

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та  
аспірантської підготовки  
Кафедра екології та  
охорони довкілля

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: «Скорочення емісії парникових газів шляхом удосконалення системи ефективного поводження з твердими побутовими відходами (на прикладі Одеської області)»

Виконав студент 2 курсу групи МЕЕБ-61  
спеціальності 101 – Екологія  
Кіряк Вікторія Євгенівна

Керівник к.геогр.н., доц.  
Приходько Вероніка Юріївна

Рецензент д.е.н., проф.  
Губанова Олена Ростиславівна

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки  
Кафедра екології та охорони довкілля  
Рівень вищої освіти магістр  
Спеціальність 101 – Екологія  
Освітньо-професійна програма Екологічна безпека  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри** екології та охорони довкілля

Сафранов Т.А.  
“29” жовтня 2018 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Кіріак Вікторії Євгеніївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Скорочення емісії парникових газів шляхом удосконалення системи ефективного поводження з твердими побутовими відходами (на прикладі Одеської області України)

керівник роботи Приходько Вероніка Юріївна, к.геогр.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “05” жовтня 2018 р. № 271-”С”

2. Строк подання студентом роботи 10 грудня 2018 року

3. Вихідні дані до роботи дані Національного Кадастру антропогенних викидів із джерел і абсорбції поглиначами парникових газів в Україні (за різні роки), Звіту про стан поводження з твердими побутовими відходами в Одеській області за 2017 р., досліджень морфологічного складу твердих побутових відходів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) проаналізувати існуючі підходи щодо оцінки емісії парникових газів за різних методів поводження з ТПВ; 2) охарактеризувати ситуацію з ТПВ в Одеській області та сформуати масив вихідних даних для розрахунку емісії парникових газів; 4) виконати апробацію комплексного алгоритму оцінки емісії парникових газів (модель WARM); 5) розробити можливі сценарії поводження з ТПВ та оцінити емісію парникових газів за умов їхньої реалізації.

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

- Морфологічний склад ТПВ
- Структура викидів парникових газів в секторі «Відходи» та при захороненні ТПВ зокрема
- Часові зміни емісії парникових газів від різних компонентів ТПВ, що розкладаються на полігоні

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	<i>немає</i>		

7. Дата видачі завдання 29 жовтня 2018 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	<i>Аналіз літературних джерел щодо механізмів утворення парникових газів за різних методів поводження з твердими побутовими відходами</i>	29.10.18 - -02.11.18	98	5 (відм.)
2	<i>Опис розрахункових моделей емісії метану та інших парникових газів за різних методів поводження з твердими побутовими відходами</i>	03.11.18- -11.11.18	100	5 (відм.)
3	<i>Характеристика ситуації з твердими побутовими відходами в Одеській області та формування вихідних даних для розрахунків</i>	12.11.18- -18.11.18	96	5 (відм.)
	<b>Рубіжна атестація</b>	<b>19.11.18- -24.11.18</b>	<b>98</b>	<b>5 (відм.)</b>
4	<i>Розробка окремих підходів щодо вирішення проблеми побутових відходів в Одеській області та обчислення емісії парникових газів</i>	25.11.18- -28.11.18	96	5 (відм.)
5	<i>Комплексне моделювання утворення парникових газів за різних систем поводження з твердими побутовими відходами на прикладі Одеської області</i>	29.11.18- -01.12.18	96	5 (відм.)
6	<i>Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника</i>	02.12.18- -05.12.18	100	5 (відм.)
7	<i>Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи і презентаційного матеріалу до публічного захисту. Рецензування роботи</i>	06.12.18- -10.12.18	100	5 (відм.)
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		<b>98,0</b>	

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Кіряк В.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Приходько В.Ю.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Кіріяк В.Є. Скорочення емісії парникових газів шляхом удосконалення системи ефективного поводження з твердими побутовими відходами (на прикладі Одеської області України).**

*Актуальність теми.* Дослідження скорочення емісії парникових газів в умовах ефективного поводження з твердими побутовими відходами є актуальною задачею, оскільки накопичення твердих побутових відходів на полігонах і звалищах призводить до негативних екологічних наслідків.

*Метою роботи* є оцінка скорочення емісії парникових газів за умови ефективного поводження з твердими побутовими відходами на прикладі Одеської області.

*Об'єкт дослідження* – утворення парникових газів за різних методів поводження з твердими побутовими відходами.

*Предмет дослідження* – оцінка емісії парникових газів за різних варіантів поводження з твердими побутовими відходами на прикладі Одеської області.

*Методи дослідження.* Методологічною основою роботи є методики оцінки емісії парникових газів, а також комплексна методика Waste Reduction Model. При виконанні роботи були використані матеріали з статистичних доповідей та матеріали власних досліджень.

*Результати дослідження.* Визначили, що емісія парникових газів є індикатором оптимальності систем поводження з твердими побутовими відходами. За розрахованими на прикладі Одеської області результатами емісії парникових газів за трьома сценаріями поводження з твердими побутовими відходами визначили відмінності та основні фактори, що впливають на утворення парникових газів. Анаеробна ферментація органічних відходів характеризується меншою емісією парникових газів, аніж відкрите компостування. За допомогою комплексного моделювання Waste Reduction Model дійшли до висновку про необхідність комплексного використання компонентів твердих побутових відходів з найменшим утворенням парникових газів.

*Наукова новизна отриманих результатів* полягає в обґрунтуванні оцінки ефективності системи поводження з відходами з позиції зменшення викидів парникових газів.

*Теоретичне та практичне значення роботи* полягає в розробці підходу щодо оцінки оптимальності систем поводження з твердими побутовими відходами за критерієм емісії парникових газів. На прикладі Одеської області оцінені різні сценарії з використанням двох методичних підходів до визначення емісії парникових газів. Результати роботи можуть бути використані при розробці стратегії поводження з твердими побутовими відходами регіону.

*Структура та обсяг роботи.* Робота складається із переліку скорочень, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (35

найменувань). Робота містить 4 рисунки, 12 таблиць. Загальний обсяг роботи – 75 сторінок.

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, емісія, парникові гази, поводження з відходами, захоронення, спалювання, компостування.

## ABSTRACT

### **Kiriak V.E. Reduction of Greenhouse Gas Emissions of Enhanced System of efficient Management of Solid Municipal Waste (the Case Study of the Odessa Oblast of Ukraine).**

*Actuality of theme.* Research on the reduction of greenhouse gas emissions of enhanced system of efficient management of municipal solid waste is an actual task, since the accumulation of solid household waste at landfills leads to negative environmental impacts.

*The purpose* of the work is to estimate the reduction of greenhouse gas emissions in case of efficient management of solid waste on example of Odessa region.

*The object of research* is the emission of greenhouse gases of different methods of management of solid waste.

*Subject of research* - greenhouse gas emissions estimation of different variants of solid waste management on the example of Odessa region.

*Research methods.* The methodological basis of the work, the method of estimating greenhouse gases and Waste Reduction Model complex method. In work were used materials from the statistical reports and materials of own research.

*Research results.* We determined that emissions of greenhouse gases are an indicator of the optimality of waste management systems. Based on example of Odessa region, the results of greenhouse gas emissions in three scenarios of solid waste management have identified the differences and the main factors which influence on generation of greenhouse gases. Anaerobic fermentation of organic waste is characterized by a lower greenhouse gas emission than an open composting. With help of integrated modeling with Waste Reduction Model, we came to the conclusion that it is necessary to use complex components of the Municipal Solid Waste with the lowest greenhouse gas generation.

*The scientific novelty* is to substantiate the assessment of the efficiency of the waste management system from the standpoint of greenhouse gas emission reduction.

*The theoretical and practical significance* is to develop an approach to assess the optimality of waste management systems by the greenhouse gas emission criterion. On example of Odesa region, different scenarios are estimated using two methodological approaches to the determination of greenhouse gas emissions. The results of the work can be used in the development of the strategy of waste management in the region.

*Structure and scope of work.* The work consists of a list of abbreviations, introduction, three sections, conclusions, list of literature (35 sources names). The work includes 4 drawings, 12 tables. Total amount of work - 75 pages.

**Key words:** municipal solid waste, emission, greenhouse gases, waste management, landfill disposal, combustion, composting.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ПОВОДЖЕННЯ З НИМИ.....	14
1.1 Проблеми та екологічні наслідки неефективних схем поводження з твердими побутовими відходами.....	14
1.2 Організація системи поводження з твердими побутовими відходами.	15
1.3 Основні методи поводження з твердими побутовими відходами.....	16
1.4 Програми поводження з твердими побутовими відходами, які діють в Україні.....	21
1.5 Сучасний стан сфери поводження з твердими побутовими відходами в Україні та в Одеській області.....	30
2 УТВОРЕННЯ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПРИ РІЗНИХ МЕТОДАХ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ.....	34
2.1 Захоронення твердих побутових відходів.....	34
2.2 Інсінерація та відкрите спалювання твердих побутових відходів.....	35
2.3 Компостування твердих побутових відходів.....	38
2.4 Методи кількісної оцінки викидів парникових газів при видаленні відходів.....	39
2.5 Метод кількісної оцінки викидів парникових газів при біологічній обробці відходів.....	42
2.6 Метод кількісної оцінки викидів парникових газів при інсінерації відходів.....	44
2.7 Метод кількісної оцінки емісії парникових газів за моделлю Waste Reduction Model при різних методах поводження з твердими	



	побутовими відходами.....	47
3	ОЦІНКА ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПРИ РІЗНИХ СИСТЕМАХ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ДЛЯ УМОВ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	51
3.1	Загальна характеристика сфери поводження з твердими побутовими відходами в Одеській області.....	51
3.2	Характеристика вихідних даних щодо сфери поводження з твердими побутовими відходами Одеської області.....	52
3.3	Оцінка емісії парникових газів при захороненні твердих побутових відходів.....	55
3.4	Оцінка емісії парникових газів від компостування твердих побутових відходів.....	59
3.5	Оцінка емісії парникових газів від спалювання твердих побутових відходів.....	61
3.6	Використання моделі Waste Reduction Model при оцінці емісії парникових газів.....	65
	ВИСНОВКИ.....	68
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	71
	ДОДАТКИ.....	76

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АП	-	атмосферне повітря;
ВВ	-	вуглеводні;
ЖЦМ	-	життєвий цикл матеріалу;
ЗР	-	забруднюючі речовини;
КП	-	комунальне підприємство;
МБО	-	механіко-біологічна обробка;
МВВ	-	місця видалення відходів;
НПС	-	навколишнє природне середовище;
НЛОС	-	неметанові леткі органічні сполуки;
СЛ	-	сортувальні лінії;
СПК	-	сортувально-переробні комплекси;
СПС	-	сортувально-перевантажувальні станції;
ПГ	-	парникові гази;
ТПВ	-	тверді побутові відходи;

## ВСТУП

На сьогодні проблема накопичення побутових відходів є дуже актуальною як в Україні, так і для світової спільноти. Велика кількість звалищ, які не обладнані належним чином (не мають захисного укриття для ґрунту, трубопроводів для збору біогазу і т.д.) сприяє погіршенню екологічного стану територій, на яких розміщені звалища, а також несе серйозну загрозу для здоров'я і навіть життя людей.

Раніше людство вирішувало проблему накопичення відходів двома способами: спалюванням на відкритих звалищах чи у спеціальних печах; захороненням. І з часом стало зрозуміло, що ці методи мають суттєві недоліки: забруднення повітря через спалювання, вимивання забруднюючих речовин (ЗР) у ґрунти та попадання їх у підземні води, інтенсивне утворення метану та просідання ґрунту при захороненні. Отже, новим шляхом подолання проблеми може стати вторинна переробка відходів (рециклінг), завдяки якому ТПВ переробляються у нові матеріали або енергію (завдяки спалюванню на спеціально облаштованих заводах).

Якщо ж захороненню ТПВ неможливо запобігти, то необхідно використовувати енергетичний потенціал місць захоронення. На сьогодні в світі реалізовано більше тисячі проектів по використанню звалищного газу. Більше 150 полігонів ТПВ експлуатуються як газові родовища, 80% з них знаходяться в США, Німеччині та Великобританії. В значних обсягах біогаз видобувається та утилізується в розвинутих західних країнах: Нідерланди, Франція, Данія, а максимальна кількість біогазових установок діє в Китаї [1].

Для деяких полігонів України виробництво біогазу може складати 350-2400 м<sup>3</sup>/год (приблизно 190-1200 м<sup>3</sup>/год метану), такі показники являють собою інтерес для видобутку газу на комерційній основі. Напрямки використання біогазу різноманітні (від безпосереднього спалювання в теплових установках різної продуктивності до спільного вироблення теплової та електричної енергії

або підживлення біогазом мереж природного газу). Але досі в багатьох містах України існують лише плани будівництва систем збору та утилізації біогазу у Харкові, Львові, Одесі та ін.

У разі відсутності системи збору біогазу, місця захоронення стають джерелами забруднення НПС. Оскільки ТПВ характеризуються високою вологістю (за рахунок харчових та інших органічних відходів), а місця захоронення не мають захисту від атмосферних опадів це призводить до накопичення фільтрату і подальше забруднення ним поверхневих і підземних вод. Полігон ТПВ також представляє собою біохімічний реактор, в товщі якого в процесі експлуатації та після неї на протязі ще декількох десятиріч у результаті анаеробного розкладу органічних ТПВ утворюється біогаз, що складається з метану 55-70 % та діоксиду вуглецю 30-45%, які є парниковими газами (ПГ). Отже, утворення цих ПГ в тілі полігону перетворює його на джерело забруднення атмосферного повітря (АП) і сприяє самозайманню місць видалення ТПВ [2].

Метою роботи є оцінка скорочення емісії ПГ за умови ефективного поводження з ТПВ на прикладі Одеської області. Для досягнення мети були поставлені та реалізовані такі завдання:

1) проаналізувати сучасний стан проблеми ТПВ в Україні та в Одеській області, охарактеризувати основні методи поводження з ними та механізми утворення ПГ при цьому;

2) охарактеризувати розрахункові моделі для визначення емісії ПГ за різних методів поводження з ТПВ, сформулювати масив вихідної інформації для розрахунків;

3) запропонувати різні моделі поводження з ТПВ в області та порівняти їх за емісією ПГ;

4) використати альтернативну модель розрахунку утворення ПГ WARM та провести порівняння моделей поводження з ТПВ за утворенням ПГ

Об'єкт дослідження – утворення ПГ за різних методів поводження з ТПВ.  
Предмет дослідження – оцінка емісії ПГ за різних варіантів поводження з ТПВ на прикладі Одеської області.

Матеріали та результати досліджень опубліковані в збірнику наукових праць «Вопросы наук о земле в концепции устойчивого развития Беларуси» (ГГУ им. Ф. Скорины, 2017), представлені на щорічній міжнародній науково-технічній конференції «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів"» (ХНУ, 2018); міжнародній науковій конференції молодих вчених «Регіональні проблеми охорони довкілля» (ОДЕКУ, 2018); 5-му Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (НУ «Львівська Політехніка», 2018), конференції молодих вчених (ОДЕКУ, 2018).

## 1 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ПОВОДЖЕННЯ З НИМИ

Оскільки існує проблема поводження з ТПВ, ми маємо дати визначення основних термінів, що стосуються цієї сфери.

Отже, ТПВ – відходи, що утворюються в процесі життєдіяльності людини в житлових та не житлових будинках (крім відходів, які пов'язані з виробничою діяльністю підприємств) і не використовуються за місцем їх накопичення.

Поводження з ТПВ – це дії, які націлені на запобігання утворенню ТПВ, їх збирання, перевезення, сортування, зберігання, оброблення, перероблення, утилізацію, видалення, знешкодження і захоронення, включаючи контроль за цими операціями та нагляд за місцями видалення [3].

### 1.1 Проблеми та екологічні наслідки неефективних схем поводження з твердими побутовими відходами

Розміщення відходів на полігонах та звалищах обумовлено невисоким рівнем економічного розвитку, відсутністю державних профільних виробництв, економічною нерентабельністю переробки сміття, невідповідністю законодавчої бази довгостроковій стратегії поводження з ТПВ і т.д.[4].

До теперішнього часу не існує єдиної системи регламентуючих документів для твердих побутових та прирівняних до них відходів. Одні документи визначають умови поводження з ТПВ, інші – з промисловими, медичними, біологічними відходами, треті – з відходами виробництва та споживання.

При транспортуванні відходів не рідко не враховується необхідність мінімізації прогону автотранспорту, який сам є значним джерелом забруднення АП.

Застаріла система знешкодження ТПВ в Україні заснована на захороненні ТПВ. Проблема збільшується тим, що через відсутність роздільного збору ТПВ в загальний контейнер, іноді і рядом з ним, разом із полімерною, скляною, металевою тарами, макулатурою, харчовими відходами викидаються ліки з простроченим терміном придатності, тари з залишками ядохімікатів, лаків, фарб та ін. ТПВ можуть мати різний ступінь хімічного забруднення та представляти токсикологічну небезпеку. В побуті в наш час застосовується більше 100 речовин чи продуктів, які визначаються як небезпечні. Виділяють важкі метали (кадмій та нікель в батарейках, побутовій електроніці, пластиках, фарбах; свинець - в фарбах, електропроводках, акумуляторах автомобілів; ртуть - в люмінесцентних лампах і т.д.). Епідеміологічна небезпека ТПВ пов'язана з їх біологічним забрудненням (наявністю в них патогенних бактерій, простіших, вірусів та гельмінтів) та роллю у розмноженні епідеміологічно значимих синантропів (пацюків та мух). Епідеміологічна небезпека поширюється при порушенні системи збору, видалення, знешкодження відходів лікувально-профілактичних закладів, які збираються і вивозяться на полігони захоронення ТПВ. Все це вивозиться на звалища ТПВ під видом мало небезпечних відходів. Часто звалища утворюють у вироблених кар'єрах, ярах, заболочених місцях поблизу населених пунктів, що не припустимо з еколого-гігієнічної точки зору. Нерідко такі звалища називають полігонами, однак вони не відповідають вимогам, які пред'являються до споруд по захороненню відходів, не мають гідро ізолюючої (бетонної, глиняної чи ін.) основи, яка попереджує поширення токсичних забруднень по водоносним горизонтам [5].

## 1.2 Організація системи поводження з твердими побутовими відходами

За останні 20 років відбулися принципові зміни в ідеології і техніці поводження з ТПВ. Спочатку превальювали сумарний спосіб і загальна переробка шляхом вивезення на санітарні звалища (полігони), компостування і спалювання. Потім в різних країнах (США, Великобританії, Франції,

Німеччині, Швейцарії, Італії та інших) стали проводитися роботи по механічній сепарації та роздільному збиранню ТПВ шляхом їх сортування населенням на кілька видів: харчові відходи, чорні і кольорові метали, скло, пластмаса, папір, картон і т. д. Для цих цілей використовується контейнери, ящики або мішки різного кольору. Зібрані в окремі ємності компоненти ТПВ підлягають роздільному транспортуванню на переробні підприємства.

Відсутність попереднього сортування ТПВ призводить до того, що розміщення відходів на МВВ та спалювання не відповідають сучасним санітарним вимогам та є джерелом забруднення НС. Сортування дозволяє вирішити дві найважливіші проблеми: по-перше, виділити високотоксичні матеріали (свинцеві акумулятори, ртутьвмісні лампи, хімічні джерела струму, хімікати і т.д.). Вони накопичуються у герметичних контейнерах і по мірі накопичення відправляються спеціалізованим організаціям на знешкодження чи використання; по-друге, вибираються матеріали (макулатура, пластик, скло, чорні та кольорові метали і т.д.), які можна повторно використати. Продаж таких матеріалів для вторинної переробки дозволить частково або повністю покрити затрати на попереднє сортування відходів.

Згідно з [6], 60-80% морфологічного складу ТПВ представляє собою потенційну сировину для використання в промисловості (35-45%) чи компостуванні (25-35%). Однак сортування попередньо змішаних та перевезених в єдиному сміттевозі ТПВ, дозволяє відокремити з їх складу не більше 11-15% вторинних ресурсів. При цьому практично неможливо використовувати органічні відходи.

### 1.3 Основні методи поводження з твердими побутовими відходами

В Національному Кадастрі антропогенних викидів і абсорбції поглиначами парникових газів визначено три основні методи поводження з ТПВ, які використовуються в Україні, а саме: "Видалення ТПВ", "Біологічна обробка" та "Інсінерація та відкрите спалювання" [7].



Найчастіше під видаленням ТПВ розуміється (згідно закону України "Про відходи"), розміщення ТПВ на поверхні землі або на полігонах у спеціально відведених для цього місцях без здійснення додаткових дій над відходами.

Зберігання та видалення ТПВ має здійснюватись відповідно вимогам екологічної безпеки. У всіх об'єктів розміщення ТПВ має бути спеціальний паспорт, в якому зазначаються код та назва відходів (відповідно до класифікатору відходів), характеристика відходів (кількісний та якісний склад), а також технічні характеристики об'єктів розміщення відходів. Обов'язковим є забезпечення можливості утилізації та захоронення залишкових продуктів за погодженням з центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері санітарного та епідемічного благополуччя населення.

Місця зберігання та видалення відходів визначаються органами місцевого самоврядування відповідно вимогам земельного та природоохоронного законодавства при наявності дозволу на здійснення операцій у сфері поводження з відходами, в якому визначені види та кількість відходів, загальні технічні вимоги, заходи безпеки, відомості щодо утворення, призначення, методів оброблення відходів відповідно до встановлених умов їх зберігання.

Визначені для зберігання та видалення ТПВ місця чи об'єкти повинні використовуватися лише для відходів, заявлених на одержання дозволу на здійснення операцій у сфері поводження з відходами.

Забороняється змішувати чи захоронювати ТПВ, для яких в Україні існує технологія утилізації. Несанкціоноване скидання і розміщення ТПВ у підземних горизонтах, на території міст та інших населених пунктів, на територіях природно-заповідного фонду, на землях природоохоронного, оздоровчого, рекреаційного та історико-культурного призначення, в межах водоохоронних зон та зон санітарної охорони водних об'єктів, в інших місцях, що може створювати небезпеку для НС та здоров'я людини також забороняється. Захоронення відходів у надрах допускається у виняткових

випадках за результатами спеціальних досліджень з дотриманням стандартів, норм і правил, передбачених законодавством України [3].

Біологічна обробка ТПВ. В Україні здебільшого цей метод обробки представлений компостуванням (тобто аеробною переробкою органічних відходів, таких як харчові, садово-паркові відходи і т.д., при якій виділяється переважно  $\text{CO}_2$ , внаслідок перетворення здатного до розкладу органічного вуглецю, при цьому кількості утворюваних сполук, таких як  $\text{CH}_4$  та  $\text{N}_2\text{O}$  достатньо малі), яке являє собою технологію переробки ТПВ, засновану на природному біологічному розкладі за участі бактерій. Компостування може відбуватися на звалищах і спорудах з переробки компосту з оптимізацією умов процесу, а також фільтрацією газу, який утворюється.

Іншим методом біологічної обробки є анаеробне зброджування, яке здатне прискорювати природний розклад органічного матеріалу без участі кисню з допомогою збереження показників температури, вмісту вологи та рівня рН, які близькі до оптимальних значень [8].

При анаеробному зброджуванні відбувається розклад високомолекулярних сполук (вуглеводів, жирів, білкових речовин) на низькомолекулярні органічні сполуки. На другому етапі при участі кислотоутворюючих бактерій відбувається подальший розклад з утворенням органічних кислот та їх солей, а також спиртів,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$ , а потім  $\text{H}_2\text{S}$  та  $\text{NH}_3$ . Остаточне бактеріальне перетворення органічних речовин у вуглекислий газ та метан відбувається на третьому етапі. Крім того, з  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2$  утворюється додаткова кількість метану та води. Метаногенез при цьому проходить за трьох умов: 1) відсутність доступу кисню; 2) температура, ріст мікроорганізмів можливий при температурі більше  $18^\circ\text{C}$ , найкраще процес протікає при температурі в інтервалі  $30-37^\circ\text{C}$  (мезофільний процес), також задовільні результати можна отримати при температурах  $55-60^\circ\text{C}$  (термофільний процес); 3) кислотність середовища існування мікроорганізмів (оптимальні значення рН мають знаходитись в інтервалі 6,5-8,5); 4) співвідношення азоту і вуглецю (оптимальне співвідношення  $\text{C/N}$  в інтервалі 16-19). Метод метанового

зброджування дозволяє отримувати біогаз, високоякісні добрива та білково-вітамінні кормові добавки, а також по суті є безвідходним [9].

Механічно-біологічна обробка (МБО) відходів набуває більшої популярності в Європі. При МБО відхідний матеріал піддається серії механічних і біологічних процесів, націлених на зниження обсягу ТПВ, а також на стабілізацію для зниження викидів при кінцевому видаленні. Дані процеси варіюються в залежності від застосування. Здебільшого, механічні процеси (сепарація, подрібнення, дроблення матеріалу) поділяють відхідний матеріал (органічні відходи, такі як харчові) на складові, які потім проходять подальшу (біологічну) обробку (компостування, анаеробну обробку, спалювання, переробку) [8].

Спалювання відходів. Метод спалювання (термічні методи знешкодження ТПВ) має такі переваги як: отримання електроенергії використовуючи теплоту згоряння ТПВ, яку можна використовувати для опалення будівель; надійне знешкодження відходів. Але, недоліків він також не позбавлений: необхідна надійна система очищення димових газів, так як при спалюванні ТПВ в АП виділяються хлористий і фтористий водень, сірчистий газ, оксиди азоту, а також метали і їх сполуки (Zn, Cd, Pb, Hg і т. д. в основному у вигляді аерозолів); в процесі горіння ТПВ утворюються діоксини, дифеніли, присутність яких у газах значно ускладнює їх очищення через малі концентрації цих високотоксичних сполук.

Різновидом процесу спалювання є піроліз - термічний розклад ТПВ без доступу повітря. Застосування піролізу дозволяє зменшити вплив ТПВ на НС і отримувати такі корисні продукти, як горючий газ, масло, смоли і твердий залишок (пірокарбон).

Також, існує розроблена технологія термічної переробки ТПВ в барботованому розплаві шлаку. Основною її перевагою є вирішення загальносвітової проблеми з діоксинами: на виході з барботажного агрегату практично відсутні високотоксичні сполуки такі, як діоксини, фурани, поліароматичні вуглеводні). Високі температури процесу (1400-1600°C),

раціональна схема спалювання (ТПВ періодично подають в завантажувальний пристрій, потім у шлакову ванну, яка продувається повітрям, збагаченим киснем; далі ТПВ швидко занурюються в інтенсивно перемішуваний спінений розплав та за рахунок інтенсивної теплопередачі ТПВ піддаються швидкісному піролізу і газифікуються; мінеральна частина розчиняється в шлаку, а металеві предмети розплавляються, і рідкий метал опускається на подину), поєднання окислювально-відновного потенціалу газової фази і температурного режиму, зумовлюють низький вміст оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) та інших домішок в димових газах.

Існує безліч інших методів термічної обробки, які широко використовуються, або пройшли апробацію, серед них, наприклад: 1) спалювання ТПВ в печі з колосниковими ґратами або котлоагрегаті на колосникових ґратах різних конструкцій; 2) спалювання ТПВ в киплячому шарі інертного матеріалу (зазвичай пісок певної крупності); 3) «Піроксел» - електрометалургійний, що включає сушку, піроліз ТПВ, обробку мінерального залишку спалювання в жужільному розплаві, а також пилогазоочистку димових газів; 4) процес в агрегаті типу печі Ванюкова - плавка в розплаві та ін. [10].

В Україні на сьогодні працює один сміттєспалювальний завод "Енергія" в м. Київ. Проектна потужність його складає 350 тис. т на рік, фактично спалюється 250 тис. т на рік. Він був збудований у 1987 році, тоді було збудовано чотири котли чеської компанії Дукла. За період 2001-2004 роки завод працював зі збитками; на 2005-2012 роки значно знизилася використання газу за рахунок операційних поліпшень. З 2013 року розроблена стратегія заводу, згідно якої в три етапи має проходити його поступова модернізація: забезпечення повної загрузки заводу; будівництво перемички; модернізація котлів з заміною електрофільтрів; капітальний ремонт кранів ТПВ та шлакових відходів (ШВ); установка протитискової турбіни до трьох МВт; впровадження системи хімічної очистки димових газів.

Були впроваджені такі заходи:

1) на період 2004-2012 років була збільшена ефективність спалювання ТПВ за рахунок чотирьох факторів: установка системи збору інформації та контролю параметрів роботи установок; застосування системи гомогенізації ТПВ; удосконалення системи повітрянагрівачів; установка обладнання для радіаційного контролю сміття.

2) на період 2013-2014 років була забезпечена повна загрузка Заводу за рахунок підписання меморандуму з перевізниками ТПВ та зниження тарифу на утилізацію ТПВ для Заводу. Також було збудовано перемичку між заводом "Енергія" та зворотною тепломагістраллю ТМ-1 станції тепlopостачання "Позняки" (2 км); встановлено чотири теплообмінника потужністю по 13 Гкал кожний.

3) за 2015-2016 роки була здійснена модернізація двох котлів з заміною електрофільтрів: заміна екранів та водяних економайзерів; заміна обмурівки котла; заміна колосників валкових решіток; заміна електрофільтрів котлів.

Вже реалізовані заходи значно покращили техніко-економічні показники роботи заводу. Наприклад, відпуск теплової енергії збільшився на 117% (у 2015 році кількість енергії сягала 166 тис. Гкал, а після реконструкції 360 тис. Гкал). Викиди шкідливих речовин (ШР) також істотно зменшилися: викиди СО у 2015 році становили 235 мг/нм<sup>3</sup>, після реконструкції вони знизились до 50 мг/нм<sup>3</sup>; викиди оксидів азоту до модернізації становили 297 мг/нм<sup>3</sup> та 200 мг/нм<sup>3</sup> після реконструкції і т.д [11].

#### 1.4 Програми поводження з твердими побутовими відходами, які діють в Україні

Враховуючи вищезазначену інформацію, слід розглянути сучасний стан сфери поводження з ТПВ в Україні. Для цього проаналізуємо деякі програми, які існують на сьогодні у країні. Такі програми є в багатьох областях України: Дніпропетровській, Донецькій, Київській, Луганській, Одеській, Миколаївській, Полтавській, Сумській.

Розглянемо для прикладу "Програму поводження з відходами в Донецькій області на 2016-2020 роки". Серед завдань програми є здійснення переліку всіх видів місць видалення ТПВ та уточнення їх показників; аналіз мережі спостережень за екологічним станом та оцінка системи моніторингу; визначення основних проблем, пов'язаних з експлуатацією місць видалення ТПВ та аналіз цих проблем; виконання робіт по визначенню місцезнаходження об'єктів з допомогою системи GPS; розробка картографічного забезпечення щодо місць видалення ТПВ; розробка рекомендацій щодо удосконалення діючої системи моніторингу, зокрема щодо ведення фонових моніторингу; розробка заходів щодо роздільного збору ТПВ; ліквідація стихійних звалищ згідно діючого природоохоронного законодавства України і т.д.

Актуальні проблеми в цій галузі були враховані при розробці положень Програми поводження з відходами в Донецькій області на 2011-2015 роки, але заплановані заходи вирішення проблем залишаються актуальними, а деякі загострилися до межі. Станом на перше жовтня 2015 року в рамках "Програми поводження з відходами в Донецькій області на 2011-2015 роки" виконані лише наступні заходи: закінчена перша черга будівництва регіональних полігонів в м. Краматорськ та в м. Маріуполь; закінчено будівництво полігону в м. Ясинувата; придбана спеціалізована техніка та устаткування для регіональних полігонів в містах Краматорськ, Ясинувата, Горлівка; введено в дію сміттесортувальний завод в м. Краматорськ.

Взагалі схема поводження з ТПВ виглядає таким чином: Збір ТПВ - Вивіз ТПВ - Видалення на полігоні ТПВ. Альтернативні видаленню ТПВ на полігонах методи поводження з відходами не використовуються.

Програмою поставлені такі цілі:

- здійснення господарської діяльності у сфері збору, сортування, транспортування, переробки і утилізації ТПВ як вторинної сировини;
- залучення науково - технічного потенціалу для реалізації ефективних методів і розробок по проблемам обробки відходів та їх утилізації;

- впровадження технологій і заходів щодо зниження шкідливого впливу на НС;
- створення банку даних нових еколого-технічних розробок та їх впровадження.

Також для подальшого розвитку вирішення актуальних проблем цієї сфери в Донецькій області не можливо обійтись без виконання основних завдань, таких як: перегляд нормативно-правової бази в галузі поводження з ТПВ; розробка та впровадження комплексної системи управління у сфері поводження з ТПВ; розробка схем санітарної очистки територій міст та районів області з урахуванням приведення нормативів утворення відходів у відповідність з їх фактичним утворенням; зниження обсягу ТПВ, які підлягають видаленню, шляхом організації роздільного збору відходів як вторинної сировини; розвиток технологій переробки вторинної сировини; розвиток мережі підприємств, що здійснюють збір, переробку та знешкодження ТПВ; розробка системи поводження з небезпечними відходами у складі побутових та окремо; розробка системи поводження з медичними та подібними їм відходами; розвиток та вдосконалення системи моніторингу в сфері поводження з ТПВ; виховання екологічної культури населення та навчання безпечного поводження з відходами [12].

Програма поводження з ТПВ у Київській області на 2017-2020 роки. Як і в інших програмах у цій сфері, в програмі Київської області освітлені основні проблеми, які є загальними для України, і в тому чи іншому обсязі майже однакові у всіх областях. Це стосується взагалі погано розвинутої (або зовсім відсутньої) системи збору ТПВ в сільській місцевості; і не ефективної системи контролю за операціями, які здійснюються над відходами, і не закриті питання про виділення земельних ділянок під будівництво полігонів; зношеність транспорту з перевезення ТПВ; низькі ціни на збір та вивезення ТПВ і т.д. За даною програмою в Київській області пропонується впроваджувати комплексні

центри з утилізації відходів які матимуть власну мережу та на основі цієї мережі всі звалища, які не потрапляють в неї мають бути закритими.

Отже метою Програми є забезпечення максимально ефективного управління в сфері поводження з ТПВ, при якому буде здійснюватись повний збір, перевезення, утилізація та видалення ТПВ, а також їх знешкодження з метою обмеження шкідливого впливу на НС; збільшення потужностей з перевезення, переробки та утилізації ТПВ, використання їх як вторинну сировину.

В числі заходів, необхідних для виконання програми є такі: впровадження критих, відгороджених, укрупнених контейнерних майданчиків, які мають бути облаштовані згідно з діючими санітарними нормативами в містах і селищах Київської області; організація вивезення сміття з усіх населених пунктів; впровадження роздільного збору ТПВ; оновлення контейнерного господарства, парку спецмашин та техніки для експлуатації полігонів; вивезення на полігон тільки не утилізованої частки ТПВ (сміття з контейнерів з вологістю до 60%, не утилізований залишок після промислового сортування), яка підлягає захороненню.

Забезпечення екологічної безпеки на об'єктах поводження з ТПВ та їх ефективне використання буде реалізовано за таких умов:

- діючі полігони мають бути приведені у відповідність до санітарних вимог зокрема, через реалізацію обладнання полігонів системами інженерного захисту ПВ і поверхневих вод від забруднення токсичними компонентами ТПВ та спостережними свердловинами для контролю якості ПВ;

- відпрацьовані полігони ТПВ слід подавати на рекультивацію;
- вивезення і перезахоронення відходів на діючих полігонах або утилізація на сміттепереробних комплексах ТПВ, що знаходяться на звалищах, які вирішено ліквідувати;

- створення нових полігонів, переважно шляхом реконструкції існуючих сміттєзвалищ. Для захоронення ТПВ (на перехідний період до впровадження максимальної сміттепереробки) та не утилізованого залишку після переробки



ТПВ (10-20% загальної кількості ТПВ) передбачено створення нових полігонів та реконструкція існуючих, які відповідатимуть сучасним будівельним та санітарно-гігієнічним вимогам.

Для вирішення питань про розміщення об'єктів поводження з ТПВ було поділено область на сім блоків із врахуванням складу, властивостей, навантаження сміттєпереробних комплексів та методів збирання ТПВ. У всіх цих блоках пропонується будувати різні об'єкти поводження з ТПВ (перевантажувальні станції, сортувальні лінії (СЛ), сортувально-перевантажувальні станції (СПС), сортувально-переробні комплекси (СПК)). Ряд таких заходів має дозволити системі поводження з ТПВ стати сучасною та ефективною, а конкретніше, охопити послугами збирання ТПВ всю область, впровадити роздільний збір ТПВ, мати змогу залучити інвестиційні проекти, зменшити обсяги видалення ТПВ до 60%, модернізувати старі полігони і т.д. [13].

Регіональна Програма поводження з ТПВ у Луганській області. Проблеми згідно цій Програмі залишаються ідентичними з тими, які було зазначено у Програмах вище. Серед основних: низький рівень контролю, зношеність транспорту, відсутність співпраці територіальних громад, системи роздільного збору та нових сучасних об'єктів поводження з ТПВ. Луганську область поділено на 8 блоків для створення ефективною системи збирання та перевезення ТПВ. Також у кожному з цих блоків плануються нововведення у вигляді будівництва СЛ, пунктів переробки великогабаритних відходів та ремонтних відходів, пункти обробки органічної складової, компостування.

Також зазначено, що на всіх етапах програми мають здійснюватися такі заходи як: розміщення євроконтейнерів 1,1 м<sup>3</sup> для зменшення операційних витрат; встановлення змінних бункерів об'ємом 8-10м<sup>3</sup> з тією ж метою; проектування будівництва та облаштування контейнерних майданчиків для роздільного збору ТПВ під час проектування житлових будинків [14].

Програма поводження з ТПВ в Миколаївській області на період до 2020 року також розроблена для поліпшення стану сфери поводження з ТПВ,

зменшення негативного впливу на НС і т.д. Згідно програмі, в області більший відсоток утворення відходів припадає саме на ТПВ. Для міського населення послугами із санітарного очищення міст охоплюється від 50 до 100% населення, для сільського населення цей показник значно менше (до 25%), є і такі села, де такі послуги зовсім не надаються. Причинами низької ефективності заходів санітарного очищення територій названі такі: недосконалість місцевих нормативно-правових актів, відсутність відшкодування витрат на вивіз ТПВ, низькі тарифи на вивіз ТПВ, низький рівень матеріально-технічної бази спеціалізованих комунальних підприємств (застаріле обладнання), недостатня забезпеченість контейнерного парку для збору (у т.ч. роздільного) ТПВ, лише 10% звалищ паспортизовані.

Пріоритетним на сьогодні є вирішення завдань по зменшенню кількості ТПВ, які підлягають захороненню. Для цього необхідне забезпечення як мінімум двома контейнерами: для ресурсоцінних компонентів, як папір, пакети та для органічних відходів.

Вирішення комплексу питань, пов'язаних з поводженням з ТПВ повинно базуватись на визначенні основних пріоритетів і напрямів з урахуванням специфічних особливостей кожного населеного пункту, поєднанні зусиль органів державної виконавчої влади та місцевого самоврядування, утворювачів відходів, перевізників і контролюючих органів.

Деякі організаційні кроки у цьому напрямі вже зроблені.

ДП "Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства" Мінжитлокомунгоспу України здійснюється робота щодо розроблення проекту "Схема санітарного очищення та прибирання м.Миколаєва" за трьома етапами.

Перший етап – визначення обсягів накопичення ТПВ та проведення досліджень морфологічного та фракційного складу ТПВ.

Другий – розроблення техніко-економічного обґрунтування сміттє-переробного комплексу.

Третій – розроблення вихідних даних для проекту Схеми санітарної очистки та прибирання м. Миколаєва.

У м. Вознесенськ планується ввести в дію сміттесортувальний комплекс з метою організації процесу сортування, в м. Первомайськ розробляється інвестиційний проект "Будівництво сміттєпереробного заводу та полігону ТПВ", у м. Очаків – сміттєперевантажувальна станція та ділянка компостування органічних компонентів ТПВ, у м. Южноукраїнськ будівництво сміттєпереробного комплексу та ділянка компостування органічних відходів рослинного походження в суміші з осадами стічних вод міської каналізації. В основу функціонування заводу покладено принцип сортування ТПВ під час руху по конвеєрній лінії з наступним пресуванням залишку спеціальними пресами.

На першому етапі (2008-2014 роки) передбачалося поліпшити стан тих складових, які вже існують в області (забезпечити 100% збір ТПВ, облаштувати контейнерні майданчики, модернізація існуючих звалищ, ліквідація несанкціонованих звалищ і т.д.). На другому етапі (2015-2020 роки) планується вводити проекти роздільного збирання ТПВ, їх перероблення, налагодження системи сортування та збуту вторинної сировини [15].

Також розроблена нова Програма для Одеської області на період 2018-2022 роки, завдання якої аналогічні завданням програм інших областей. Програма має три етапи, на першому з яких мають виконуватися заходи по відновленню нормального функціонування системи поводження з ТПВ, яка вже існує (закупівля транспортних засобів для збору ТПВ, встановлення контейнерів для двох компонентного збору ТПВ (з виділенням органічної фракції) і т.д.).

На другий етап припадає підготовка модернізації системи поводження з ТПВ, тобто мають виконуватися організаційно-розпорядчі заходи, проектно-вишукувальні та будівельні роботи для створення базисної основи для створення комплексної системи поводження з ТПВ в Одеській області (за рахунок чого формується належний інвестиційний клімат для залучення

інвесторів). На цьому етапі має бути створено обласне комунальне підприємство (КП) поводження з ТПВ, проведене зонування області на 5 кластерів поводження з ТПВ, організація філій обласного КП в кожному кластері (4 філії); забезпечення розробки техніко-економічних обґрунтувань будівництва біогазових утилізаційних заводів (всього 4); відведення земельних ділянок для будівництва регіональних комплексів поводження з ТПВ (всього 4 комплекси); проектування, будівництво 1-ої черги регіональних полігонів ТПВ (всього 4 полігони, які включають спеціалізовану техніку, зважувальні платформи); проведення інвестиційного форуму та залучення інвесторів, проведення конкурсів на будівництво регіональних комплексів поводження з ТПВ (орієнтовно 4 комплекси); будівництво пілотного проекту біогазового заводу. Обласне КП буде забезпечувати реалізацію чотирьох основних функцій у сфері поводження з ТПВ: По-перше, збір та транспортування до полігонів ТПВ в малих населених пунктах та сільської місцевості. По-друге, проектування, будівництво та експлуатацію 4-х нових санітарних полігонів з щорічною масою більш 100 000 тон, що дозволить об'єднати рециклінг, утилізацію та захоронення ТПВ на одній площадці у єдиному циклі на економічно доцільній основі. По-третє, переробку ТПВ у синтез газ, біогаз та компост, що дозволить виробляти електричну та теплову енергію, а також овочі (у подальшому). По-четверте, здійснювати рекультивацію та закриття існуючих звалищ. Склад КП повинен мати наступний вигляд: 4 регіональні філії у складі служб полігонів, транспортних структур, переробних заводів (у майбутньому також біогазових заводів та енергоблоків) Керівна структура КП у складі інспекції ТПВ, бухгалтерії, інвестиційної групи.

У Програмі також пропонується план біогазового заводу на 100 тис. т на рік, який займає площу 180×150м.

Третій етап – власне модернізація системи поводження з ТПВ до європейських вимог (2023-2035 роки): реалізуються основні інвестиційні проекти, що формують технологічну та інфраструктурну базу для комплексної системи поводження з ТПВ в Одеській області згідно європейських стандартів.

До цього етапу відносяться заходи щодо проектування регіональних комплексів поводження з ТПВ в кожному кластері; будівництво регіональних комплексів поводження з ТПВ в кожному кластері; експлуатація регіональних комплексів поводження з ТПВ.

Планується що комплекси переробки і утилізації в кожному кластері будуть оснащені сортувально-переробною лінією; біогазовим заводом, теплицями (для вирощування сільськогосподарської продукції з використанням енергії та компосту з біозаводу), а самі регіональні полігони будуть оснащені ізоляцією від геологічного середовища, системою дренажу фільтрату, системою збору біогазу, потужним ущільнювачем для зменшення об'єму захоронення ТПВ.

Також наведений короткий опис біогазового заводу та енергоблоку для виробництва електричної і теплової енергії і компосту на основі технології "CombiTech", яка представляє собою поєднання процесів компостування без доступу кисню і газифікації з забезпеченням безвідходної переробки змішаних несортованих ТПВ з виробництвом біогазу і синтез-газу (які надалі використовуються як паливо в енергетичному блоці заводу). При цьому проект заводу передбачає прийом 100 тис. т ТПВ для переробки на рік; 26 тис. м<sup>3</sup> виробництва компосту; 108806 тис. кВт/г виробництва електроенергії; 169084 тис. кВт/г виробництва тепла, що потенційно має привести до зниження викидів ПГ на 33,6 тис.т CO<sub>2</sub> в рік.

Ще однією пропозицією є завод серії INTEC SG200. За цією технологією забезпечується утилізація всіх видів органічних ТПВ, а також токсичних і медичних відходів, що перероблюються в синтез-газ. Перевагами технології є відсутність спалювання, а отже і димових газів, а отже діоксинів та фуранів; завод є повністю закритою системою; забезпечується беземісійне виробництво синтез-газу.

Технічні показники заводу на 300 000тонн в рік: обсяги виробництва синтез-газу: 124,16 млн.м<sup>3</sup>; коксу - 25,3 тис. тонн; фактична вихідна потужність електрогенератора - 35 МВт; виробництво електроенергії - 280 тис. кВт/г.

Всього на виконання програми поводження з ТПВ планується виділити 4968260 тис. грн., з яких 440320 тис. грн. надходять з місцевого бюджету; 4527940 тис. грн. - кошти не бюджетних джерел[16].

В цілому по Україні робляться поодинокі кроки до більш раціонального поводження з ТПВ. Одним із таких кроків, наприклад, є проект "Компола" створений Міністерством екології та природних ресурсів та Міністерством освіти та науки України. Проект пропонує залучати дітей до екологічних проблем, удосконалювати їхню екологічну освіченість, шляхом розміщення на території шкіл компостерів для харчових відходів. На сьогодні 32 навчальних заклади отримали свою установку для компостування на основі конкурсу. Основними компонентами для початку компостування є компостер (термокомпостер з товстого пластику, об'ємом 900л), ємність для відходів (відра з кришками з харчового пластику), хробаки ("Старателі", 1500-2000 осіб можуть переробляти до двох кілограмів відходів кожен день). В компостер можуть подаватись такі компоненти: очистки сирих овочів та фруктів, скошена трава, заварка від чаю, залишки крупи, папір та картон, опале листя, шкарлупа від яєць, тонкі гілки. При цьому відходи необхідно чергувати таким чином: "коричневі – "зелені" – "коричневі" і т.д. Для попередження появи шкідників пропонується садити навколо кущі м'яти, лаванди або чорної бузини. Готовий компост застосовують для підживлення дерев [17].

Отже, в цілому з урахуванням заходів по всім перерахованим вище програмам можна казати, що основні шляхи збільшення ефективності сфери поводження з ТПВ пов'язані зі змінами нормативно-правової бази, приведенням існуючих систем цієї сфери у стан, оптимальний для подальшого розвитку та модернізації, а також із створенням нових технічних установок і введенням роздільного збору ТПВ.

1.5 Сучасний стан сфери поводження з твердими побутовими відходами в Україні та в Одеській області

Для комплексного і якісного аналізу проблеми поводження з відходами необхідно брати до уваги інформацію різних рівнів (національного або загального, регіонального (рівень області, регіону) та об'єктового (розгляд конкретного місця видалення відходів).

Також для повної характеристики проблеми необхідно мати інформацію щодо кількісних показників утворення ТПВ, які підлягають захороненню; параметри та показники місць видалення відходів (кількість, площа, час існування, проектна потужність і т.д.); морфологічний склад відходів (який є найбільш невизначеним блоком інформації через відсутність чіткої системи спостережень та дотримання методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу [18]).

Майже весь обсяг утворюваних в Україні ТПВ (94,1%) підлягають розміщенню на МВВ без попередньої обробки. В таких умовах ефективність системи поводження з ТПВ є низькою (не використовується можливість переробки, сортування та видалення ресурсоцінних компонентів). Кількість полігонів та сміттєзвалищ, станом на 2016 рік в Україні становила 5470 одиниць, з яких 305 (5,6 %) перевантажені, а 1646 одиниць (30%) не відповідають нормам екологічної безпеки. За експертними оцінками більше 99% полігонів, які функціонують, не відповідають європейським вимогам. Близько 27 тис. несанкціонованих звалищ утворюється щороку, внаслідок недостатнього контролю і відсутності належної системи поводження з ТПВ [19].

Щорічно готуються регіональні доповіді, статистичні огляди, спеціальні дослідження з приводу поводження з відходами, але ці документи основному містять дані про кількість відходів і площу полігонів та звалищ, що не дозволяє комплексно аналізувати екологічні наслідки для Одеської області [18].

Майже всі полігони не відповідають нормам екологічної безпеки в Одеській області (в т. ч. вимогам ДБН В.2.4-2-2005) та потребують реконструкції і рекультивації відповідно до нормативно-правових документів. Відсутність роздільного збирання відходів робить у багатьох випадках ТПВ

рівнозначними з промисловими за наслідками впливу на довкілля та здоров'я населення. Морфологічний склад ТПВ з кожним роком ускладнюється, включаючи в себе все більшу кількість екологічно небезпечних компонентів та речовин. Проблема екологічної безпеки ТПВ торкається всіх стадій поводження з ними, починаючи зі збирання і транспортування та закінчуючи підготовкою до використання утильних компонентів, знищенням або похованням фракцій, які не використовуються. Існують проблеми експлуатації сміттєзвалищ, такі як: переважна більшість полігонів працює в режимі перевантаження; паспортизація та рекультивація полігонів та сміттєзвалищ проводиться не належним чином, або взагалі не проводиться: відсутні проекти місць видалення відходів, не визначена проектна місткість МВВ; не здійснено належне приймання і контроль відходів; відсутні системи збору та знешкодження біогазу та фільтрату; не здійснюються спостереження за станом забруднення НПС в районі полігону чи звалища; відсутність належної системи санітарної очистки населених пунктів, яка б забезпечувала регулярний вивіз і знешкодження побутових відходів і т.д.

В Одеській області утворюється близько 6 млн.м<sup>3</sup> ТПВ кожного року. Це складає 12,2% від загальних обсягів по Україні.

Не розроблено типового проекту полігону ТПВ на державному рівні для невеликого населеного пункту (але це є актуальним з приводу того, що внаслідок неналежного збору ТПВ в таких великих селищах утворюється найбільша кількість несанкціонованих сміттєзвалищ) [20].

Роздільне збирання ресурсоцінних компонентів впроваджено у м. Біляївка та у м. Чорноморськ у 2013 та 2010 роках відповідно. Загальна кількість мешканців у населеному пункті м. Біляївка 15,2 тис. осіб, з них лише 9,5 тис. осіб охоплено роздільним збиранням ТПВ (що становить 63% населення). Від загального обсягу ТПВ, що утворюється в населеному пункті (15 тис. м<sup>3</sup>) об'єм ресурсоцінних компонентів 0,126 тис. м<sup>3</sup> на рік. У місті є 9 контейнерів для збору картону і паперу. У м. Чорноморськ 51,47 тис. осіб з них 41,5 тис. осіб охоплені роздільним збором ТПВ (80% населення). Загальні



обсяги ТПВ, які утворюються в населеному пункті – 127,15 тис. м<sup>3</sup> з них 4,06 тис. м<sup>3</sup> на рік збираються як ресурсоцінні компоненти. Місто має 71 контейнер для пластика, паперу і скла, які збираються окремо [21].

Отже, можемо зробити висновок про відсутність системи управління ТПВ та раціонального підходу щодо організації процесу мінімізації негативного впливу відходів на НПС в області.

## 2 УТВОРЕННЯ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПРИ РІЗНИХ МЕТОДАХ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ

Існує багато напрямків негативного впливу ТПВ на НПС, і одним з них є емісія біогазу від МВВ, який складається з  $\text{CH}_4$  (55-70%) і  $\text{CO}_2$  (30-45%) [22].

Як відомо, в Україні ведеться облік утворення ПГ при різних методах поводження з ТПВ, який зазначений у "Національному Кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні" в секторі "Відходи" [23]. Це єдиний сектор, який зберігає позитивну динаміку збільшення обсягів викидів ПГ. Є три основні методи поводження з ТПВ в Україні: видалення, спалювання і компостування.

При цих методах поводження з ТПВ утворюються  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , а також ВВ (від спалювання і компостування), неметанові леткі органічні сполуки (НЛОС) (від видалення),  $\text{H}_2\text{O}$  (від компостування) [24]. Наприклад, виходячи із результатів інвентаризації викиди ПГ від сектору у 2015 році становили 12002,39 тис. т  $\text{CO}_2$ -екв, враховуючи метан ( $\text{CH}_4$ ) 10980,08 тис. т  $\text{CO}_2$ -екв (439,2 тис. т), закис азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 1012,13 тис. т  $\text{CO}_2$ -екв (3,4 тис. т) та вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) 10,17 тис. т. Як бачимо, при поводженні з відходами утворюються різні ПГ, які відрізняються за величиною емісії в умовних одиницях, що залежить від масштабів утворення та парникового потенціалу. Наприклад, 1 т  $\text{CH}_4$  еквівалентна 21 т  $\text{CO}_2$ , а 1 т  $\text{N}_2\text{O}$  – 310 т  $\text{CO}_2$ . Найбільший вклад в утворення ПГ вносить метод видалення відходів – 74% викидів від сектору [7]. Це пояснюється тим, що видалення є домінуючим видом поводження з ТПВ в Україні, а також тим, що більшість полігонів (практично всі) не відповідають санітарним вимогам і не мають належного захисного облаштування та установок збору біогазу.

### 2.1 Захоронення твердих побутових відходів

Утворення ПГ від захоронення ТПВ відбувається за рахунок процесів анаеробного розкладання органічних фракцій ТПВ та їх окислення. На полігони ТПВ приймаються як побутові відходи (окрім рідких побутових відходів та небезпечних відходів у складі побутових) з житлових будинків, адміністративних і громадських установ, підприємств торгівлі та громадського харчування, так і промислові відходи III та IV класів небезпеки і т.д. відповідно до санітарних правил та норм, шлак і золу від сміттєспалювальних заводів.

Життєдіяльність різноманітної мікрофлори призводить до аеробно-анаеробної мінералізації органічних речовин в місцях поховання ТПВ. При анаеробному розкладі органічної речовини в тілі полігона вивільнюються основні її хімічні елементи. В присутності води вони утворюють хімічні сполуки: діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) і т.д. Утворення метану, діоксиду вуглецю та інших складових біогазу на об'єктах депонування ТПВ достатньо значне, вони є одними з основних антропогенних джерел парникових газів.

Кількість біогазу, що утворюється, та концентрація  $\text{CH}_4$  залежать від вмісту органічних фракцій. Склад біогазу може нараховувати до 50 компонентів, але основними є метан (55-70 %) та діоксид вуглецю (30-45%).

Основними хімічними реакціями з утворенням біогазу є окислювально-відновлювальні та рН-залежні.

На поверхні полігону, та в його тілі (де присутній кисень) відбуваються аеробні процеси, період їхньої дії 50-150 днів.

Терміни анаеробних процесів складають кілька десятиліть. Інтенсивність процесу досягає максимуму вже через один рік після закриття ТПВ ізолюючим шаром ґрунту й перебуває практично на одному рівні 5-6 років, а потім його інтенсивність плавно зменшується [25].

## 2.2 Інсінерація та відкрите спалювання твердих побутових відходів

Під інсінерацією ТПВ розуміється спалювання відходів на контрольованих сміттєспалювальних підприємствах. Сучасні печі для спалювання відходів обладнані високими витяжними трубами і спеціально розробленими камерами спалювання, що дозволяють досягати високих температур, мають тривалий час витримки і забезпечують ефективне переміщення відходів, подаючи повітря для більш повного спалювання.

Практика спалювання ТПВ більш поширена в розвинених країнах, в той час як спалювання відходів медичних установ проводиться як в розвинених, так і в країнах, що розвиваються.

Викиди в результаті інсінерації відходів без регенерації енергії відзначаються у секторі Кадастру "Відходи", в той час як викиди при спалюванні з регенерацією енергії відзначаються в секторі "Енергетика". В цих секторах виділяють викиди двоокису вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) викопного і біоенергетичного типу.

Під відкритим спалюванням ТПВ може розумітися спалювання небажаних горючих матеріалів, таких як папір, деревина, пластмаса, текстиль, гума, відпрацьовані масла та інші відходи, що знаходяться на відкритому повітрі, коли викиди потрапляють безпосередньо в АП, не проходячи через труби. До відкритого спалювання можна також віднести спалювальні установки, в яких подача повітря в камеру згоряння для підтримки необхідної температури не контролюється, а час витримки недостатній для повного згоряння. Подібна практика знищення відходів використовується в багатьох країнах, що розвиваються, в той час як в розвинених країнах відкрите спалювання або строго регулюється, або, в іншому випадку, частіше практикується в заміських районах.

Як і будь-яке інше спалювання, інсінерація і відкрите спалювання сміття є джерелами викидів ПГ. Викидаються такі гази, як  $\text{CO}_2$ , метан ( $\text{CH}_4$ ) і закис азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Зазвичай, при інсінерації відходів  $\text{CO}_2$  виділяється значно більше, ніж  $\text{CH}_4$  і  $\text{N}_2\text{O}$ .

Згідно Керівним принципам 1996 г. (МГЕЗК, 1997), необхідно враховувати нетто-емісії  $\text{CO}_2$  і включати дані в національну оцінку викидів даного газу тільки якщо викид  $\text{CO}_2$  стався внаслідок процесів окиснення під час інсінерації і відкритого спалювання вуглецю у відходах викопного походження (наприклад, пластмаса, певні види текстилю, гума, рідкі розчинники та відпрацьоване масло). Викиди  $\text{CO}_2$  при спалюванні біомаси (наприклад, паперу, продуктів харчування і деревних відходів), що міститься у відходах, є біоенергетичними викидами і не повинні включатися в загальну національну оцінку викидів.

Закис азоту виділяється при відносно низьких температурах спалювання - 500- 950 ° С. іншими важливими факторами, що впливають на викиди, є тип системи контролю забруднення повітря, тип відходів та вміст в них азоту, частка надлишкового повітря. Викиди  $\text{N}_2\text{O}$  при спалюванні викопних рідких відходів можна вважати незначними, якщо на противне не вказують дані по конкретній країні.

Викиди  $\text{CH}_4$  при інсінерації і відкритому спалюванні відходів є результатом неповного згоряння. Температура, час утримання і повітряний коефіцієнт (тобто об'єм повітря по відношенню до кількості відходів) є важливими факторами, що впливають на викиди. Викиди  $\text{CH}_4$  зокрема характерні для відкритого спалювання, коли велика частка вуглецю у ТПВ не проходить окислення. Умови можуть сильно відрізнятись, тому що відходи не є однорідними, а паливо низької якості може мати різну питому температуру згоряння.

В цілому, при справному функціонуванні печей викиди  $\text{CH}_4$  зазвичай надзвичайно малі.

Метан може також виділятися в бункерах для відходів в печах при подальших анаеробних процесах в разі низького рівня кисню. Це відбувається тільки в випадках, коли відходи вологі, зберігаються протягом тривалого періоду часу і погано перемішуються. Якщо гази з майданчиків зберігання

подаються разом з потоком повітря в камеру згоряння, то дані гази будуть спалені і рівень викидів зменшиться до незначних рівнів.

### 2.3 Компостування твердих побутових відходів

Компостування і анаеробна переробка органічних ТПВ таких як харчові відходи, відходи, що утворюються в садах (дворах) і парках, є характерною практикою як в розвинених, так і в країнах, що розвиваються. Переваги біологічної обробки включають: зменшення обсягу відхідного матеріалу, стабілізацію відходів, знищення патогенних мікроорганізмів в відхідному матеріалі і вироблення біогазу для подальшого використання енергії.

Утворені при біологічній обробці кінцеві продукти можуть, в залежності від їх якості, бути перероблені на органічні добрива, або видалені на полігони.

Компостування є аеробним процесом, при якому велика частина здатного до розкладання органічного вуглецю (DOC) у вихідному матеріалі перетвориться в діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ).  $\text{CH}_4$  утворюється в анаеробних ділянках компосту, але зазвичай там і окислюється.

При компостуванні також можуть утворюватися викиди  $\text{N}_2\text{O}$ . Діапазон оцінюваних викидів змінюється в межах від 0,5 відсотків до 5 відсотків загального вмісту азоту в матеріалі.

Анаеробне зброджування органічних відходів прискорює природне розкладання органічного матеріалу без участі кисню за допомогою збереження показників температури, вмісту вологи і рівня рН, близьких до їх оптимальних значень. Утворений в результаті обробки відходів  $\text{CH}_4$  може бути використаний для виробництва теплової або електричної енергії. Викиди  $\text{CO}_2$  мають біогенне походження і повинні бути зареєстровані тільки в якості одиниці інформації в секторі «Енергетика»[8].

## 2.4 Методи кількісної оцінки викидів парникових газів при видаленні відходів

Для оцінки емісії біогазу та окремих його компонентів від ТПВ (зокрема,  $\text{CH}_4$ ) використовують методи масового балансу і згасання (розкладання) першого порядку, в основу яких покладений процес анаеробної деструкції органічної речовини з утворенням відповідних продуктів розкладу. Найбільш використовувані моделі засновані на методі згасання першого порядку це: 1) модель IPCC; 2) модель Landfill Emission Gas Model – LandGEM. В Україні використовується Національна багатокomпонентна модель на основі методу згасання першого порядку третього рівня деталізації (далі – Національна модель). Дана модель розроблена на основі IPCC моделі, але містить елементи розробок по адаптації моделі LandGEM до українських умов в рамках відповідної програми [22].

Облік викидів ПГ від видалення ТПВ охоплює викиди метану, а також промислові викиди органічних відходів на звалищах та полігонах країни.

Звалища поділяють на три групи: некеровані неглибокі, некеровані глибокі та керовані (контрольовані). За класифікацією МГЕЗК, звалища які розташовані поблизу міст з населенням 50 тис. чоловік і більше являють собою утворення з глибиною відходів більше 5-10м мають бути віднесені до некерованих глибоких звалищ ( $\text{MCF} = 0,8$ ); звалища, утворені біля населених пунктів з кількістю жителів менше 50 тис., що не досягають глибини 5 м за класифікацією можуть бути віднесені до некерованих неглибоких звалищ ( $\text{MCF} = 0,4$ ); також в Україні є полігони, які можуть претендувати на статус керованих ( $\text{MCF} = 1,0$ ). Це інженерні споруди, реконструкція яких почалася в кінці 80-их років і була закінчена в 1990 р в містах: Київ, Харків, Дніпропетровськ, Луганськ, Черкаси, Чернівці, Івано-Франківськ, Луцьк, Ялта).

Відповідно до моделі річні викиди метану при похованні ТПВ, вивезених в поточному і в попередні роки, визначаються за формулою:

$$Q(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A \cdot k_j \cdot MWS_i \cdot MWS_{i,j} \cdot L_{0i,j} \cdot e^{-k_j \cdot (t-x)} \quad (2.1)$$

де:  $Q(t)$  – кількість метану, що утворюється за період  $t$ , т;

$k_j$  – постійна темпів утворення метану для  $j$ -го компонента, рік<sup>-1</sup>;

$A$  – нормалізуючий множник, коригуючий сумарне, визначається за формулою:

$$A = (1 - e^{-k_j}) / k_j \quad (2.2)$$

$MWS_i$  – загальна кількість, похованих за рік  $i$ , т / рік;

$MWS_{j,i}$  – вміст компонента  $j$  в ТПВ за рік  $i$ , в% по масі;

$t$  – індекс розрахункового року;

$x$  – період в роках, за які вносяться дані;

$L_{0j,i}$  – потенціал утворення метану в рік  $i$ , т CH<sub>4</sub> / т ТПВ, який визначається за формулою:

$$L_{0i,j} = DOC_j \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12 \cdot MCF_i \quad (2.3)$$

$DOC_j$  – загальна кількість органічного вуглецю, здатного біологічно розкладатися, для фракції  $j$ , тС/ тТПВ;

$DOC_F$  – частка вуглецю, що бере участь в реакціях розпаду;

$F$  – вміст метану в газі, в частках, 16/12 коефіцієнт перерахунку вуглецю в метан;

$MCF_i$  – фактор корекції метану за рік  $i$ .

Викиди метану в атмосферу визначаються за вирахуванням рекуперованого або спаленого на факелі метану з урахуванням окислення в верхньому шарі:

$$Q(t)^{em} = [Q(t) - R] \cdot (1 - OX) \quad (2.4)$$



$R$  – зібраний метан, т;

$OX$  – фактор окислення метану.

У моделі проводиться індивідуальний розрахунок для кожної категорії органічних відходів ( $DOC_j, k_j$ ), які згруповані за швидкістю розкладання і кількістю в них органічного вуглецю. Національна модель не враховує вплив діяльності по вилученню вторинних матеріальних і енергетичних ресурсів з «тіла» полігонів після поховання ТПВ [7].

Параметр "постійна темпів утворення метану" ( $k_j$ ) відноситься до часу, необхідного для того, щоб параметр  $DOC$  у відходах розклався до половини своєї первинної маси ("період напіврозпаду"). Значення  $k_j$ , яке застосовується до окремого полігону, визначається великим рядом факторів, пов'язаних також зі складом відходів та умовами на конкретному звалищі.

Найбільш швидкі темпи утворення метану ( $k = 0,2$ , або "період напіврозпаду" дорівнює приблизно 3 роки) пов'язані з умовами високої вологості і швидким розкладанням матеріалів (наприклад харчові відходи). Більш повільні темпи розкладання ( $k = 0,03$ , або "період напіврозпаду" дорівнює, приблизно, 23 роки) пов'язані з сухими умовами на звалищі і повільно розкладаються відходами, такими як деревина або папір.

Поправочний коефіцієнт для метану ( $MCF_i$ ) застосовується в зв'язку з тим, що неконтрольовані звалища та полігони викидають в АП менше  $CH_4$  з певної кількості відходів, ніж контрольовані місця захоронення ТПВ, оскільки більша частка відходів розкладається аеробним способом у верхніх шарах неконтрольованих звалищ не глибоких звалищ.  $MCF_i$  щодо контролю за ТПВ є специфічним саме для цієї області оцінки і повинен інтерпретуватися як "поправочний коефіцієнт з урахуванням контролю за відходами" [26].

Здатний до розкладання органічний вуглець ( $DOC_j$ ) - це органічний вуглець, схильний до біохімічного розкладу. Його оцінка ґрунтується на складі ТПВ і його кількість може бути розрахована по середньозваженому вмісту  $C$  в різних компонентах загального потоку ТПВ.

Доля вуглецю, яка фактично розклалась ( $DOC_F$ ) - це оцінене значення тієї частки С, яка фактично розклалася і вивільнилася з полігону (звалища). Також враховується, що деяка частина органічного вуглецю, яка перебуває на полігоні, не розкладається або розкладається дуже повільно.

Частка  $CH_4$  в газі зі звалищ враховується параметром ( $F$ ). Газ зі смітників складається в основному з метану ( $CH_4$ ) і двоокису вуглецю ( $CO_2$ ). Частка  $CH_4 - F$  приймається, як правило, за 0,5, однак, може варіюватися між 0,4 - 0,6, в залежності від декількох факторів (складу ТПВ (наприклад, вуглеводи і целюлоза)). Концентрація  $CH_4$  в рекуперованому газі зі звалищ може бути нижчою, ніж вказане значення, в зв'язку з потенційним зменшенням концентрації за рахунок повітря і, таким чином, значення  $F$ , розраховані цим способом, необов'язково будуть репрезентативними.

Рекуперована кількість метану ( $R$ ) - це кількість  $CH_4$ , що утворилася на звалищі, потім була рекуперована і спалена в факелі або в установці для отримання енергії. Рекуперований і потім видалений  $CH_4$  не слід віднімати від загальних викидів. Значення за замовчуванням для рекуперованого метану дорівнює нулю та підлягає зміні лише в тому випадку, коли є довідкові дані, які документально відображають кількість рекуперованого метану.

Коефіцієнт окислення ( $OX$ ) відображає кількість  $CH_4$ , що утворилася на звалищі, яка окислюється в ґрунті або в іншому матеріалі, що покриває відходи. Якщо коефіцієнт окислення дорівнює нулю, це означає, що окислення не відбувається, якщо ж  $OX=1$ , то тоді окислюються всі 100%  $CH_4$ .

Дослідження показують, що на контрольованих звалищах спостерігається більш високий ступінь окислення, ніж на неконтрольованих звалищах [8].

2.5 Метод кількісної оцінки викидів парникових газів при біологічній обробці відходів

У категорії біологічної обробки відходів оцінюються викиди  $\text{CH}_4$  і  $\text{N}_2\text{O}$  від компостування відходів в Україні.

При компостуванні відходів велика частина *DOC* у відхідному матеріалі перетворюється в  $\text{CO}_2$ .  $\text{CH}_4$  утворюється в анаеробних ділянках компосту, проте в більшості випадків метан окислюється в тих же ділянках компосту. Викиди  $\text{CH}_4$ , які піддаються оцінці, коли надходять в АП лежать в діапазоні від менш одного відсотка до кількох відсотків загального вмісту вуглецю в матеріалі. При компостуванні також можуть утворюватися викиди  $\text{N}_2\text{O}$ . Діапазон оцінюваних викидів варіюється в межах від 0,5% до 5% загального вмісту азоту в матеріалі.

У даній категорії оцінюються викиди  $\text{CH}_4$  і  $\text{N}_2\text{O}$ . Викиди  $\text{CH}_4$  та  $\text{N}_2\text{O}$  від компостування можуть бути оцінені по рівняннях (2.5) і (2.6):

$$Q_{\text{CH}_4} = M \cdot EF_{\text{CH}_4} \cdot 10^{-3} - R \quad (2.5)$$

де  $Q_{\text{CH}_4}$  – загальна кількість викидів  $\text{CH}_4$  в звітному році, тис. т;

$M$  – маса органічних відходів, які зазнали компостування, тис. т;

$EF_{\text{CH}_4}$  – коефіцієнт викидів для компостування відходів, г  $\text{CH}_4$  / кг компостованих відходів;

$R$  – загальна кількість рекуперованого  $\text{CH}_4$  за звітний рік, тис. т  $\text{CH}_4$ ;

$$Q_{\text{N}_2\text{O}} = M \cdot EF_{\text{N}_2\text{O}} \cdot 10^{-3} \quad (2.6)$$

де  $Q_{\text{N}_2\text{O}}$  – загальна кількість викидів  $\text{N}_2\text{O}$  в звітному році, тис. т;

$M$  – маса компостованих органічних відходів, тис. т;

$EF_{\text{N}_2\text{O}}$  – коефіцієнт викидів для компостування відходів, г  $\text{N}_2\text{O}$  / кг компостованих відходів [7].

Роботи з розвитку компостування органічних компонентів відходів почали виконуватися ще при СРСР в кінці 20-тих років ХХ століття. Але, досі

не створено високотехнологічної системи компостування відходів в Україні, а власне компостування ведеться переважно в напівстихійних компостних ямах. Таким чином, не існує відомостей про характерні для України коефіцієнти викидів ПГ при компостуванні відходів, тому значення коефіцієнтів викидів приймаються для вологої речовини:  $EF_{CH_4}=4$  г/кг відходів,  $EF_{N_2O}=0,3$ г/кг відходів, відповідно до принципів МГЗЕК [8].

## 2.6 Метод кількісної оцінки викидів парникових газів при інсінерації відходів

У даній категорії розраховані викиди  $CH_4$ ,  $N_2O$  і  $CO_2$  від спалювання відходів відповідно.

В Україні термічна обробка відходів поза спеціально відведеними обладнаними місцями заборонена законодавчо, тому в категорії враховані викиди спалювання ТПВ на сміттєспалювальних заводах, а також на стаціонарних і пересувних спеціальних об'єктах. Викиди від термічних процесів з регенерацією енергії відповідно до Керівних принципів враховуються в секторі «Енергетика».

Оцінка викидів ПГ від спалювання відходів в секторі «Відходи» проводиться відповідно до рівнянь:

$$Q_{CO_2} = MSW \cdot \sum_j (WF_j \cdot dm_j \cdot CF_j \cdot FCF_j \cdot OF_j) \cdot 44/12 \quad (2.7)$$

де  $Q_{CO_2}$  – викиди  $CO_2$  за звітний рік, тис. т / рік;

$MSW$  – загальна кількість твердих відходів у вологій вазі, які підлягають інсінерації, тис.т / рік;

$WF_j$  – частка типу / компонента відходів компонента  $j$  в ТПВ (у вологій вазі, які підлягають інсінерації);

$dm_j$  – вміст сухої речовини в компоненті  $j$  в ТПВ, що підлягає інсінерації;

$CF_j$  – частка вуглецю в сухій речовині компонента  $j$ ;

$FSCF_j$  – частка викопного вуглецю в загальній кількості компонента  $j$ ;

44/12 – коефіцієнт перетворення з C в CO<sub>2</sub>;

$j$  – компоненти ТПВ, що підлягають інсінерації, такі як папір / картон, текстиль, харчові відходи, садово-паркові відходи, пластмаса і т.д.).

$$Q_{CH_4} = MSW \cdot \sum (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6} \quad (2.8)$$

де  $Q_{CH_4}$  – викиди CH<sub>4</sub> за звітний рік, тис. т / рік;

$IW_j$  – кількість твердих відходів типу  $i$  (вологі речовини), що підлягають інсінерації або відкритому спалюванню, тис. т;

$EF_j$  – складовий коефіцієнт викидів CH<sub>4</sub>, кг CH<sub>4</sub> / тис. т відходів;

10<sup>-6</sup> – коефіцієнт перекладу кілограми в тис. Т;

$i$  – категорія відходів, що піддаються інсінерації;  $MSW$  – тверді побутові відходи,  $CW$  – відходи медичних установ,  $SS$  – шлами стічних вод, інші (при наявності уточнити)

Викиди N<sub>2</sub>O можна оцінити за рівнянням (2.9), аналогічно рівнянню (2.8):

$$Q_{N_2O} = MSW \cdot \sum (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6} \quad (2.9)$$

де  $Q_{N_2O}$  – викиди N<sub>2</sub>O за звітний рік, тис. т/рік .

Слід зробити припущення про те, що склад спалюваних ТПВ є ідентичним складу всіх ТПВ, що утворюються в конкретній країні. Однак, якщо певна частка ТПВ спалюється окремо, слід спеціально визначати вміст вуглецю в таких потоках.

Коефіцієнти викидів N<sub>2</sub>O розрізняються залежно від виду установки для спалювання ТПВ і виду самих відходів. Коефіцієнти викидів з установок з псевдо-зрідженим шаром є більш високими, ніж з установок з системами

колосникових решіток. Діапазони коефіцієнтів викидів  $N_2O$  відображають вплив методів боротьби з забрудненням (вприскування аміаку або сечовини, як в деяких технологіях по боротьбі з  $NO_x$ , може збільшити викиди  $N_2O$ ), температури горіння і час знаходження ТПВ в установці для спалювання відходів [7].

Кількісні методи оцінки виділення ПГ необхідні для надійного прогнозування утворення ПГ. Це, в свою чергу, необхідно для техніко-економічної оцінки та проектування систем збору біогазу.

В Кадастрі використовується Національна багатокomпонентна модель утворення ПГ при захороненні ТПВ, заснована на методі згасання першого порядку третього рівня деталізації. Але, крім неї, існує багато моделей газоутворення, які описують динаміку утворення біогазу з часом в залежності від складу та графіку видалення відходів. Всі методи оцінки газоносного потенціалу полігону базуються на процесах анаеробної деструкції целюлозовмісних відходів. Для довгострокового прогнозування найбільш часто використовують моделі, засновані на реакції розкладу першого порядку.

Точність розрахункового прогнозування залежить від повноти обліку всіх впливаючих на процес факторів ( таких як морфологічний склад відходів, тип звалища і полігону, наявність та масштабів вогнищ загорання).

Всі моделі являють собою експоненціальні рівняння реакції першого порядку, але враховують різні фактори, що впливають на процес утворення метану. Також всі моделі враховують морфологічний склад відходів при розрахунку потенціалу утворення метану  $L_0$ , але в моделі IPCC потенціал метаноутворення розраховується за емпіричною формулою, а в інших моделях приймається в залежності від типу полігону (в Американській), категорії відходів (в Українській) або типу відходів (в східноєвропейській).

Значення константи реакції  $k$  все більш уточнюються від моделі до моделі. Так, якщо в моделі IPCC дані тільки мінімальні (0,02) і максимальні (0,2) значення, то в Американській моделі пропонується вже п'ять значень від 0,02 до 0,7 в залежності від типу полігону, в Українській - шістнадцять значень

в залежності від категорії відходів і типу регіону, а в Східноєвропейській – двадцять в залежності від категорії відходів і клімату[27].

## 2.7 Метод кількісної оцінки емісії парникових газів за моделлю Waste Reduction Model

З метою порівняння методів оцінки емісії ПГ була розглянута американська модель скорочення відходів Waste Reduction Model (WARM). Вона створена Агентством США із захисту ОС для оцінки скорочення викидів ПГ при різних практиках поводження з відходами.

WARM розраховує викиди ПГ для базових (захоронення на полігонах) та альтернативних методів поводження з відходами, включаючи скорочення викидів, рециркуляцію, згоряння, компостування та захоронення. Модель обчислює викиди в тоннах еквіваленту двоокису вуглецю (МТ CO<sub>2</sub>-екв) та тоннах вуглецевого еквіваленту (МТСекв.) у широкому діапазоні типів матеріалів (54 типи), які зазвичай зустрічаються у ТПВ. Ця модель є відносно гнучкою, тому що враховує ефективність системи збору газу для 4-х типів полігонів (сухий, середній, вологий, біореактор) на яких може здійснюватись один з трьох сценаріїв збору біогазу (типовий збір, найгірший і агресивний збір) [28]. Методологічна основа WARM - це скорочений життєвий цикл з орієнтацією на утворення ПГ при різних фазах циклу. Сама модель постійно оновлюється (майже щорічно). Для зручного користування моделлю існує інструмент Excel Current WARM Tool - Version 14, остання модель WARM була випущена у березні 2016 року, до цієї моделі було включено анаеробне зброджування як метод поводження з органічними відходами.

Environmental Protection Agency (EPA) вважає, що найкращим засобом проведення порівняльного аналізу для виявлення доцільності обраного методу є введення спрощеної оцінки життєвого циклу матеріалу (ЖЦМ), яка включає в себе інформацію щодо матеріальних затрат, затрат енергії та викидів ПГ в ОС,

пов'язану з виробництвом, використанням, транспортуванням і утилізацією конкретного компоненту ТПВ.

Повна оцінка ЖЦМ взагалі складається з 4-х частин: 1) визначення області обліку; 2) інвентаризація матеріалів та енергії, які використовуються на всіх етапах "життя" продукту чи процесу, а також інвентаризація викидів в ОС; 3) оцінка впливу, яка досліджує можливі та фактичні наслідки для здоров'я людини, пов'язані з використанням ресурсів та викидів; 4) оцінка змін, необхідних для збільшення якості екологічних показників у продукті чи процесах.

ЖЦМ включає наступні етапи : 1) добування та переробка сировини; 2) виробництво продукції; 3) транспортування продукції на ринки; 4) використання продукту споживачами; 5) поводження з матеріалами після закінчення строків служби. При цьому WARM не включає викиди від етапу використання продукту, оскільки воно не впливає на викиди ПГ в АП від відходів.

Рішення по управлінню матеріальними потоками можуть зменшити викиди ПГ шляхом впливу на такі фактори:

- споживання енергії (спалювання викопного палива) і утворювані викиди ПГ, які пов'язані з видобуванням матеріалу, виробництвом, транспортуванням, використанням та закінченням строку служби;

- не пов'язані з енергетикою виробничі викиди, наприклад  $\text{CO}_2$ , який утворюється, коли вапняк при виробництві сталі перетворюється у перфторвуглець, який утворюється під час процесу сплавки алюмінію;

- викиди  $\text{CH}_4$  від розкладу органічних матеріалів на полігонах;

- викиди  $\text{CO}_2$  та  $\text{N}_2\text{O}$  при спалюванні відходів;

Процеси розкладання органічних матеріалів, внаслідок яких вивільнюється біогенний вуглець у вигляді  $\text{CO}_2$  розглядаються як частина природного вуглецевого циклу. Вважається, що  $\text{CO}_2$  вивільнений в результаті від розкладу органічних фракцій повертає ту кількість діоксиду вуглецю в АП, яка була поглинута рослинами внаслідок дії фотосинтезу. У цьому випадку



емісія CO<sub>2</sub> не враховується. З іншого боку, викиди CO<sub>2</sub> від спалювання викопного палива враховуються, бо не входять в природний цикл, а є наслідком антропогенної діяльності. Аналогічним шляхом ведеться облік викидів CH<sub>4</sub> на полігонах. Не зважаючи на те, що джерелом вуглецю перш за все є вуглець біогенного походження, емісія метану відбувається через діяльність людини по захороненню відходів. Іншими словами, до тих пір, поки біогенний вуглець буде вивільнюватися у вигляді CO<sub>2</sub> (незалежно від термінів його вивільнення) його викиди будуть вважатись не суттєвими.

Більшість викидів CO<sub>2</sub>, які розглядаються як ПГ, утворюються в результаті прямого спалювання палива для виробництва продукції. Коли енергія, яка утворюється при спалюванні палива використовується у виробництві, викиди також враховуються. При цьому створення продукту з перероблених матеріалів потребує менше енергії, ніж отримання продукту з первинних ресурсів.

Транспортування. Викиди CO<sub>2</sub> утворюються від: транспортування сировини та проміжних продуктів на стадії виробництва; транспортування готових продуктів в пункти роздрібної торгівлі чи пункти розподілу. Оцінки енергетичних викидів від транспортування сировини на виробничі об'єкти ґрунтуються на: 1) кількості вихідних матеріалів та проміжних продуктів, яка використовується при виготовленні одної тони кожного матеріалу; 2) середній відстані, на яку вихідний матеріал чи проміжний продукт транспортується; 3) режими транспортування та використовуване паливо. На останньому етапі аналізу застосовуються коефіцієнти вуглецевої місткості для кожного виду палива, для перетворення витрат палива у викиди ПГ.

Також у програмі враховується збереження вуглецю в лісах. Ліси поглинають атмосферний вуглекислий газ і зберігають його у вигляді целюлози та інших матеріалів. На ранніх стадіях зростання дерева швидко накопичують вуглець і на протязі всього життя виділяють його, коли скидають листя, гілки, горіхи, фрукти та інші матеріали, які згодом розкладаються. Також вуглець виділяється при очищенні та спалюванні дерев. Коли папір та продукти

деревини перероблюються чи припиняється виробництво цих матеріалів через скорочення джерел, дерева залишаються в лісах, замість того, щоб вирубатися. У короткотривалій перспективі це призводить до більшого накопичення вуглецю, але у довготривалій перспективі ефект накопичення вуглецю менш виражений [29].

### 3 ОЦІНКА ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПРИ РІЗНИХ СИСТЕМАХ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ДЛЯ УМОВ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

#### 3.1 Загальна характеристика сфери поводження з твердими побутовими відходами в Одеській області

Одеська область налічує 2 380 млн. населення, яке щорічно утворює понад 850000 т ТПВ. Централізованому збору та захороненню підлягає менше 70%, у тому числі на діючому полігоні (Дальницькі кар'єри, 96 га). Інші 30% обсягів ТПВ вивозяться на стихійні звалища, число яких постійно змінюється і швидко росте. У регіоні сьогодні існує понад 608 звалищ та полігонів ТПВ, загальна площа яких складає 1274,9 га. Департаментом ЖКГ та енергоефективності Одеської ОДА, в основному, проведена інвентаризація звалищ, а також створена карта з їхньою дислокацією.

Більшість звалищ працює в режимі з порушенням проектних показників щодо обсягів накопичення ТПВ. У сфері санітарної очистки населених пунктів області діє близько 48 підприємств, загальна кількість працівників цих підприємств складає понад 600 осіб. Більше 70% сміттєвозів в загалі по області мають зношений стан. На сьогодні в області сміттєпереробних заводів немає. Практично всі ТПВ вивозяться на сміттєзвалища та полігони для поховання, крім діючого полігону ТПВ в м. Одеса, жодне звалище ТПВ не відповідає вимогам санітарних правил і екологічним стандартам захоронення. Роздільний збір "біля джерела" також відсутній.

Понад 30% населення не охоплене системою збору та вивезення ТПВ. В 2016 р. в 20% міст та 65% селищ були відсутні схеми санітарної очистки, що збільшує ймовірність утворення стихійних звалищ. При захороненні ТПВ санітарні норми часто не витримуються. Санітарно-технічних паспортів не має

у 21% санкціонованих звалищ. На звалищах відсутня гідроізоляція, електроізоляція, не має захисту від спалахів. Поки що комплексної системи поводження з ТПВ не створено, звідси ресурсний та енергетичний потенціал ТПВ не використовується [30].

### 3.2 Характеристика вихідних даних щодо сфери поводження з твердими побутовими відходами Одеської області

На основі [30] було складено таблицю обсягів накопичення ТПВ, площі МВВ та кількості МВВ по двом полігонам на які вивозяться ТПВ з м. Одеса, а також по 26 районах Одеської області. Сумарна кількість утворених відходів в 2016 році згідно табл. 3.1 складає 922 тис. т .

Таблиця 3.1 - Обсяги утворення ТПВ в Одеській області на 2016 рік [30].

№	Назва	Обсяги утворення ТПВ (тис. т/рік)	Площа полігонів/звалищ	Кількість полігонів і звалищ
1	ТПВ-1 "Дальницькы карери" (м. Одеса)	544,6	96,2	1
2	ТПВ-2 (м.Одеса)	-	6,00	1
Райони				
1	Ананьївський	8,58	19,6	10
2	Арцизький	2,64	31,9	28
3	Балтський	13	26,07	32
4	Березівський	1,12	63,5	68
5	Білгород-Дністровський	27,7	64,1	34
6	Біляївський	5,46	44,7	25
7	Болградський	16,8	47,5	18
8	Великомихайлівський	8,6	24,1	13
9	Захарьєвський	5,6	25,5	12
10	Іванівський	2,9	50,7	26
11	Ізмаїльський	81,3	284,3	18

Продовження таблиці 3.1

12	Кілійський	6,28	30,1	15
13	Кодимський	1,72	16,7	24
14	Лиманський	81,1	56,3	19
15	Любашівський	8,5	14	16
16	Миколаївський	4,5	25,9	37
17	Овідіопольський	3,73	2	1
18	Окнянський	16,8	15,5	14
19	Подільський	11,2	35,3	29
20	Ренійський	7,15	19,3	7
21	Роздільнянський	9,1	33,6	26
22	Савранський	5,3	24,7	19
23	Саратський	1,35	50,3	23
24	Таретинський	6,9	74,1	41
25	Татарбунарський	32,7	54	17
26	Ширяївський	7,5	38,9	34
Всього		922	1274,87	608

Важливою характеристикою ТПВ є морфологічний (компонентний) склад ТПВ. Інформація щодо відсоткового вмісту компонентів в загальній масі відходів є корисною для визначення ресурсного та біогазового потенціалу. Морфологічний склад ТПВ є складною системою, що змінюється з часом і залежить від регіональних, соціально-економічних, метеорологічних та інших факторів. Показники морфологічного складу ТПВ заслуговують на особливу увагу, адже їхній аналіз дозволить прогнозувати потенціал ринку вторинної сировини на базі сортувальних комплексів, а також дані про хімічний склад відходів дозволять розглядати ТПВ як енергетичну сировину та проаналізувати доцільність впровадження термічних методів їхньої утилізації [31].

В Україні виділяють наступні компоненти ТПВ: папір і картон (обривки газет, паперові пакети, картонна тара, книги, журнали і тд.); текстиль (застарілий одяг, ганчір'я, мотузки, матраци, одіяла та ін.); харчові відходи (залишки овочів, фруктів м'ясні та рибні відходи, зіпсовані продукти рослинного та тваринного походження); деревина (тирса, стружка, дошки, меблевi рами, двері та ін.); садово-паркові відходи (гілки, листя); засоби особистої гігієни; гума, шкіра (зношена обув, сумки, чемодани, авто шини); компоненти, які не розкладаються біологічно (кістки, кольорові та чорні метали, скло, полімерні матеріали та ін.) [32]. Показники морфологічного складу по Україні та Одеській області дещо відрізняються, наприклад вміст таких компонентів як макулатура, гума, деревина зазвичай вищі, аніж в середньому по Україні, а показник садово-паркові відходи навпаки – нижчий, це зумовлено недостатнім озеленінням області та природними умовами південного степу.

Постійна темпів утворення метану ( $k_j$ ), а також вміст вуглецю, який здатний до розкладу залежать від компоненту ТПВ та кліматичного регіону. Константа ( $k_j$ ) змінюється в залежності категорії відходів (дуже швидко розкладаються, помірно розкладаються та ін.) та кліматичних умов. Для України цей показник обирався для помірного клімату та розраховувався (уточнювався) окремо для чотирьох регіонів, у яких Одеська область знаходиться в другому регіоні (разом з Кіровоградською, Миколаївською та Запорізькою областями) [28].

Таблиця 3.2 – Показники для розрахунку емісії ПГ (метану) при видаленні ТПВ на полігонах та звалищах [23; 30; 32; 33].

№	Компонент	$MSW_{i,j}\%$	$k_j, \text{рік}^{-1}$		$DOC_j$ тС/тТПВ
			Україна	Одеська область	
1	Папір, картон	15	0,048	0,024	0,4

## Продовження таблиці 3.2

2	Текстиль	3	0,048	0,024	0,24
3	Харчові відходи	35	0,11	0,12	0,15
4	Деревина	2	0,024	0,012	0,43
5	Садово-паркові відходи	10	0,07	0,06	0,2
6	Засоби особистої гігієни	-	0,048	0,12	0,24
7	Шкіра, гума	2	0,048	0,012	0,39

### 3.3 Оцінка емісії парникових газів при захороненні твердих побутових відходів

За формулою 2.1 використовуючи дані з табл. 3.1 та 3.2 було розраховано кількість ПГ (зокрема метану) при видаленні ТПВ на полігони та звалища Одеської області. Розрахунки проводилися для річного обсягу утворених ТПВ.

Обсяги емісії метану з місць видалення ТПВ за Національною моделлю розраховані за 2016 рік та сумарно за 50 років і наведені у табл. 3.3 (яку проілюстровано на рис. 3.1 та 3.2).

Таблиця 3.3 - Оцінка емісії ПГ (метану) при видаленні ТПВ за 2017 рік та за 50 років.

№	Компонент	2017		Σ за 50 років	
		т	т CO <sub>2</sub> -екв	т	т CO <sub>2</sub> -екв
1	Папір, картон	262,62	5515,02	7738,79	162514,59
2	Текстиль	31,51	661,71	928,65	19501,65
3	Харчові відходи	904,32	18990,72	7977,42	167525,82
4	Деревина	19,39	407,19	733,58	15405,18

Продовження таблиці 3.3

5	Садово-паркові відходи	200,04	4200,84	3263,98	68543,58
6	Шкіра, гума	17,59	369,39	665,34	13972,14
7	Засоби особистої гігієни	45,47	954,87	401,13	8423,73
$\Sigma$		1480,95	31099,74	21708,88	455886,48

Згідно результатам табл. 3.3, при розкладі органічної частини ТПВ найбільша кількість  $\text{CH}_4$  утворюється від харчових відходів (їх вміст складає 35% від загального обсягу ТПВ, а терміни розкладу від десяти днів до місяця). На другому місці папір та картон (15% від загального обсягу ТПВ), але емісія метану від цього компоненту майже не уступає емісії  $\text{CH}_4$  від харчових відходів (через 50 років), тому що швидкість розкладу цих компонентів від 1-го місяця до декількох років. "Затухання" утворення метану від паперу йде повільніше, тому спостерігається вирівнювання показників викидів метану від компонентів №1 та №3.

Фактична емісія метану від місць захоронення відходів буде набагато вищою, оскільки утворення метану також відбувається за рахунок відходів, захоронених у попередні роки (вважається, що значиме виділення метану відбувається протягом 50 років) [22].



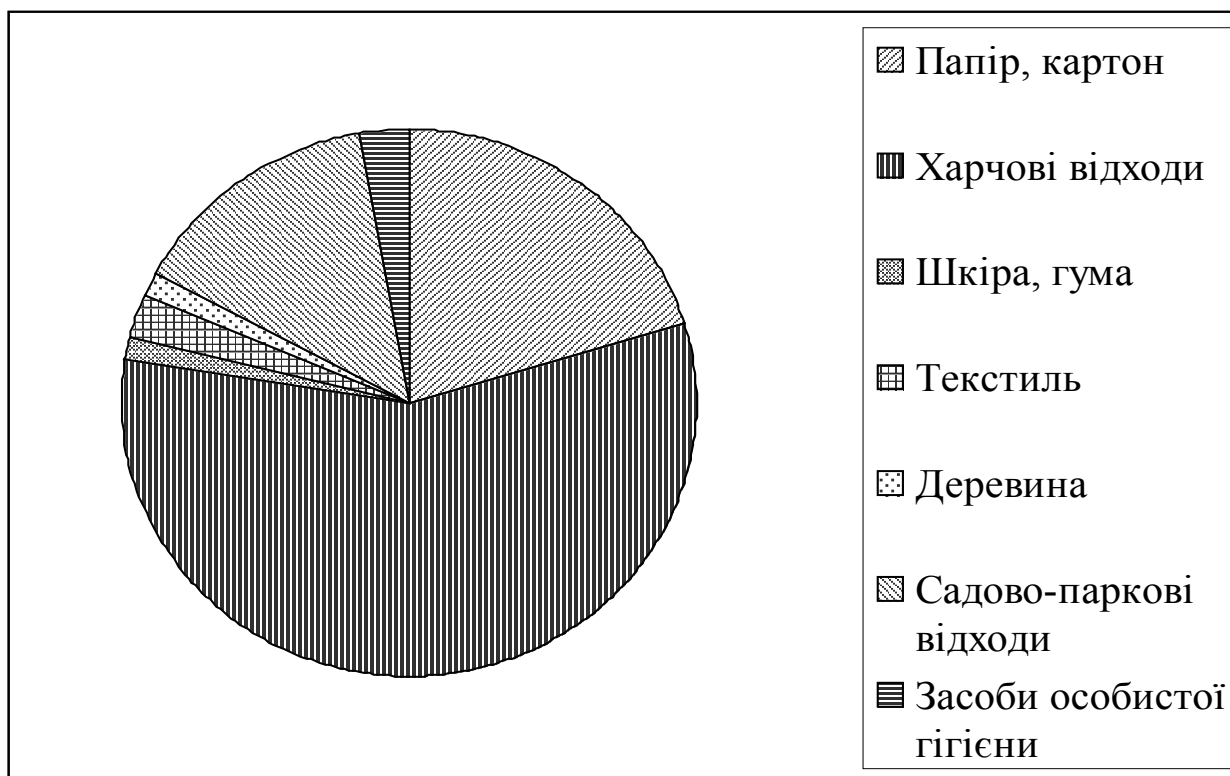


Рисунок 3.1 - Внесок в утворення метану від кожного компоненту ТПВ (Одеська область, 2017 рік).

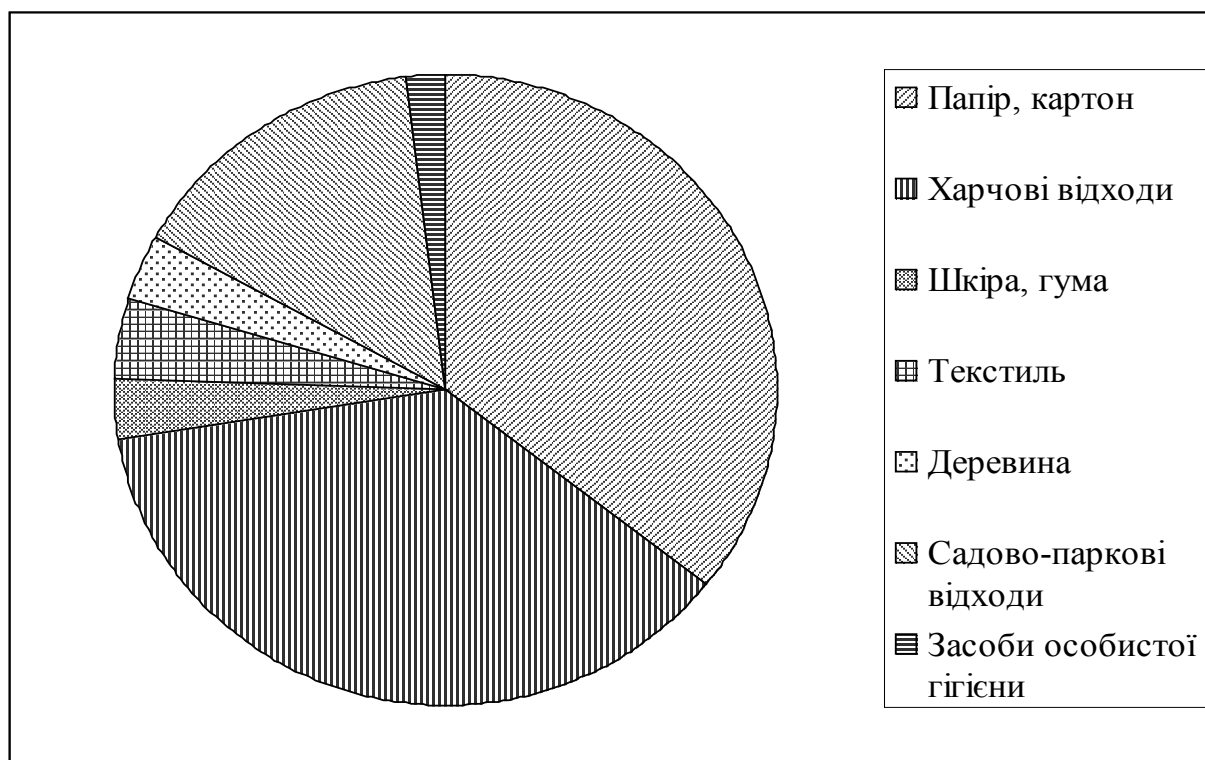


Рисунок 3.2 - Внесок в утворення метану від кожного компоненту ТПВ через 50 років.

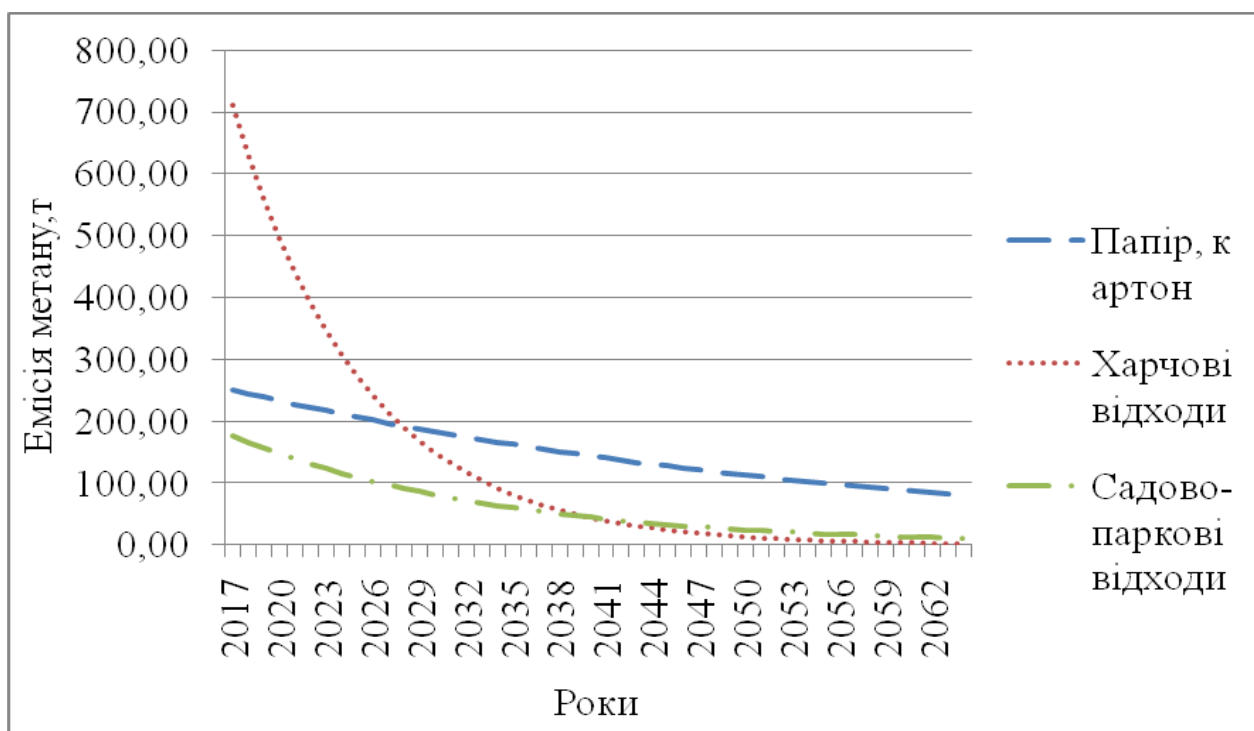


Рисунок 3.3 - Динаміка емісії метану від обсягу видалених у 2017 році компонентів ТПВ (зокрема макулатури, харчових та садово-паркових відходів), Одеська область.

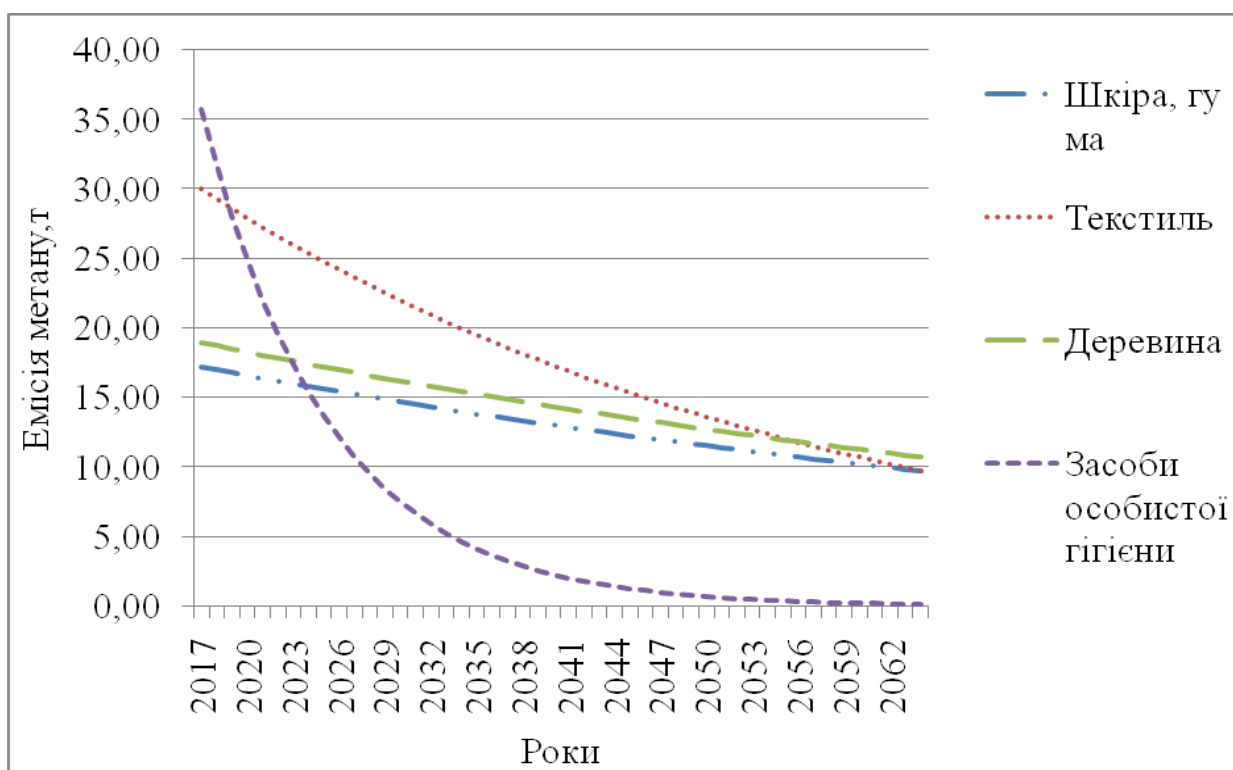


Рисунок 3.4 - Динаміка емісії метану від обсягу видалених у 2017 році компонентів ТПВ (зокрема шкіри і гуми, текстилю, деревини та засобів особистої гігієни), Одеська область.

На рис. 3.3 та 3.4 графічно зображено динаміку емісії метану в часі. Найбільше ПГ утворюється від харчових відходів, що пов'язано з значними обсягами цього компоненту ТПВ, при цьому емісія ПГ швидко зменшується з часом. Найповільніше зменшується кількість утворених ПГ від таких компонентів, як деревина, а також шкіра і гума. І в той час як емісія метану від паперу буде складати (к 2064 року) 81,02 т (чи 1704,42 т CO<sub>2</sub>-екв), то емісія CH<sub>4</sub> від харчових відходів буде складати лише 2, 53 т (чи 53,13 т CO<sub>2</sub>-екв).

#### 3.4 Оцінка емісії парникових газів від компостування твердих побутових відходів

Компостування ТПВ є доцільним та екологічним методом поводження з ТПВ при якому можливо в подальшому використовувати продукти компостування [34]. Припустимо, що в Одеській області здійснюється окремий збір садово-паркових відходів, які подаються на компостування, і на основі цього припущення здійснюємо прогностичні розрахунки зменшення емісії ПГ за 50 років при вилученні цього типу ТПВ за табл.3.4 та порівняльні розрахунки емісії ПГ від аеробного та анаеробного компостування обсягів даного компоненту ТПВ, які представлені у табл.3.5.

Таблиця 3.4 – Утворення метану при похованні загального обсягу ТПВ та при вилученні садово-паркових відходів за 2017 рік та за розрахунковий період в 50 років.

Часовий період	Одиниці вимірювання	Утворення CH <sub>4</sub> від загальної кількості ТПВ при їх захороненні	Утворення CH <sub>4</sub> від загальної кількості ТПВ при вилученні садово-паркових відходів
----------------	---------------------	--	--

Продовження таблиці 3.4

За 2017 рік	т	1480,95	1332,86
	т CO <sub>2</sub> .екв	31099,95	27990,06
За період 50 років	т	21307,75	19537,99
	т CO <sub>2</sub> .екв	447462,71	410297,79

Згідно табл. 3.4, при вилученні садово-паркових відходів із загального обсягу зібраних ТПВ ( а це 10% від загальної кількості компонентів, здатних до біологічного розкладу) обсяги утворення CH<sub>4</sub> від ТПВ зменшуються на 15,3% (за розрахунковий період в 50 років), при цьому пропонується подавати вилучені обсяги відходів на компостування. В табл. 3.5 приведено порівняльні розрахунки за двома видами компостування. Коефіцієнти викидів для метану і закису азоту взято з [8].

Таблиця 3.5 – Результати розрахунків утворення CH<sub>4</sub> та N<sub>2</sub>O при компостуванні садово-паркових відходів Одеської області

Назва ПГ	Обсяги відходів, які зазнали компостування (садово-паркові відходи, 2016 рік), т	Коефіцієнт викидів для компостування, г/кг [8].		Обсяги утворення ПГ (аеробний розклад)		Обсяги утворення ПГ (анаеробний розклад)	
		Аеробне зброджування	Анаеробне зброджування	т	т CO <sub>2</sub> -екв	т	т CO <sub>2</sub> -екв
CH <sub>4</sub>	92213	4	1	368,9	7745,892	92,2	1936,5
N <sub>2</sub> O		0,3	-	27,66	8575,809	-	-

Аналізуючи табл.3.5 бачимо, що з позиції зменшення викидів ПГ від компонентів здатних до біологічного розкладу (зокрема садово-паркові

відходи) більш доцільно збирати їх окремо і подавати на закрите компостування, тобто проводити його анаеробним методом, адже утворення ПГ при анаеробному зброджуванні складає 92,2 т чи 1936,5 т CO<sub>2</sub>-екв, а при аеробному методі утворення ПГ становить 16321,69 т CO<sub>2</sub>-екв (враховуючи сумарні викиди CH<sub>4</sub> та N<sub>2</sub>O).

### 3.5 Оцінка емісії парникових газів від спалювання твердих побутових відходів

В секторі "Відходи" обліковуються викиди ПГ в результаті інсінерації відходів без регенерації енергії, а викиди від спалювання з регенерацією енергії оцінюються в секторі «Енергетика». У цих галузях розділяють викиди CO<sub>2</sub> викопного і біогенного типу (DOC).

За Кадастром необхідно враховувати нетто-викиди CO<sub>2</sub> і включати дані в національну оцінку викидів даного газу тільки якщо викиди CO<sub>2</sub> відбулися в результаті процесів окислення під час інсінерації вуглецю у відходах викопного походження (пластмаса, певні види текстилю, гума рідкі розчинники, відпрацьовані мастила і т.д.).

Викиди CO<sub>2</sub> при спалюванні біомаси (папір, продукти харчування, деревні відходи), містяться у відходах, є біоенергетичними викидами і не включатися в загальну національну оцінку викидів.

Вихідні дані для розрахунків наведені в табл. 3.6

Припустимо такий варіант, як будівництво сміттєспалювального заводу для спалювання відходів м. Одеси. Прийmemo, що на завод буде надходити приблизно 25% ТПВ (за прикладом м. Києва), решта відходів - захоронюється. Вихідні дані обсягів ТПВ приймаємо для Дальницьких кар'єрів.

Таблиця 3.6 - Вихідна інформація щодо компонентів відходів, які підлягають інсінерації.

Загальні обсяги ТПВ, тис.т	Обсяги ТПВ що підлягають захороненню, тис. т	Обсяги ТПВ що поступають на спалювання, тис.т
544	408	136

Згідно з [35] приймаємо коефіцієнт викидів для  $\text{CH}_4$  рівним 30, а для  $\text{N}_2\text{O}$  - 4.

Згідно формулам 2.8 і 2.9 проведені розрахунки утворення ПГ при інсінерації ТПВ та результати наведені в табл. 3.7

Таблиця 3.7 - Результати розрахунків утворення ПГ при інсінерації ТПВ для м. Одеса, 2016 рік

Дальницькі кар'єри, 2016 рік		Коефіцієнт викидів $\text{N}_2\text{O}$	Коефіцієнт викидів $\text{CH}_4$	Кількість утворених ПГ	
Компонент	Маса			$\text{N}_2\text{O}$	$\text{CH}_4$
Пластмаса	32676	4	30	17775,74	133318,1
Текстиль	16338			8887,872	66659,04
Гума та шкіра	10892			5925,248	44439,36
Інші відходи	59756			32507,26	243804,5
Поліетиленова плівка	16338			8887,872	66659,04
Сума	136000			73984	554880

Як видно з табл. 3.7 при спалюванні ТПВ утворюється значна кількість ПГ, при чому викидів метану значно більше.

Викиди  $\text{CH}_4$  при інсінерації і відкритому спалюванні відходів є результатом неповного згоряння. Температура, час утримання і повітряний коефіцієнт (тобто об'єм повітря по відношенню до кількості відходів) є важливими факторами, що впливають на викиди. Викиди  $\text{CH}_4$  зокрема характерні для відкритого спалювання, коли велика частка вуглецю у відходах не проходить окислення. Умови можуть сильно відрізнятися, тому що відходи не є однорідними, а паливо низької якості може мати різну питому температуру згоряння [8].

На основі попередніх розрахунків емісії ПГ складено табл. 3.8, яка ілюструє утворення ПГ при всіх методах поводження з ТПВ.

Таблиця 3.8 - Утворення ПГ при поводженні з ТПВ за різними схемами (Одеська область, 2017 р.)

Найменування методу поводження з ТПВ	Захоронення	Компостування				Спалювання	
		Анаеробне зброджування		Аеробне компостування			
Опис	Загальні обсяги ТПВ Одеської області підлягають видаленню у МВВ	Садово-паркові відходи (10% від загальних обсягів ТПВ) збираються окремо та подаються на компостування, решта ТПВ захоронюється				Спалюванню підлягає 25% ТПВ м.Одеса (пластмаса, текстиль, гума, змішані відходи і т.д.)	
Обсяги утворення ПГ, 2017 рік, т (т CO <sub>2</sub> -екв)	1480,95 (31099,95)	Компостування	Захоронення	Компостування	Захоронення	Спалювання	Захоронення по області
		92,2 (1936,2)	1332,86 (27990,06)	(16321,7)	1332,86 (27990,06)	(34587520 )	655,25 (13760,25)
		29926,26 т CO <sub>2</sub> -екв		44311,76 т CO <sub>2</sub> -екв		34601280,3 т CO <sub>2</sub> -екв	



### 3.6 Використання моделі Waste Reduction Model при оцінці емісії парникових газів

Для розрахунку емісії ПГ від компонентів ТПВ за WARM необхідно мати інформацію щодо кількісного складу кожного компонента ТПВ (табл. 3.9), умови та кількість захоронення відходів, кількість відходів, які подаються на спалювання та на компостування. На основі даних морфологічного складу ТПВ Одеської області, було побудовано таблицю з масовим вмістом компонентів відходів.

Таблиця 3.9 - Кількісний склад компонентів відходів, що здатні до біологічного розкладу[30]

Назва компоненту ТПВ	Відсотковий вміст, %	Одеська область	Дальницькі кар'єри
		Масовий вміст, т	Масовий вміст, т
Харчові відходи	35	322700	190610
Пластмаса	6	55320	32676
Поліетиленова плівка (ПЕТ)	3	27660	16338
Папір, картон	15	138300	81690
Текстиль	3	27660	16338
Гума	2	18440	10892
Деревина	2	18440	10892
Метал	2	18440	10892
Будівельні матеріали	4	36880	21784
Гільки, листя	10	92200	54460
Інші	18	165960	98028
Всього	100	922000	544600

Для розрахунку емісії ПГ по першому сценарію ( збір та захоронення ТПВ) обрано вісім компонентів: харчові відходи - 322700 т та 190610 т, папір та картон - 138300 т і 81690 т , пластмаса - 55320 т 32676 т, ПЕТ - 27660 та 16338 т, деревина - 18440 т і 10892 т, метал - 18440т та 10892 т, садово-паркові відходи - 92200 т і 54460 т та змішані (інші) - 165960т і 98028 т для Одеської області і для Дальницьких кар'єрів відповідно. В якості альтернативного варіанту виступає диференціація потоку ТПВ з утилізацією паперу та картону (15% макулатури підлягає захороненню, бо не придатна для переробки), інші органічні відходи (харчові, садово-паркові, деревина) подаються на анаеробне зброджування, також припустимо, що метали та пластмаса відбираються і утилізуються. Результати розрахунків приведено в табл. В 1 (додаток В).

З табл. В 1 бачимо, що при базовому варіанті утворюється найбільша кількість ПГ 886796 т CO<sub>2</sub>-екв, за різних сценаріїв емісії ПГ значно відрізняються, але попередити найбільшу кількість викидів дає четвертий сценарій, згідно якому найменша можлива кількість ТПВ захоронюється, а всі інші компоненти ТПВ виділяються, сортуються, перероблюються чи подаються компостуванню. Кількість відвернутих ПГ за четвертим сценарієм становить 675916 т CO<sub>2</sub>-екв.

Аналогічні розрахунки проводилися для Дальницьких кар'єрів, результати представлені в табл. В 2 (додаток В).

Для порівняння Національної моделі з моделлю WARM була складена табл.3.10. Для порівняння був обраний метод видалення ТПВ.

Таблиця 3.10 - Порівняння методик розрахунків утворення ПГ

Назва методу поводження з ТПВ	Національна модель, CO <sub>2</sub> -екв	Модель WARM, CO <sub>2</sub> -екв
Видалення	28444,29	886796

Як видно з табл.3.10 результати розрахунків значно відрізняються. Це пояснюється тим, що Національна модель розроблена для українських умов та є добре опрацьованою, у той час як модель WARM включає в себе багато факторів утворення ПГ, а також розроблена для американських реалій і відповідно адаптації до українських поки що не має. Також слід враховувати, що розрахунки за Національною моделлю включають в себе оцінку емісії метану, а американська модель враховує всі ПГ, які утворюються при видаленні відходів. За Національною моделлю неможливо розрахувати загальну емісію ПГ, з іншого боку, за моделлю WARM існують труднощі з оцінкою впливу окремих ПГ.

## ВИСНОВКИ

Враховуючи вищенаведену інформацію були зроблені такі висновки:

Сучасний стан проблеми поводження з ТПВ залишається незадовільним. Майже всі ТПВ підлягають видаленню на спеціально відведених місцях і практично всі полігони не відповідають європейським вимогам та вимогам екологічної безпеки, потребують реконструкції та рекультивації. Також проблемою є перемішування промислових і побутових відходів. Існують труднощі з отриманням інформації для проведення комплексної, якісної характеристики проблеми. Програма Поводження з ТПВ в Одеській області на 2013-2017 роки практично не виконана, але затверджена нова на період 2018-2022 рр.

Основними методами поводження з ТПВ є видалення, спалювання і компостування, які є факторами негативного впливу на НПС внаслідок емісії ПГ. При видаленні ТПВ ПГ надходять до АП за рахунок процесів анаеробного розкладу органічних фракцій та їх окислення. Для цього методу поводження з ТПВ характерні такі ПГ:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  та НЛОС. Метод видалення відходів є першим за кількістю утворених ПГ в секторі "Відходи", тому що захоронення є основним методом в Україні.

Під інсінерацією ТПВ слід розуміти спалювання відходів на сміттєспалювальних підприємствах, при цьому утворюються такі ПГ:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  і ВВ. Компостування є методом біологічної обробки відходів, в цій категорії утворюються викиди  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , ВВ,  $\text{H}_2\text{O}$  внаслідок аеробного зброджування. Утворені при біологічній обробці кінцеві продукти можуть, в залежності від їх якості, бути перероблені на органічні добрива або видалені на полігони.

В якості розрахункових моделей були обрані моделі з Національного Кадастру і комплексна модель оцінки емісії ПГ (WARM). Оцінка емісії окремих ПГ за Національною моделлю від захоронення ТПВ була проведена з

використанням наступних даних: загальна кількість захоронених ТПВ за 2016 рік; інформація щодо морфологічного складу ТПВ (процентний вміст кожного компоненту, яких в Україні виділено сім); постійна темпів утворення метану для кожного компоненту ( $k_i$ ), яка залежить від умов на конкретному звалищі, складу ТПВ, показник здатного для розкладу органічного вуглецю ( $DOC_j$ ). Розрахунки проводились за такими компонентам ТПВ: папір і картон, текстиль, харчові відходи, деревина, садово-паркові відходи, шкіра і гума, засоби особистої гігієни на перший рік утворення ТПВ та за 50 років. Внаслідок різниці в швидкості розкладання окремих компонентів ТПВ «затухання» утворення  $CH_4$  відбувається по-різному: у 2017 році було утворено 262,62 т ПГ від паперу і картону та 904,32т від харчових відходів. За 50 років – 7738,79т та 7977,42т відповідно. Емісія ПГ при захороненні ТПВ в Одеській області на 2017 рік склала 1480,95 т (31099,74 т  $CO_2$ -екв), за період 50 років – 21708,8т (455886,48т  $CO_2$ -екв).

В результаті оцінки емісії ПГ при аеробному компостуванні і анаеробному зброджуванні садово-паркових відходів визначили, що при зброджуванні викиди ПГ значно менші, ніж при відкритому компостуванні. Тому більш доцільно вилучати окремо органічні відходи і подавати на закриті (анаеробне) зброджування. За проведеними розрахунками, при анаеробному зброджуванні садово-паркових відходів та захороненні решти утворених ТПВ емісія ПГ склала 1425,06т (29926,26 т  $CO_2$ -екв).

На основі припущення будівництва сміттєспалювального заводу було проведено розрахунки спалювання 25% ТПВ, які утворюються в Одеській агломерації. При такому варіанті поводження з ТПВ утвориться значна кількість  $CH_4$  та  $N_2O$  554880т (11652480 т  $CO_2$ -екв) та 73984т (22935040 т  $CO_2$ -екв), яка має використовуватись для отримання електричної та теплової енергії. Разом по області утвориться 34601280,3 т  $CO_2$ -екв.

Аналіз отриманих результатів показав, що з трьох варіантів поводження з ТПВ найбільшою емісією ПГ характеризується спалювання (разом з

захороненням) ТПВ (34601280,3 т CO<sub>2</sub>-екв), а найменшою – анаеробне зброджування та захоронення (29926,26 т CO<sub>2</sub>-екв).

З метою порівняння різних методів поводження з ТПВ за величиною емісії ПГ була використана модель WARM, яка враховує значну кількість факторів, що впливають на викиди і працює для 54 компонентів ТПВ. Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що можна уникнути значних обсягів ПГ при застосуванні методів поводження з ТПВ комплексно, тобто наряду із захороненням виокремлювати матеріали для подачі на компостування і спалювання з подальшим використанням вироблених продуктів, а ресурсоцінні компоненти подавати на переробку.

Результати, отримані за двома моделями, значно відрізняються. Порівнюючи Національну модель з моделлю WARM необхідно враховувати, що перша є більш опрацьованою і розроблена з врахуванням українських умов поводження з ТПВ, але не дає можливості оцінити обсяги утворення всіх ПГ та на всіх етапах ЖЦМ. Модель WARM враховує значну кількість факторів впливу на утворення ПГ і широкий вибір типів відходів, дає змогу проведення розрахунків за альтернативними сценаріями. Відсутність адаптації WARM до українських умов і неможливість оцінки впливу окремих ПГ є недоліками її використання.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1) Энергетический потенциал свалочного газа на полигонах ТБО: Аналитическая записка/ ЦСИ ТЭК ВД/ Владивосток, 2013. 52с. URL: <http://fecsrfec.ru/upload/iblock/488/488126c7a984fc266ebb2400c8257acb.pdf> (дата обращения 18.07.2018)

2) Миняйло Е.Э., Выборов С.Г. К оценке влияния полигонов твердых бытовых отходов на подземные воды// Наукові праці ДонНТУ.Серія "Гірничо-геологічна". 2010р. №11 (161) С.150-154.

3) Про відходи: Закон від 05.03.1998 №36-37//База даних "Законодавство України" / ВР України. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 03.07.2018).

4) Черняева Т.К. Актуальные проблемы влияния отходов производства и потребления на объекты окружающей среды и состояние здоровья населения (обзор литературы)//Гигиена и санитария: электрон. версия стат. 2013. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/aktualnye-problemy-vliyaniya-othodov-proizvodstva-i-potrebleniya-na-obekty-okruzhayuschey-sredy-i-sostoyanie-zdorovya-naseleniya-obzor> (дата обращения: 03.07.2018).

5) Мутугуллина И.А. Экологические проблемы твердых бытовых отходов (на примере республики Татарстан)//Вестник КНИТУ. 2013.№17. С. 252-253.

6) Ламзина И.В., Желтобрюхов В.Ф., Шайхiev И.Г. Анализ методов сортировки твердых бытовых отходов// Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.18. №5. С.244-246.

7) Ukraine's Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2016 / Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Kyiv, 2017. 519 p. URL: [https://menr.gov.ua/files/docs/Zmina\\_klimaty/kadastr2016/ukr-2018-nir-23may18.zip](https://menr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/kadastr2016/ukr-2018-nir-23may18.zip). (дата звернення: 12.10.2018)

8) Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. Т. 5. Отходы. URL: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol5.html> (дата обращения 26.04.2087)

9) Гелетуха Г.Г., Кобзарь С.Г. Современные технологии анаэробного сбраживания биомассы (Обзор)// Экотехнологии и ресурсосбережение/ Институт технической теплофизики НАНУ. Киев, 2002. №4.URL: <http://biomass.kiev.ua/images/library/articles/anaerob1.pdf> (дата звернення 28.07.2018).

10) Цгоев Т.Ф., Шеверева М. Методы переработки и утилизации твердых бытовых отходов// Труды молодых ученых/ Владикавказский научный центр РАН. Владикавказ. 2011.–№ 2. URL: <http://www.nacc.spb.ru/files/2011-2-ze-03.pdf> (дата звернення 10.07.2018).

11) Перспективы использования твердых бытовых отходов как топлива в г. Киеве./Киевэнерго. Одесса, 2016. URL:[http://engecology.com/wp-content/uploads/2015/08/17-magera\\_razvitie-tbo\\_doklad-ke\\_20.09.16.pdf](http://engecology.com/wp-content/uploads/2015/08/17-magera_razvitie-tbo_doklad-ke_20.09.16.pdf) (дата звернення 28.07.2018).

12) Програма поводження з відходами в Донецькій області на 2016-2020 роки. Краматорськ, 2017. URL:[https://dn.gov.ua/wp-content/uploads/Programa\\_povodzhennya\\_z\\_vidhodamy\\_v\\_Donets\\_kij\\_oblasti\\_na\\_2016-2020\\_roky\\_NOVA\\_REDAKTSIYA.pdf](https://dn.gov.ua/wp-content/uploads/Programa_povodzhennya_z_vidhodamy_v_Donets_kij_oblasti_na_2016-2020_roky_NOVA_REDAKTSIYA.pdf) (дата звернення 05.08.2018).

13) Проект програми поводження з твердими побутовими відходами у Київській області на 2017-2020 роки. Київ, 2017. 49с.

14) Розпорядження про внесення змін до Регіональної програми поводження з твердими побутовими відходами у Луганській області/Луганська обласна державна адміністрація. Сєверодонецьк, 2017. 42с. URL:[http://www.ecolugansk.gov.ua/images/foto/vnesennj\\_zmin\\_do\\_reg\\_prog\\_povod\\_z\\_vidhodamy\\_roz\\_195.pdf](http://www.ecolugansk.gov.ua/images/foto/vnesennj_zmin_do_reg_prog_povod_z_vidhodamy_roz_195.pdf) (дата звернення 05.08.2018).

15) Програма поводження з твердими побутовими відходами в Миколаївській області на період до 2020 року/ Миколаївська обласна рада. Миколаїв, 2008.



16) Програма поводження з ТПВ в Одеській області на період 2018-2022роки/ Одеська обласна рада. Одеса,2018. URL: <http://oblrada.odessa.gov.ua/wp-content/uploads/03-21-VII.pdf> (дата звернення 05.08.2018)

17) Всеукраїнський екологічно-освітній проект "Компола"/ Мінприроди. URL: <http://compol.org/> (дата звернення 30.08.2018)

18) Сафранов Т.А., Приходько В.Ю., Шанина Т.П. Проблема розміщення відходів на звалищах та полігонах одеської області//Вісник ХНУ імені Каразіна серія "Екологія".2016.№14. С.83-90.

19) Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року/ Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8.11.2017 р. №820//База даних "Законодавство України"/ КМУ України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p> (дата звернення 20.04.2018)

20) Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2016 році. Одеса, 2017

21) Екологічний паспорт регіону Одеської області, Одеса 2018. 93 с.

22) Кіріяк В.Є., Приходько В.Ю. Оцінка емісії метану від місць захоронення твердих побутових відходів (на прикладі Одеської області)//Матеріали щорічної міжнародної науково-технічної конференції "Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів",25-26 квітня 2018 р. ХНУ. Харків, 2018. С.155-156.

23) Сафранов Т.А., Приходько В.Ю., Шанина Т.П. Оценка эмиссии парниковых газов из мест захоронения ТБО: критический анализ методик и адаптация к условиям Одесской области // Вісник ОДЕКУ. 2017. № 21. С.5-14.

24) Приходько В.Ю., Кіріяк В.Є. Оцінка емісії парникових газів за різних методів поводження з твердими побутовими відходами // Матеріали Міжнародної наукової конференції молодих вчених «Регіональні проблеми охорони довкілля», 30 травня-1червня 2018 р., ОДЕКУ. Одеса, ТЕС. 2018. С. 182-185.

25) Кожухар В.Я., Миронов Д.В., Стратулат О.А. Емісія звалищного газу з полігону твердих побутових відходів "Дальницькі Кар'єри"// Вісник ОНПУ 2004.№2(28).

26) Приходько В.Ю., Просянюк И.А., Кириак В.Е. Оценка эмиссии парниковых газов из мест захоронения твердых бытовых отходов на региональном уровне // Вопросы наук о земле в концепции устойчивого развития Беларуси: сб. научных статей. Ч.1. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины. 2017. С. 348-353.

27) Приходько В.Ю. Кіріак В.Є. Оптимізація системи поводження з твердими побутовими відходами на основі моделі WARM //5-й Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»: збірник матеріалів. 26-29 вересня 2018 р., Львівська Політехніка. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2018. С.138.

28)Волынкина Е.П., Домнин К.И. Математическая модель для прогнозных расчетов образования и извлечения свалочного газа на закрытых свалках ТБО// Вестник СГИУ.2014. №3(9). С. 62-70.

29) Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factor Used in the Waste Reduction Model (WARM)/U.S. Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery.2016. URL: [https://www.epa.gov/sites/production/files/201603/documents/warm\\_v14\\_background.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/201603/documents/warm_v14_background.pdf) (дата звернення 25.06.2018)

30) Звіт з аналізу існуючого стану системи поводження з ТПВ в Одеській області за 2013-2017 рр. / ТОВ ЕСКО»Екологічні системи». 2017. 37 с.

31) Шмарин С.Л., Лучко И.А. Помесячное изменение морфологического состава, калорийности, влажности и зольности бытовых отходов// Вісник НТУУ "КПІ" Серія "Гірництво". 2011.№21. С.136-143. URL: <http://mining.kpi.ua/article/viewFile/55585/51766> (дата звернення 11.09.2018).

32) Скрипник А.П. Анализ морфологического состава твердых бытовых отходов Украины как составляющая подхода к решению проблемы отходов// Вісник ОДЕКУ.2007.№4 С. 78-86.

33) Шмарин С.Л., Алексеев И.Л., Филозоф Р.С. Содержание биоразлагаемых компонентов в составе твердых бытовых отходов в Украине// Экология и промышленность. 2014. № 1. С. 79-83.

34) Кіріяк В.Є., Приходько В.Ю. Оцінка емісії парникових газів за різних методів поводження з твердими побутовими відходами//Матеріали конференції молодих вчених, 2-8 травня 2018 р., ОДЕКУ. Одеса, ТЕС.2018.С.189-190.

35) Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. Т. 2. Энергетика. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol2.html> (дата обращения 26.09.2018)

ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

Публікації за темою магістерської кваліфікаційної роботи

1) Приходько В.Ю., Просянюк І.А., Кириак В.Е. Оценка эмиссии парниковых газов из мест захоронения твердых бытовых отходов на региональном уровне // Вопросы наук о земле в концепции устойчивого развития Беларуси: сб. научных статей. Ч.1. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины. 2017. С. 348-353.

2) Кіріак В.Є., Приходько В.Ю. Оцінка емісії метану від місць захоронення твердих побутових відходів (на прикладі Одеської області)//Матеріали щорічної міжнародної науково-технічної конференції "Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів", 25-26 квітня 2018 р. ХНУ. Харків, 2018. С.155-156.

3) Приходько В.Ю., Кіріак В.Є. Оцінка емісії парникових газів за різних методів поводження з твердими побутовими відходами // Матеріали Міжнародної наукової конференції молодих вчених «Регіональні проблеми охорони довкілля», 30 травня-1 червня 2018 р., ОДЕКУ. Одеса, ТЕС. 2018. С. 182-185.

4) Приходько В.Ю. Кіріак В.Є. Оптимізація системи поводження з твердими побутовими відходами на основі моделі WARM //5-й Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»: збірник матеріалів. 26-29 вересня 2018 р., Львівська Політехніка. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2018. С.138.

5) Кіріак В.Є., Приходько В.Ю. Оцінка емісії парникових газів за різних методів поводження з твердими побутовими відходами//Матеріали конференції молодих вчених, 2-8 травня 2018 р., ОДЕКУ. Одеса, ТЕС.2018.С.189-190.

## ДОДАТОК В

Таблиця В 1 - Сценарії емісії ПГ для окремих компонентів ТПВ для Одеської області, 2016 рік.

№	Сценарії	Опис	Кількість утворених за базовим сценарієм ПГ, т CO <sub>2</sub> -екв	Кількість утворених за альтернативним сценарієм ПГ, т CO <sub>2</sub> -екв	Кількість відвернутих ПГ, т CO <sub>2</sub> -екв
1	Базовий варіант (захоронення)	Валовий збір та захоронення окремих компонентів ТПВ (папір та картон, харчові відходи, пластмаса, деревина, метал, садово-паркові відходи, змішані ТПВ)	886796	-	-
2	Захоронення + компостування	Захороненню підлягають всі відходи, крім органічних. Харчові, садово-паркові відходи та деревина подаються на анаеробне зброджування.	886796	339450	547346
3	Захоронення+ком постування+ спалювання	Змішані метали, змішані ТПВ, що не підлягають сортуванню захоронюються. Харчові, садово-паркові відходи та деревина поступають на компостування. Спалюванню підлягають всі інші (пластмаса, папір та картон)	886796	168368	718428
4	Диференціація потоку ТПВ	Захороненню підлягають 15% відходів макулатури. Органічні ТПВ подаються на анаеробну ферментацію. Папір і картон, метали, пластмаса сортуються і утилізуються.	886796	210880	675916

Таблиця В 2 - Сценарії емісії ПГ для окремих компонентів ТПВ для Дальницьких кар'єрів, 2016 рік.

№	Сценарії	Опис	Кількість утворених ПГ при базовому сценарії, т CO <sub>2</sub> -екв	Кількість утворених ПГ при альтернативному сценарії, т CO <sub>2</sub> -екв	Кількість відвернутих ПГ, т CO <sub>2</sub> -екв
1	Базовий варіант (захоронення)	Валовий збір та захоронення окремих компонентів ТПВ (папір та картон, харчові відходи, пластмаса, деревина, метал, садово-паркові відходи, змішані ТПВ)	523806	-	-
2	Захоронення + компостування	Захороненню підлягають всі відходи, крім органічних. Харчові, садово-паркові відходи та деревина подаються на анаеробне зброджування.	523806	200503	323303
3	Захоронення+ком постування+ спалювання	Змішані метали, змішані ТПВ, що не підлягають сортуванню захоронюються. Харчові, садово-паркові відходи та деревина поступають на компостування. Спалюванню підлягають всі інші (пластмаса, папір та картон)	523806	123394	400412
4	Диференціація потоку ТПВ	Захороненню підлягають 15% відходів макулатури. Органічні ТПВ подаються на анаеробну ферментацію. Папір і картон, метали, пластмаса сортуються і утилізуються.	523806	124561	399245