДДАУ». – 2012. - № 1. – С. 162-166.
25. Попович В. В. Пожежна небезпека стихійних сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів / В. В. Попович // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2012. – № 21. – С. 140-147.