

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Наказ Міністерства освіти і науки України  
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.02

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут екологічної економіки і менеджменту  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

УДК 502.34 : 628.4.03

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавр  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

# ОЦІНКА СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ У М.БОРИСЛАВ

Виконав: студент 4\_курсу, групи ЕК-41  
напряму підготовки (спеціальності)

101 Екологія

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Приста́вняк А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник Ошуркевич-Панківська О.Є.

(прізвище та ініціали)

Рецензент доц. Марутяк С.Б.

(прізвище та ініціали)



ЗАТВЕРДЖЕНО  
Наказ Міністерства освіти і науки України  
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.01

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення екологічної економіки і менеджменту

Кафедра, циклова комісія екології

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

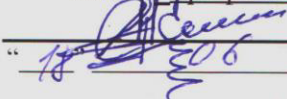
Спеціальність \_\_\_\_\_ (шифр і назва)

101 Екологія

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, голова циклової  
комісії проф. Котій Л.І.

 2024 року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Пристаєняк Анні Іванівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Оцінка системи поводження з твердими побутовими  
відходами у м.Борислав

керівник проекту (роботи) Ошуркевич-Панківська О.Є, к.с.-г.н., доц.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «22» травня 2024 р. № С-350

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Програма поводження з побутовими відходами у  
м.Бориславі на 2020-2025 роки.; Звіт про проведення екологічного аудиту території  
розміщення Бориславського полігону твердих побутових відходів; Дані  
Держстатистики України про прирість населення у Львівській області.

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

Вступ; 1. Загальна характеристика управління відходами у Бориславській МТГ; 2.  
Оцінка показників впливу на довкілля місць складування твердих побутових відходів у  
Бориславській МТГ; 2.1. Прогнозування обсягів накопичення твердих побутових  
відходів у Бориславській МТГ; 2.2. Розрахунок площі необхідної для складування  
твердих побутових відходів Бориславської МТГ; 2.3. Розрахунок кількості біогазу, що  
утворюватиметься в тілі полігону ТПВ; 2.4. Розрахунок кількості фільтрату, що  
утворюватиметься на полігон; 3.Оцінка екологічного ефекту від сортування відходів  
на території Бориславської МТГ; Висновки; Список використаних джерел; Додатки.



5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Графіки зміни загальної маси відходів, місткості полігону, площі земель під полігоном, кількості фільтрату та маси викидів парникових газів без сортування і у випадку поступового впровадження системи роздільного збирання

6. Дата видачі завдання 23.03.2024

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Загальна характеристика управління відходами у Бориславській МТГ	23.03.24- 20.04.24	виконано
2	Оцінка показників впливу на довкілля місць складування твердих побутових відходів у Бориславській МТГ	21.04.24- 07.05.24	виконано
3	Методика розрахунку основних показників впливу полігону ТПВ на довкілля	08.05.24- 17.05.24	виконано
4	Оцінка екологічного ефекту від сортування відходів на території Бориславської МТГ	18.05.24- 30.05.24	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	01.06.24- 17.06.24	виконано

Студент

  
(підпис)

Приставняк А.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

Ошуркевич-Панківська О.Є.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**УДК 502.34 : 628.4.03 Приставняк А.І. Оцінка системи поводження з твердими побутовими відходами у м. Борислав: кваліфікаційна робота бакалавра: 101 Екологія / Анна Іванівна Приставняк; наук. кер.: Оксана Євгенівна Ошуркевич-Панківська; НЛТУ України. - Львів, 2024. – 55 с.**

У роботі на основі аналізу обсягів накопичення твердих побутових відходів та динаміки чисельності населення у Бориславській МТГ, розвитку інфраструктури для роздільного збирання відходів виконано прогностичні розрахунки маси твердих побутових відходів, місткості та площі полігону для їх захоронення, об'єму фільтрату та звалищного газу.

*Ключові слова:* полігон твердих побутових відходів, система поводження з відходами, площа полігону, місткість полігону, фільтрат, викиди парникових газів.

## ABSTRACT

**УДК 502.34 : 628.4.03 Prystavniak A.I. Evaluation of the solid household waste management system in the city of Boryslav: Bachelor Diploma Thesis: 101 Ecology / Anna Ivanivna Prystavniak; scientific director: Oksana Evgenivna Oshurkevych-Pankivska; NLTU of Ukraine. - Lviv, 2024. – 55 p.**

In the work, based on the analysis of the volume of accumulation of solid household waste and the dynamics of the population in the Boryslav territorial community, the development of infrastructure for separate collection of waste, predictive calculations of the mass of solid household waste, the capacity and area of the landfill for their disposal, the volume of leachate and landfill gas were performed.

*Key words:* solid household waste landfill, waste management system, landfill area, landfill capacity, leachate, greenhouse gas emissions.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ У БОРИСЛАВСЬКІЙ МТГ.....	4
РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ МІСЦЬ СКЛАДУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У БОРИСЛАВСЬКІЙ МТГ.....	8
2.1. Прогнозування обсягів накопичення твердих побутових відходів у Бориславській МТГ.....	8
2.2. Розрахунок площі необхідної для складування твердих побутових відходів Бориславської МТГ.....	10
2.3. Розрахунок кількості біогазу, що утворюватиметься в тілі полігону ТПВ.....	13
2.4. Розрахунок кількості фільтрату, що утворюватиметься на полігоні	28
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД СОРТУВАННЯ ВІДХОДІВ НА ТЕРИТОРІЇ БОРИСЛАВСЬКОЇ МТГ.....	31
ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40
ДОДАТКИ.....	44

## ВСТУП

Виробнича і побутова діяльність людини неминуче пов'язана з утворенням відходів. Лише зовсім недавно людство усвідомило, що темпи накопичення відходів ставлять під загрозу існування самого життя на Землі. Виникло протиріччя – між тим, що економіка стимулює добування природних ресурсів, тим самим збільшення об'ємів відходів, і тим, що відходи скоро займуть весь простір, а ресурси – вичерпаються.

Місця складування відходів займають величезні території. Щороку в Україні складається близько 1,5 млрд. т твердих відходів, а звалища відходів займають більше 150 тис. га. Сьогодні проблеми твердих відходів кардинально не вирішуються, оскільки не достатньо вивчені і обґрунтовані екологічні, економічні, технологічні, технічні аспекти поводження з ними. Ситуація ускладнюється зниженням темпів переробки відходів.

Мета політики у сфері поводження з відходами повинна бути спрямована на зменшення обсягів утворення відходів, перетворення все більшої їх кількості у ресурси для повторного використання і на розробку та впровадження оптимальних методів експлуатації діючих полігонів твердих відходів.

З огляду на це, дослідження, аналіз системи поводження з твердими побутовими відходами у населених пунктах України є *актуальним*.

**Мета** роботи полягає в оцінці системи поводження з твердими побутовими відходами у м. Борислав.

Досягнення мети забезпечувалось виконанням таких **завдань**:

- проаналізувати обсяги накопичення твердих побутових відходів та динаміки чисельності населення на території Бориславської МТГ;
- виконати прогностичні розрахунки маси твердих побутових відходів, місткості та площі полігону для їх захоронення, об'єму фільтрату та звалищного газу на період з 2024 до 2035 року;
- оцінити вплив розвитку інфраструктури роздільного збирання відходів на території громади, на довкілля.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ У БОРИСЛАВСЬКІЙ МТГ

Проблема твердих відходів, як і інші екологічні проблеми, щорічно загострюється. Значне збільшення чисельності населення на фоні покращення якості життя, застосування недосконалих технологічних процесів в промисловості, викликає утворення величезної кількості твердих відходів [22, 24]. Зростання об'ємів твердих побутових відходів загострює так звану «сміттєву кризу», котра є частиною глобальної екологічної кризи [22].

На сьогодні на усій території Львівщини склалася критична ситуація у сфері управління відходами, зокрема відбувається збільшення обсягів утворення відходів у різних галузях життєдіяльності людини, накопичення їх у місцях тимчасового зберігання. Високий рівень утворення відходів, низькі показники їх використання як вторинної сировини, неналежна утилізація та захоронення відходів, відсутність інфраструктури управління відходами, зумовлює негативні екологічні та соціальні наслідки в регіоні, що в свою чергу актуалізує впровадження системного підходу до управління відходами [16].

Особливістю твердих побутових відходів є їх прив'язаність до місць утворення. Тому вони стають джерелами надходження в довкілля шкідливих хімічних, біологічних та біохімічних речовин практично у кожному населеному пункті, що створює загрозу здоров'ю місцевого населення [14,15, 22]. В останні десятиліття загострюється проблема стрімкого зростання кількості побутового сміття і, як наслідок збільшення обсягу відходів на сміттєзвалищі, поява великої кількості стихійних сміттєзвалищ, що стали невіддільною складовою урбанізованих територій.

Місто Борислав у сучасних умовах зіткнулося з однією з найбільш гострих екологічних проблем - проблемою утилізації твердих побутових відходів. Сьогодні відходи є одним з найбільш значних факторів забруднення довкілля міста та довколишніх територій [3].

Послугою централізованого вивозу твердих побутових відходів користуються сім населених пунктів: м. Борислав та села Попелі, Уріж, Винники, Мокряни, Підмонастирок, Ясениця-Сільна. Відходи вивозяться для захоронення на сміттєзвалище площею 11 га (на сьогодні площа під відходами - 3 га), що розташоване в північній частині міста, за межами планувальних кварталів по вулиці Братів Лисиків, 8, на відстані понад 500 м від житлової забудови. Сміттєзвалище введено в експлуатацію у 1978 році [12, 20].

На сміттєзвалище вивозять побутові відходи від житлових будинків і громадських установ, підприємств торгівлі, громадського харчування, учбових і дошкільних закладів, організацій культури і охорони здоров'я та ін; вуличний та садово-парковий змет, будівельне сміття від ремонту квартир, а також промислові відходи III та IV-го класів небезпеки з дозволу місцевих органів санітарно-епідеміологічної та екологічної служб і пожежної інспекції [12, 20]. На територію сміттєзвалища щоденно завозиться приблизно становить  $175 \text{ м}^3$  сміття, що складає приблизно 28 тис.  $\text{м}^3$  відходів на рік [20].

При проектуванні полігону ТПВ не була передбачена система захисту ґрунтових вод від забруднення фільтратом, тому впродовж усього терміну експлуатації сміттєзвалище було і залишається джерелом забруднення ґрунту та верхнього водоносного горизонту. Ця проблема частково усувається такими заходами як перешаруванням сміття інертним шаром, а також збиранням фільтрату у ставок-відстійник площею  $300 \text{ м}^2$ . Територія «полігону» ТПВ обмежена канавою для запобігання витіканню за межі полігону забруднених поверхневих вод, які утворюються після випадання дощів.

Для контролю за станом підземних вод облаштовані дві моніторингові свердловини глибиною 2,5 м (у четвертинному водоносному горизонті) в напрямку розвантаження підземних вод [12].

З метою запобігання вибухів та самозаймання відходів на полігоні працює система вилучення біогазу. На території, де проведене перешарування, облаштовані дві свердловини призначені для пасивної дегазації полігону.

Також планується облаштування ще кількох дегазаційних свердловин. Система збирання чи спалювання біогазу в факелах не передбачена [12].

Зважаючи на незадовільне облаштування сміттєзвалища міста, стрімке зростання накопичення відходів (на 10-15 % щорічно) тверді побутові відходи стають реальною небезпекою для населення і навколишнього природного середовища, яка потребує негайного вирішення [20]. Зменшення обсягів накопичення відходів дало б можливість швидше та якісніше проводити рекультивацію та перешарування відходів на сміттєзвалищі, яких за період експлуатації накопичилось близько 659,600 тис. тон [3].

Ще донедавна основною схемою видалення твердих побутових відходів з території міста та прилеглих сіл залишалася система збирання та захоронення відходів на міському сміттєзвалищі. Проте, на даний час у м. Бориславі поступово впроваджується роздільне сортування відходів, що дасть можливість зменшити навантаження на полігон ТПВ [3].

Так, на сьогодні на території м. Борислава встановлено 136 контейнерних майданчиків для роздільного сортування твердих побутових відходів, а саме: паперу та картону (на 1540 м<sup>3</sup>/рік); пластмаси та ПЕТ пляшок (на 2100 м<sup>3</sup>/рік); скла (на 1848 м<sup>3</sup>/рік) [3, 20].

Також, у Бориславській МТГ запроваджується реалізація проекту зі створення заводу з компостування органічних та зелених відходів. Програма розроблена Комунальним некомерційним підприємством «Центр екології, туризму та сталого розвитку» спільно з управлінням ЖКГЕ Бориславської міської ради у рамках проекту «ULEAD з Європою» Проектом передбачено створення замкнутою структури оброблення біовідходів, яка включає увесь цикл від збирання, транспортування до оброблення біовідходів на власних потужностях. Впровадження програми відбуватиметься поступово протягом 10-12 років і розраховане на кінцеву потужність 5 тис.т/рік. Обсяг органіки (харчових відходів) зібраної від населення становитиме – 3245,9 т/рік, відповідно обсяг зелених відходів (гілки, скошена трава, листя тощо) – 1813 т/рік [20].

Апробація проекту відбулася у приватному секторі на вулицях Ясна, Чумацька, Костомарова [3]. На наступних етапах впровадження програми планується створити мережу таких майданчиків, яка буде відповідати концепції поводження з відходами зеленого господарства, а також спроектувати майданчик для промислового компостування.

Крім цього проектом передбачені інформаційні компанії і робота з населенням щодо актуальності сортування відходів, що прискорюватиме налагодження ефективності системи роздільного збирання біовідходів [20].

## **РОЗДІЛ 2**

### **ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ**

### **МІСЦЬ СКЛАДУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

### **У БОРИСЛАВСЬКІЙ МТГ**

Для більшості міст України і світу загалом характерне неухильне зростання норм накопичення твердих побутових відходів. За об'ємом норми накопичення зростають щорічно на 3 - 5 %, за масою - на 0,3 - 0,5 % [11,13,18, 25]. Прогнозовані на проектний період норми накопичення твердих побутових відходів необхідні при проектуванні споруд для складування відходів, розробки схем санітарного очищення населених пунктів, інших техніко-економічних розрахунків. Також їх можна використати для оцінки екологічних показників впливу місць складування твердих побутових відходів на довкілля, а саме для розрахунку: площі земель вилучених з користування для облаштування полігону ТПВ; кількості забруднюючих речовин, що потраплятимуть у атмосферне повітря від полігону ТПВ; кількості фільтрату, що утворюватиметься у тілі полігону.

#### **2.1. Прогнозування обсягів накопичення твердих побутових відходів у Бориславській МТГ**

Прогнозування накопичення твердих побутових відходів на період до 2035 року у Бориславській МТГ виконували згідно з методикою (див. Додаток А). На основі даних про норму накопичення відходів на одну особу станом на 2023 рік у Бориславській МТГ (340 кг/рік [20]), з врахуванням щорічного приросту норм накопичення відходів, розраховано масу відходів, що утворюватиметься на території Бориславської МТГ кожного наступного року прогнозування (табл. 2.1, рис.2.1). Розрахунки виконані за умови відсутності системи сортування відходів.

Таблиця 2.1

## Прогнозування накопичення ТПВ за відсутності сортування

Рік	Маса відходів у Бориславський МТГ (станом на 2023 рік), кг/рік	Коефіцієнт річного приросту накопичення відходів	Період прогнозування, роки	Маса відходів, т/рік
2023	13158	0,005		13158
2024			1	13290
2025			2	13356
2026			3	13423
2027			4	13490
2028			5	13558
2029			6	13625
2030			7	13694
2031			8	13762
2032			9	13831
2033			10	13900
2034			11	13970
2035			12	14039
<b>Разом</b>				<b>177097</b>

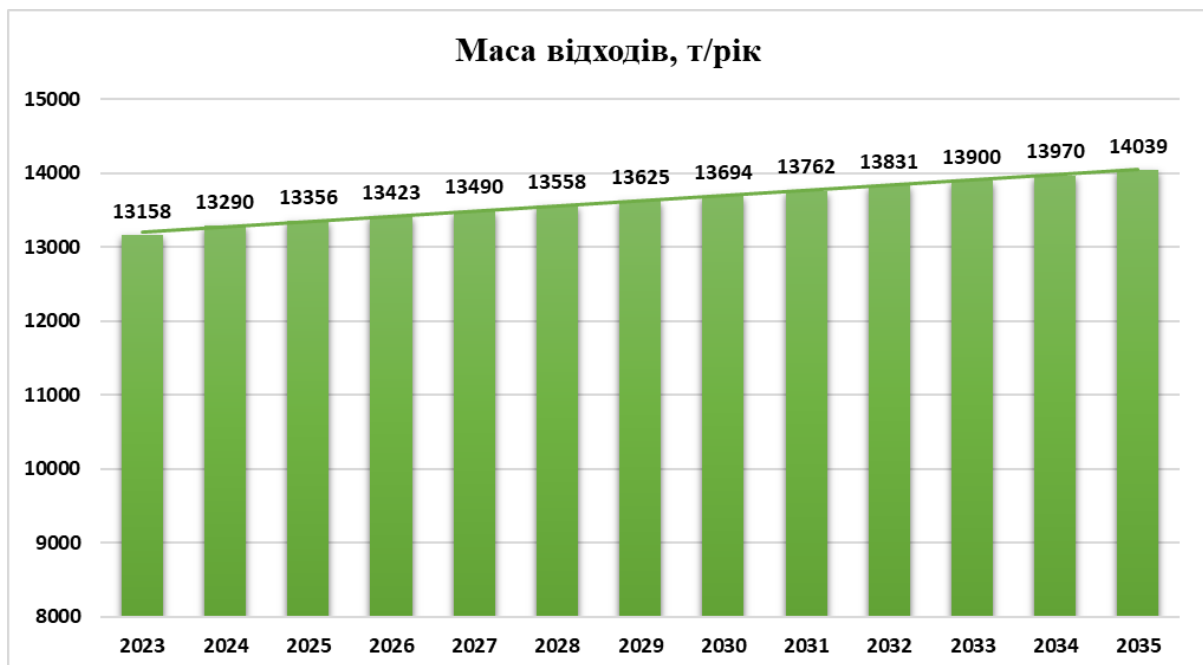


Рис. 2.1. Збільшення маси твердих побутових відходів при відсутності сортування

Спостерігаємо неухильне збільшення маси відходів з роками, так на кінцевий рік прогнозування (2035 рік) кількість відходів становитиме 14039 т/рік, що на 6 % більше, ніж на перший рік прогнозування. За весь період прогнозування на території Бориславської МТГ утвориться 177 097 тон відходів.

## **2.2. Розрахунок площі необхідної для складування твердих побутових відходів Бориславської МТГ**

Проектна місткість (об'єм) полігону ТПВ розраховується для обґрунтування розмірів ділянки для складування ТПВ. Проте, розмір земельної ділянки, що відводиться під складування ТПВ залежить не лише від об'єму твердих побутових відходів, а й від: терміну експлуатації полігону; чисельності населення району, що обслуговується, з урахуванням перспективи його зростання (зменшення); норми накопичення ТПВ та їх щільності; обсягу всіх інших відходів, що складуються з ТПВ (будівельні відходи, деякі промислові відходи, які дозволено складувати разом з ТПВ та інші); геометричної форми ділянки та допустимої висоти складування відходів; методу, який приймається для ущільнення відходів при складуванні; напрямку подальшого використання земельної ділянки після закриття та рекультивації полігону ТПВ [9].

Розрахунок місткості полігону ТПВ проводили за методикою викладеною у Додатку А, на основі зпрогнозованої щорічної маси відходів, середньої густини відходів (згідно з [20] приймали  $0,216 \text{ т/м}^3$ ), а також зпрогнозованої кількості населення Бориславської МТГ на кожен наступний рік прогнозування (табл. 2.2). Для прогнозування кількості населення використовували дані Держстатистики України про приріст населення у Львівській області (-5,62 особи/1000 осіб) [8].

Результати розрахунків свідчать, що незважаючи на зменшення чисельності населення у Бориславській МТГ об'єм відходів неухильно

збільшуватиметься і на кінцевий рік прогнозування місткість полігону становитиме 14392431,0 м<sup>3</sup> (табл.2.2, рис.2.2).

Таблиця 2.2

Зміна кількості населення та об'єму полігону твердих побутових відходів

Рік	Період прогнозування, роки	Маса відходів, т/рік	Кількість населення, осіб	Місткість (об'єм) полігону, м <sup>3</sup>
2023		13158	38700	38919,0
2024	1	13290	38483	312919,4
2025	2	13356	38266	470582,8
2026	3	13423	38051	629075,6
2027	4	13490	37837	788418,1
2028	5	13558	37625	948630,9
2029	6	13625	37413	1109734,7
2030	7	13694	37203	1271750,5
2031	8	13762	36994	1434699,4
2032	9	13831	36786	1598602,8
2033	10	13900	36579	1763482,2
2034	11	13970	36374	1929359,4
2035	12	14039	36169	2096256,3
<b>Сумарно</b>		<b>177097</b>		<b>14392431,0</b>

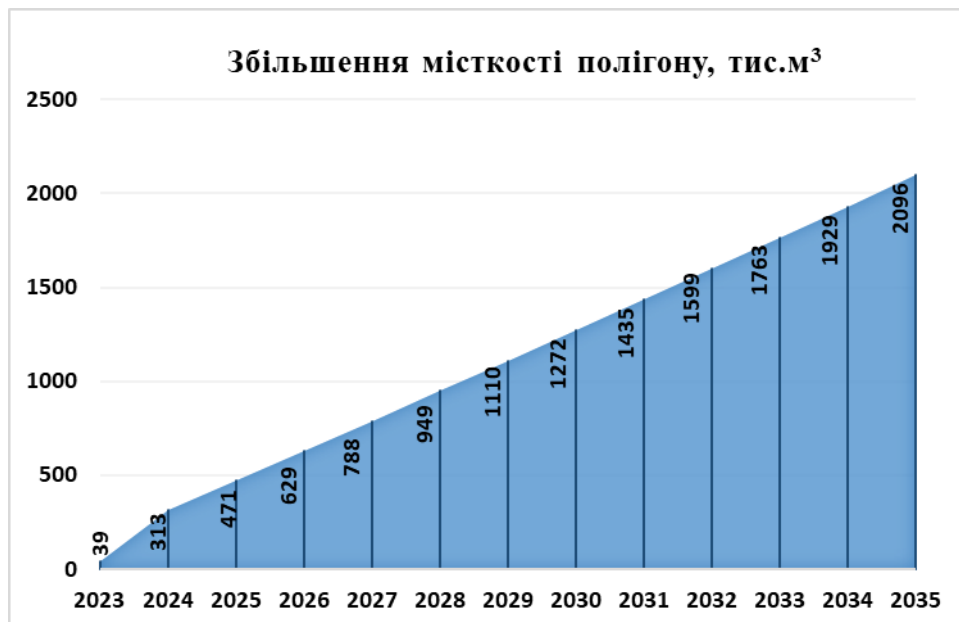


Рис. 2.2. Збільшення місткості полігону твердих побутових відходів

Далі проводили розрахунок площі земельної ділянки, яка необхідна для складування відходів за методикою, викладеною у Додатку А на кожен рік прогнозування (табл.2.3, рис.2.3).

Таблиця 2.3

## Зміна площі полігону твердих побутових відходів

Рік	Маса відходів, т/рік	Площа полігону, га
2023	13158	0,3
2024	13290	0,5
2025	13356	0,8
2026	13423	1,1
2027	13490	1,3
2028	13558	1,6
2029	13625	1,9
2030	13694	2,2
2031	13762	2,4
2032	13831	2,7
2033	13900	3,0
2034	13970	3,3
2035	14039	3,5



Рис. 2.3. Збільшення площі полігону твердих побутових відходів

Бачимо, що за весь період з 2024 до 2035 року площа полігону зростатиме в середньому на 0,2-0,3 га щороку, і на кінцевий рік прогнозування

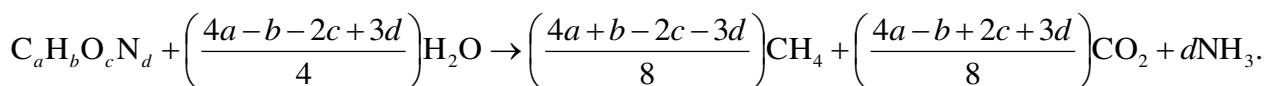
становитиме 3,5 га. З врахуванням площі нормативної санітарно-захисної зони, ширина якої згідно з [7] має становити 500 м, площа вилучених з користування земель досягне 75 га.

### 2.3. Розрахунок кількості біогазу, що утворюватиметься в тілі полігону ТПВ

Тверді побутові відходи, що складуються на міських звалищах, на 55-80 % складаються з органічних фракцій і являють собою потенційне джерело енергії. Середній склад газу, що виділяється при анаеробному розкладі органіки, наступний: метан - 40-60 %, вуглекислий газ - 30-45 %, азот та водень - 1-2 %, сірководень - 1-2 % та невелика кількість інших сполук [4,5,21,29].

Процес розкладу ТПВ залежить від складу відходів та умов їх захоронення. Він триває протягом десятків років. Найбільша кількість метану на полігоні твердих побутових відходів накопичується у перший рік після завершення експлуатації полігону за оптимальних умов для життєдіяльності метанових бактерій (відсутність кисню; показник рН від 6 до 8; вологість 50-60 %; відсутність токсичних речовин; наявність поживних речовин; температура 30-40°C) [18, 29].

Для розрахунку максимального об'єму газів, що виділятимуться внаслідок анаеробної деструкції органічної частини відходів (з узагальненою формулою  $C_aH_bO_cN_d$ ) використали рівняння (А.8, див. Додаток А) [18, 29], припустивши повну конверсію органіки в  $CO_2$  і  $CH_4$ :



Співвідношення хімічних елементів у органіці та числові коефіцієнти в рівнянні визначали, розраховувавши коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  на основі даних про вміст хімічних елементів у органічних складових відходів (Додаток А), окремо для органіки, що розкладається швидко і для органіки, що розкладається повільно (табл. 2.4-2.11).

Таблиця 2.4

Середній хімічний склад харчових відходів (органіка, що розкладається швидко)

Рік	Кількість харчових відходів, т/рік	Маса сухих харчових відходів, т/рік	Маса хімічних елементів, т/рік					
			С	Н	О	N	S	Зола
2023	3815,8	1144,7	159,3	20,91	125,2	8,3	1,00	159,3
2024	3854,1	1156,2	160,9	21,12	126,4	8,4	1,01	160,9
2025	3873,3	1162,0	161,8	21,23	127,0	8,4	1,01	161,8
2026	3892,7	1167,8	162,6	21,34	127,7	8,5	1,02	162,6
2027	3912,2	1173,7	163,4	21,44	128,3	8,5	1,02	163,4
2028	3931,7	1179,5	164,2	21,55	129,0	8,6	1,03	164,2
2029	3951,4	1185,4	165,0	21,66	129,6	8,6	1,03	165,0
2030	3971,2	1191,3	165,8	21,77	130,2	8,6	1,04	165,8
2031	3991,0	1197,3	166,7	21,87	130,9	8,7	1,04	166,7
2032	4011,0	1203,3	167,5	21,98	131,6	8,7	1,05	167,5
2033	4031,0	1209,3	168,3	22,09	132,2	8,8	1,05	168,3
2034	4051,2	1215,4	169,2	22,20	132,9	8,8	1,06	169,2
2035	4071,4	1221,4	170,0	22,32	133,5	8,9	1,06	170,0

Таблиця 2.5

Середній хімічний склад садово-паркових відходів, що розкладаються швидко

Рік	Маса садово-паркових відходів, що розкладаються швидко, т/рік	Маса відходів у сухому стані, т/рік	Маса хімічних елементів, т/рік					
			С	Н	О	N	S	Зола
2023	1184,2	473,7	20,3	2,56	16,2	1,49	0,128	1,92
2024	1196,1	478,4	20,5	2,58	16,4	1,51	0,129	1,94
2025	1202,1	480,8	20,6	2,60	16,4	1,51	0,130	1,95
2026	1208,1	483,2	20,7	2,61	16,5	1,52	0,130	1,96
2027	1214,1	485,6	20,8	2,62	16,6	1,53	0,131	1,97
2028	1220,2	488,1	21,0	2,64	16,7	1,54	0,132	1,98
2029	1226,3	490,5	21,1	2,65	16,8	1,55	0,132	1,99
2030	1232,4	493,0	21,2	2,66	16,9	1,55	0,133	2,00
2031	1238,6	495,4	21,3	2,68	16,9	1,56	0,134	2,01
2032	1244,8	497,9	21,4	2,69	17,0	1,57	0,134	2,02
2033	1251,0	500,4	21,5	2,70	17,1	1,58	0,135	2,03
2034	1257,3	502,9	21,6	2,72	17,2	1,58	0,136	2,04
2035	1263,5	505,4	21,7	2,73	17,3	1,59	0,136	2,05

Таблиця 2.6

Середній хімічний склад паперу та картону (органіка, що розкладається швидко)

Рік	Маса паперу і картону, т/рік	Маса відходів у сухому стані, т/рік	Маса хімічних елементів, т/рік					
			С	Н	О	N	S	Зола
2023	921,1	870,4	26,6	3,59	27,0	0,213	0,119	3,35
2024	930,3	879,1	26,9	3,63	27,3	0,215	0,120	3,38
2025	934,9	883,5	27,0	3,65	27,4	0,216	0,121	3,40
2026	939,6	887,9	27,2	3,67	27,5	0,218	0,121	3,42
2027	944,3	892,4	27,3	3,69	27,7	0,219	0,122	3,44
2028	949,0	896,8	27,4	3,70	27,8	0,220	0,122	3,45
2029	953,8	901,3	27,6	3,72	28,0	0,221	0,123	3,47
2030	958,6	905,8	27,7	3,74	28,1	0,222	0,124	3,49
2031	963,3	910,4	27,8	3,76	28,2	0,223	0,124	3,50
2032	968,2	914,9	28,0	3,78	28,4	0,224	0,125	3,52
2033	973,0	919,5	28,1	3,80	28,5	0,225	0,126	3,54
2034	977,9	924,1	28,3	3,82	28,7	0,226	0,126	3,56
2035	982,8	928,7	28,4	3,84	28,8	0,228	0,127	3,58

Таблиця 2.7

Сумарний хімічний склад органіки, що розкладається швидко

Рік	Маса органіки, що розкладається швидко, т/рік	Маса органіки, що розкладається швидко у сухому стані т/рік	Маса хімічних елементів, т/рік					
			С	Н	О	N	S	Зола
2023	5921,1	2488,8	206,3	27,1	168,3	10,0	1,24	164,6
2024	5980,5	2513,8	208,4	27,3	170,0	10,1	1,26	166,3
2025	6010,4	2526,4	209,4	27,5	170,9	10,2	1,26	167,1
2026	6040,4	2539,0	210,5	27,6	171,7	10,2	1,27	167,9
2027	6070,6	2551,7	211,5	27,8	172,6	10,3	1,27	168,8
2028	6101,0	2564,4	212,6	27,9	173,5	10,3	1,28	169,6
2029	6131,5	2577,3	213,6	28,0	174,3	10,4	1,29	170,5
2030	6162,1	2590,1	214,7	28,2	175,2	10,4	1,29	171,3
2031	6192,9	2603,1	215,8	28,3	176,1	10,5	1,30	172,2
2032	6223,9	2616,1	216,9	28,5	177,0	10,5	1,31	173,0
2033	6255,0	2629,2	217,9	28,6	177,8	10,6	1,31	173,9
2034	6286,3	2642,3	219,0	28,7	178,7	10,6	1,32	174,8
2035	6317,7	2655,6	220,1	28,9	179,6	10,7	1,33	175,6

Таблиця 2.8

Середній хімічний склад садово-паркових відходів і деревини (органіка, що розкладаються повільно)

Рік	Маса садово-паркових відходів, що розкладаються повільно і деревина, т	Маса сухих відходів, т	С	Н	О	Н	S	Зола
2023	473,7	379,0	10,8	1,36	8,6	0,8	0,1	1,0
2024	478,4	382,7	11,0	1,38	8,7	0,8	0,1	1,0
2025	480,8	384,7	11,0	1,38	8,8	0,8	0,1	1,0
2026	483,2	386,6	11,1	1,39	8,8	0,8	0,1	1,0
2027	485,6	388,5	11,1	1,40	8,9	0,8	0,1	1,0
2028	488,1	390,5	11,2	1,41	8,9	0,8	0,1	1,0
2029	490,5	392,4	11,2	1,41	8,9	0,8	0,1	1,0
2030	493,0	394,4	11,3	1,42	9,0	0,8	0,1	1,0
2031	495,4	396,3	11,3	1,43	9,0	0,8	0,1	1,0
2032	497,9	398,3	11,4	1,43	9,1	0,8	0,1	1,1
2033	500,4	400,3	11,5	1,44	9,1	0,8	0,1	1,1
2034	502,9	402,3	11,5	1,45	9,2	0,8	0,1	1,1
2035	505,4	404,3	11,6	1,46	9,2	0,8	0,1	1,1

Таблиця 2.9

Середній хімічний текстилю (розкладається повільно)

Рік	Текстиль	Маса у сухому стані, т	С	Н	О	N	S	Зола
2023	447,4	402,6	7,5	0,9	4,3	0,6	0,0	0,4
2024	451,9	406,7	7,6	0,9	4,3	0,6	0,0	0,4
2025	454,1	408,7	7,6	0,9	4,3	0,6	0,0	0,4
2026	456,4	410,7	7,7	0,9	4,3	0,6	0,0	0,4
2027	458,7	412,8	7,7	0,9	4,4	0,6	0,0	0,4
2028	461,0	414,9	7,8	0,9	4,4	0,6	0,0	0,4
2029	463,3	416,9	7,8	0,9	4,4	0,6	0,0	0,4
2030	465,6	419,0	7,8	0,9	4,4	0,6	0,0	0,4
2031	467,9	421,1	7,9	1,0	4,5	0,6	0,0	0,4
2032	470,3	423,2	7,9	1,0	4,5	0,6	0,0	0,4
2033	472,6	425,3	8,0	1,0	4,5	0,6	0,0	0,4
2034	475,0	427,5	8,0	1,0	4,5	0,6	0,0	0,4
2035	477,3	429,6	8,0	1,0	4,5	0,6	0,0	0,4

Таблиця 2.10

Середній хімічний склад шкіри та гуми (розкладається повільно)

Рік	Шкіра, гума	Маса у сухому стані, т	С	Н	О	N	S	Зола
2023	236,8	213,2	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2024	239,2	215,3	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2025	240,4	216,4	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2026	241,6	217,5	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2027	242,8	218,5	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2028	244,0	219,6	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2029	245,3	220,7	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2030	246,5	221,8	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2031	247,7	222,9	1,4	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4
2032	249,0	224,1	1,5	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4
2033	250,2	225,2	1,5	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4
2034	251,5	226,3	1,5	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4
2035	252,7	227,4	1,5	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4

Таблиця 2.11

Сумарний хімічний склад органіки, що розкладається повільно

Рік	Маса органіки, що розкладається повільно, т	Маса відходів у сухому стані, т	С	Н	О	N	S	Зола
2023	1157,9	994,7	19,8	2,6	13,4	1,6	0,1	1,8
2024	1169,5	1004,7	20,0	2,6	13,5	1,6	0,1	1,8
2025	1175,4	1009,7	20,1	2,7	13,6	1,6	0,1	1,8
2026	1181,2	1014,8	20,2	2,7	13,6	1,6	0,1	1,8
2027	1187,1	1019,9	20,3	2,7	13,7	1,7	0,1	1,8
2028	1193,1	1025,0	20,4	2,7	13,8	1,7	0,1	1,8
2029	1199,0	1030,1	20,5	2,7	13,9	1,7	0,1	1,8
2030	1205,0	1035,2	20,6	2,7	13,9	1,7	0,1	1,8
2031	1211,1	1040,4	20,7	2,7	14,0	1,7	0,1	1,8
2032	1217,1	1045,6	20,8	2,7	14,1	1,7	0,1	1,9
2033	1223,2	1050,8	20,9	2,8	14,1	1,7	0,1	1,9
2034	1229,3	1056,1	21,0	2,8	14,2	1,7	0,1	1,9
2035	1235,5	1061,4	21,1	2,8	14,3	1,7	0,1	1,9

Таблиця 2.12

Молярна маса хімічних елементів для компонентів відходів, що розкладаються швидко, кг

Рік	Атомна маса				
	C	H	O	N	S
	12,01	1,01	16	14,01	32,06
2023	17178,2	26799,2	10521,6	714,1	38,8
2024	17350,4	27067,9	10627,1	721,3	39,1
2025	17437,1	27203,2	10680,3	724,9	39,3
2026	17524,3	27339,2	10733,7	728,5	39,5
2027	17611,9	27475,9	10787,3	732,1	39,7
2028	17700,0	27613,3	10841,3	735,8	39,9
2029	17788,5	27751,4	10895,5	739,5	40,1
2030	17877,4	27890,1	10950,0	743,2	40,3
2031	17966,8	28029,6	11004,7	746,9	40,5
2032	18056,6	28169,7	11059,7	750,6	40,7
2033	18146,9	28310,6	11115,0	754,4	40,9
2034	18237,7	28452,1	11170,6	758,2	41,2
2035	18328,9	28594,4	11226,5	762,0	41,4

Таблиця 2.13

Числові коефіцієнти a, b, c, d для компонентів відходів, що розкладаються швидко, кг

Рік	Значення коефіцієнтів			
	a	b	c	d
2023	24	38	15	1
2024	24	38	15	1
2025	24	38	15	1
2026	24	38	15	1
2027	24	38	15	1
2028	24	38	15	1
2029	24	38	15	1
2030	24	38	15	1
2031	24	38	15	1
2032	24	38	15	1
2033	24	38	15	1
2034	24	38	15	1
2035	24	38	15	1

Таблиця 2.14

Молярна маса хімічних елементів для компонентів відходів, що розкладаються повільно, кг

Рік	Атомна маса				
	C	H	O	N	S
	12,01	1,01	16	14,01	32,06
2023	1645,0	2585,8	836,1	115,0	2,84
2024	1661,5	2611,7	844,5	116,1	2,87
2025	1669,8	2624,8	848,7	116,7	2,88
2026	1678,1	2637,9	852,9	117,3	2,89
2027	1686,5	2651,1	857,2	117,9	2,91
2028	1694,9	2664,4	861,5	118,5	2,92
2029	1703,4	2677,7	865,8	119,1	2,94
2030	1711,9	2691,1	870,1	119,7	2,95
2031	1720,5	2704,5	874,5	120,3	2,97
2032	1729,1	2718,1	878,8	120,9	2,98
2033	1737,7	2731,6	883,2	121,5	3,00
2034	1746,4	2745,3	887,6	122,1	3,01
2035	1755,2	2759,0	892,1	122,7	3,03

Таблиця 2.15

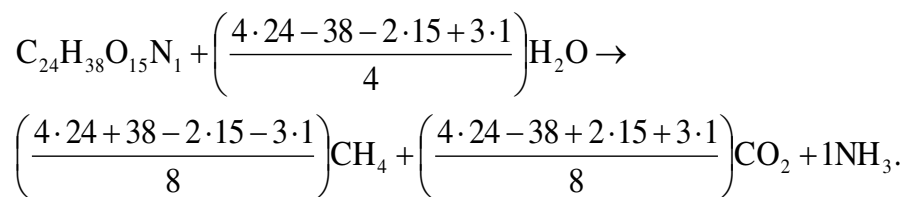
Числові коефіцієнти a, b, c, d для компонентів відходів, що розкладаються повільно, кг

Рік	Значення коефіцієнтів			
	a	b	c	d
2023	14	22	7	1
2024	14	22	7	1
2025	14	22	7	1
2026	14	22	7	1
2027	14	22	7	1
2028	14	22	7	1
2029	14	22	7	1
2030	14	22	7	1
2031	14	22	7	1
2032	14	22	7	1
2033	14	22	7	1
2034	14	22	7	1
2035	14	22	7	1

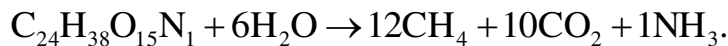
Коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  визначали із співвідношення хімічних елементів в органіці. Так як, маса Нітрогену у відходах найнижча, то у молярному співвідношенні його вміст приймали  $d = 1$ . Тоді кількість решти елементів розраховуємо за відношенням молярних мас усіх інших хімічних елементів до молярної маси Нітрогену. Результати розрахунків занесли у таблиці 2.12-2.15.

Записуємо результуючі рівняння хімічних реакцій для обох випадків, використовуючи узагальнене рівняння.

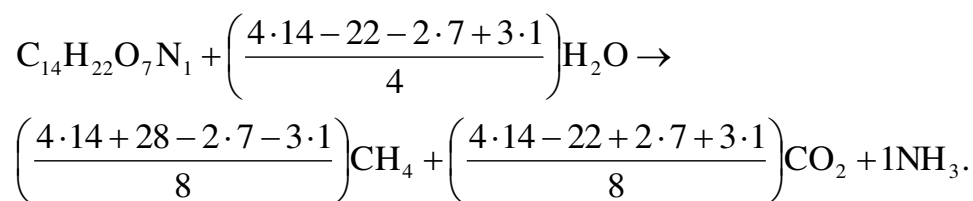
Для органіки, що розкладається швидко рівняння набуває вигляду:



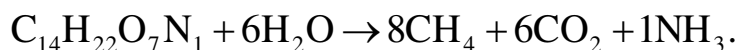
Звідси:



Для органіки, що розкладається повільно рівняння набуває вигляду:



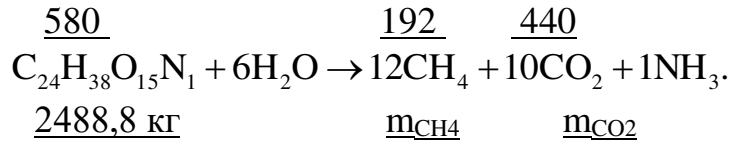
Звідси:



Далі, обчислили масу газів (метану і діоксиду Карбону), що виділятимуться при розкладі органіки, що розкладається швидко і повільно за

рівняннями реакцій, на основі молярних мас речовин і даними про масу відходів у сухому стані.

Для органіки, що розкладається швидко:

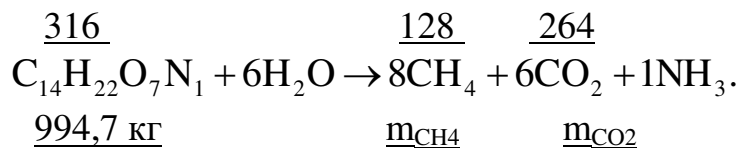


Звідси:

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{192 \cdot 2488,8}{580} = 823,9 \text{ кг};$$

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{440 \cdot 2488,8}{580} = 1888,1 \text{ кг}.$$

Для органіки, що розкладається повільно:



Звідси:

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{128 \cdot 994,7}{316} = 402,9 \text{ кг};$$

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{264 \cdot 994,7}{316} = 831,0 \text{ кг}.$$

Знаючи густину метану і двоокису карбону (0,7177 і 1,9783 кг/м<sup>3</sup> відповідно) розраховували об'єми цих газів (табл. 2.16, рис.2.3).

Таблиця 2.16

## Об'єм біогазу, що утворюватиметься на полігоні

Рік	Маса відходів, що розкладаються кг/рік	Разом відходів, що розкладаються швидко, кг	Разом відходів, що розкладаються повільно, кг	Об'єм CH <sub>4</sub> з відходів, що розкладаються швидко, м <sup>3</sup>	Об'єм CO <sub>2</sub> з відходів, що розкладаються швидко, м <sup>3</sup>	Об'єм CH <sub>4</sub> з відходів, що розкладаються повільно, м <sup>3</sup>	Об'єм CO <sub>2</sub> з відходів, що розкладаються повільно, м <sup>3</sup>	Сумарний об'єм біогазу, м <sup>3</sup> /рік
2023	13158	5921,1	1157,9	2729627,1	2250018,0	648426,2	486319,7	<b>6114391,0</b>
2024	13290	5980,5	1169,5	2756991,6	2272574,4	654926,7	491195,0	<b>6175687,8</b>
2025	13356	6010,4	1175,4	2770776,6	2283937,3	658201,3	493651,0	<b>6206566,2</b>
2026	13423	6040,4	1181,2	2784630,5	2295357,0	661492,4	496119,3	<b>6237599,1</b>
2027	13490	6070,6	1187,1	2798553,6	2306833,8	664799,8	498599,9	<b>6268787,1</b>
2028	13558	6101,0	1193,1	2812546,4	2318367,9	668123,8	501092,9	<b>6300131,0</b>
2029	13625	6131,5	1199,0	2826609,1	2329959,8	671464,4	503598,3	<b>6331631,6</b>
2030	13694	6162,1	1205,0	2840742,2	2341609,6	674821,8	506116,3	<b>6363289,8</b>
2031	13762	6192,9	1211,1	2854945,9	2353317,6	678195,9	508646,9	<b>6395106,3</b>
2032	13831	6223,9	1217,1	2869220,6	2365084,2	681586,8	511190,1	<b>6427081,8</b>
2033	13900	6255,0	1223,2	2883566,7	2376909,6	684994,8	513746,1	<b>6459217,2</b>
2034	13970	6286,3	1229,3	2897984,5	2388794,2	688419,8	516314,8	<b>6491513,3</b>
2035	14039	6317,7	1235,5	2912474,4	2400738,2	691861,9	518896,4	<b>6523970,8</b>
								<b>82294972,9</b>



Рис. 2.3. Об'єму біогазу, що утворюватиметься на полігоні (максимальні значення)

Бачимо, що об'єм біогазу, який може утворитися у тілі полігону зростає пропорційно збільшенню кількості відходів з роками. Загалом, за 12-річний період (з 2024 по 2035 рік) може утворитися 82294972,9 м<sup>3</sup> біогазу.

Отримані значення об'ємів полігонного газу є максимальними, оскільки при розрахунку взято до уваги оптимальні умови перебігу реакції деструкції органічного вмісту ТПВ. Фактичні значення є меншими, оскільки не весь органічний вміст відходів розкладається. Наприклад, папір у пластикових мішках, хоч і піддається біодеструкції, але за таких умов не розкладатиметься. Органічні матеріали, що не мають достатньо вологи для підтримання біологічної активності не піддаються конверсії [4,18,29].

Незважаючи на те, що біогаз є цінною біоенергетичною сировиною, зазвичай у помірному (та холодному) кліматі на, відносно, невеликих сміттєзвалищах облаштовують пасивну систему дегазації полігонів. На відміну від активної системи, яка передбачає збір, транспортування, осушення, очищення біогазу з метою його використання, як енергоресурсу, ця система передбачає відведення звалищного газу з тіла полігону і його випуск у навколишнє природне середовище з метою забезпечення пожежної безпеки на

полігоні [5, 29]. Тому, за цих умов біогаз можна розглядати як суміш забруднюючих речовин, більша частина яких відноситься до парникових газів.

#### 2.4. Розрахунок кількості фільтрату, що утворюватиметься на полігоні

Основним чинником забруднення поверхневих та підземних вод на об'єктах поводження з ТПВ є фільтрат. Він може формуватися під впливом комплексу природних факторів, насамперед, атмосферних опадів, випаровування, фільтрації, а також поливання території об'єкту.

Розрахунок середньорічного об'єму фільтрату, що утворюватиметься в тілі полігону проводили згідно з методикою викладеною у Додатку А [9], на основі попередньо розрахованих параметрів: об'єму води, що витрачається на утворення біогазу (табл.2.17), об'єму атмосферних опадів, об'єму вологи, що випаровується та об'єму вологи, яка надходить на полігон з відходами. Результати розрахунків подані в таблиці 2.18 та на рис.2.4.

Таблиця 2.17

Об'єм води, що витрачається на утворення біогазу за відсутності сортування

Рік	Маса відходів, т/рік	Вологість відходів, %	Об'єм вологи у відходах, м <sup>3</sup> /рік	Витрати води на утворення біогазу, м <sup>3</sup> /т (загальної маси ТПВ)	Об'єм води, що витрачається на утворення біогазу, м <sup>3</sup> /рік
2023	13158	27,81	3658,6	0,061	802,64
2024	13290	27,81	3695,3		810,68
2025	13356	27,81	3713,7		814,74
2026	13423	27,81	3732,3		818,81
2027	13490	27,81	3751,0		822,91
2028	13558	27,81	3769,7		827,02
2029	13625	27,81	3788,6		831,16
2030	13694	27,81	3807,5		835,31
2031	13762	27,81	3826,5		839,49
2032	13831	27,81	3845,7		843,69
2033	13900	27,81	3864,9		847,90
2034	13970	27,81	3884,2		852,14
2035	14039	27,81	3903,7		856,40

Таблиця 2.18

## Об'єм фільтрату, що утворюватиметься на полігоні

Рік	Площа полігону, га	Шар опадів [27], мм	Об'єм атмосферних опадів, м <sup>3</sup> ;	Об'єм води, що йде на утворення біогазу, м <sup>3</sup> .	Об'єм води, яка надходить на полігон з відходами, м <sup>3</sup> ;	Шар випаровування [9], мм	Об'єм води, що випаровується з поверхні полігону, м <sup>3</sup> ;	Об'єм фільтрату, м <sup>3</sup>
2023	0,26	790	2079,0	802,6	3658,6	720	1894,8	3040,2
2024	0,53	790	4178,8	810,7	3695,3	720	3808,5	3254,8
2025	0,80	790	6289,1	814,7	3713,7	720	5731,8	3456,3
2026	1,06	790	8409,9	818,8	3732,3	720	7664,7	3658,7
2027	1,33	790	10541,4	822,9	3751,0	720	9607,3	3862,1
2028	1,61	790	12683,5	827,0	3769,7	720	11559,7	4066,6
2029	1,88	790	14836,3	831,2	3788,6	720	13521,7	4272,0
2030	2,15	790	16999,9	835,3	3807,5	720	15493,6	4478,5
2031	2,43	790	19174,3	839,5	3826,5	720	17475,3	4686,1
2032	2,70	790	21359,6	843,7	3845,7	720	19467,0	4894,6
2033	2,98	790	23555,8	847,9	3864,9	720	21468,6	5104,2
2034	3,26	790	25763,0	852,1	3884,2	720	23480,2	5314,9
2035	3,54	790	27981,2	856,4	3903,7	720	25501,9	5526,6
<b>Разом</b>								<b>55615,6</b>



Рис. 2.4. Середньорічний об'єму фільтрату, що утворюватиметься в тілі полігону

Очевидно, що з роками, із збільшенням маси відходів, а отже площі полігону, зростатимуть і об'єми фільтрату. За 12-річний період середньорічна кількість фільтрату зросте у 1,8 разів, а сумарно за цей період може утворитися 55615,6 м<sup>3</sup> фільтрату.

### РОЗДІЛ 3

## ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД СОРТУВАННЯ ВІДХОДІВ НА ТЕРИТОРІЇ БОРИСЛАВСЬКОЇ МТГ

Як і більшість міст України, місто Борислав зіткнулося з однією з найбільш поширених екологічних проблем - проблемою утилізації твердих побутових відходів. Як показали проведені прогностичні розрахунки (розділ 2) без впровадження ефективної системи поводження з твердими побутовими відходами екологічні показники впливу (викиди забруднюючих речовин, об'єми фільтрату, площі вилучених з користування земель для облаштування полігону ТПВ) щорічно зростатимуть.

Ще донедавна основною схемою видалення твердих побутових відходів з території міста та прилеглих сіл залишалася система збирання та захоронення відходів на міському сміттєзвалищі. Проте, з огляду на розвиток законодавства України у сфері управління відходами (прийнято Національну стратегію управління відходами до 2030 року, Національний план управління відходами до 2030 року, закон України «Про управління відходами») у місті поступово впроваджується роздільне збирання відходів.

Так, на сьогодні на території м. Борислава встановлено 136 контейнерних майданчиків для роздільного сортування твердих побутових відходів, а саме: паперу та картону (на 1540 м<sup>3</sup>/рік); пластмаси та ПЕТ пляшок (на 2100 м<sup>3</sup>/рік); скла (на 1848 м<sup>3</sup>/рік) [3, 20].

Також, за ініціативи «Центру екології, туризму та сталого розвитку» спільно з управлінням ЖКГЕ Бориславської міської ради у рамках проекту «ULEAD з Європою» запроваджується реалізація проекту зі створення заводу з компостування органічних та зелених відходів.

Проектом передбачено створення замкнутої структури оброблення біовідходів, яка включає увесь цикл від збирання, транспортування до оброблення біовідходів. Впровадження програми відбуватиметься поступово

протягом 12 років і розраховане на кінцеву потужність 5 тис.т/рік (обсяг харчових відходів - 3245,9 т/рік, обсяг зелених відходів (гілки, скошена трава, листя тощо) – 1813 т/рік) [20].

Найімовірніше система управління відходами у Бориславській МТГ, з роками буде вдосконалюватися, і роздільному збиранню підлягатиме більшість компонентів відходів.

Для оцінки екологічного ефекту від сортування відходів на джерелі утворення нами проведено прогнозні розрахунки зміни маси відходів, площі полігону, кількості фільтрату та біогазу, за умови відсортовування: харчових відходів, пластмас та ПЕТ тари, паперу та картону, деревини та садово-паркових відходів, скла та металу.

Оскільки перехід до такої системи поводження з відходами, як правило відбувається поступово, то прогнозні розрахунки робили на період 12 років (за аналогією до проекту з відсортовування органічних та зелених відходів), припускаючи, що кількість відсортованого компоненту зростатиме щороку на  $100 \% / 12 \text{ років} = 8,33 \%$ .

Розрахунок загальної маси відходів внаслідок поступового (з 2024 до 2035 року) впровадження системи сортування твердих побутових відходів проводили за методикою викладеною у Додатку А, припускаючи, що відсортовуватимуться харчові відходи, пластмаси та ПЕТ тара, папір та картон, деревина та садово-паркові відходи, скло та метал.

Результати розрахунків подані у табл. 3.1 та на рис. 3.1.

Очевидно, що маса компонентів, які будуть відсортовуватися (харчові відходи, пластмаси та ПЕТ тара, папір та картон, деревина та садово-паркові відходи, скло та метал) помітно зменшуватиметься з роками, проте, одночасно маса інших компонентів, які не підлягають відсортовуванню (шкіра, гума, текстиль, вуличний відсів та інші відходи), навпаки - збільшуватиметься.

Таблиця 3.1

## Зменшення маси компонентів ТПВ за умови впровадження системи сортування

Рік	Маса відходів без сортування, т/рік	Маса відходів внаслідок сортування, т/рік	Зміна маси кожного компонента внаслідок сортування, т/рік										
			Харчові відходи	Вуличний відсів	Пласт-маси, ПЕТ	Папір, картон	Текстиль	Деревина	Садово-паркові	Скло	Метал чорний	Шкіра, гума	Інші відходи
2023	13158	13158,0	<b>3815,8</b>	1973,7	<b>2671,1</b>	<b>921,1</b>	447,4	<b>789,5</b>	<b>1184,2</b>	<b>526,3</b>	<b>197,4</b>	236,8	394,7
2024	13290	12439,7	<b>3533,0</b>	1993,5	<b>2473,1</b>	<b>852,8</b>	451,9	<b>731,0</b>	<b>1096,5</b>	<b>487,3</b>	<b>182,7</b>	239,2	398,7
2025	13356	11647,4	<b>3228,0</b>	2003,5	<b>2259,6</b>	<b>779,2</b>	454,1	<b>667,9</b>	<b>1001,8</b>	<b>445,2</b>	<b>167,0</b>	240,4	400,7
2026	13423	10846,9	<b>2919,9</b>	2013,5	<b>2043,9</b>	<b>704,8</b>	456,4	<b>604,1</b>	<b>906,2</b>	<b>402,7</b>	<b>151,0</b>	241,6	402,7
2027	13490	10038,1	<b>2608,6</b>	2023,5	<b>1826,0</b>	<b>629,7</b>	458,7	<b>539,7</b>	<b>809,6</b>	<b>359,8</b>	<b>134,9</b>	242,8	404,7
2028	13558	9221,0	<b>2294,2</b>	2033,7	<b>1605,9</b>	<b>553,8</b>	461,0	<b>474,7</b>	<b>712,0</b>	<b>316,4</b>	<b>118,7</b>	244,0	406,7
2029	13625	8395,4	<b>1976,5</b>	2043,8	<b>1383,5</b>	<b>477,1</b>	463,3	<b>408,9</b>	<b>613,4</b>	<b>272,6</b>	<b>102,2</b>	245,3	408,8
2030	13694	7561,3	<b>1655,6</b>	2054,0	<b>1158,9</b>	<b>399,6</b>	465,6	<b>342,5</b>	<b>513,8</b>	<b>228,4</b>	<b>85,6</b>	246,5	410,8
2031	13762	6718,7	<b>1331,4</b>	2064,3	<b>932,0</b>	<b>321,4</b>	467,9	<b>275,5</b>	<b>413,2</b>	<b>183,6</b>	<b>68,9</b>	247,7	412,9
2032	13831	5867,5	<b>1003,9</b>	2074,6	<b>702,8</b>	<b>242,3</b>	470,3	<b>207,7</b>	<b>311,6</b>	<b>138,5</b>	<b>51,9</b>	249,0	414,9
2033	13900	5007,6	<b>673,2</b>	2085,0	<b>471,2</b>	<b>162,5</b>	472,6	<b>139,3</b>	<b>208,9</b>	<b>92,9</b>	<b>34,8</b>	250,2	417,0
2034	13970	4138,9	<b>339,1</b>	2095,4	<b>237,4</b>	<b>81,8</b>	475,0	<b>70,2</b>	<b>105,2</b>	<b>46,8</b>	<b>17,5</b>	251,5	419,1
2035	14039	3261,5	<b>1,6</b>	2105,9	<b>1,1</b>	<b>0,4</b>	477,3	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	252,7	421,2

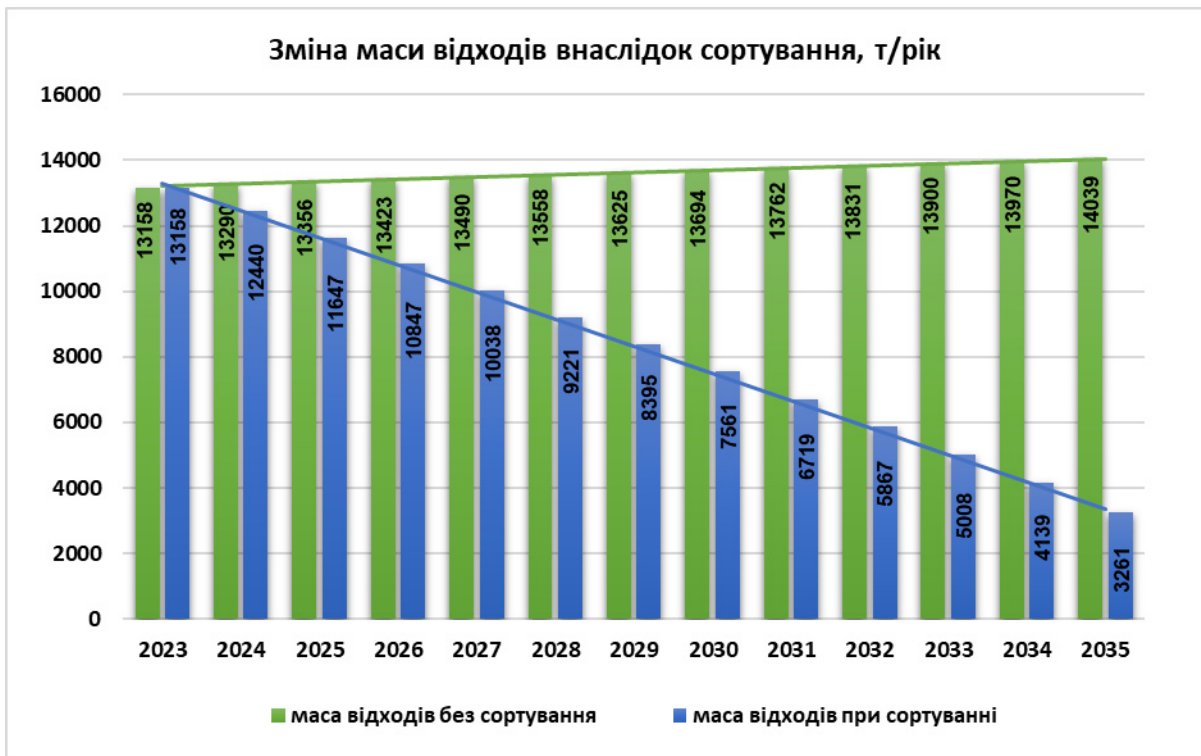


Рис. 3.1. Зміна загальної маси відходів внаслідок поступового впровадження системи роздільного збирання харчових відходів, пластмас та ПЕТ тари, паперу та картону, деревини та садово-паркових відходів, скла та металу

Таблиця 3.2

Зменшення об'єму та площі полігону ТПВ при сортуванні

Рік	Без сортування		Внаслідок сортування	
	маса відходів, т/рік	площа полігону, га	маса відходів, т/рік	площа полігону, га
2023	13158	0,3	13158	0,3
2024	13290	0,5	12440	0,5
2025	13356	0,8	11647	0,7
2026	13423	1,1	10847	1,0
2027	13490	1,3	10038	1,2
2028	13558	1,6	9221	1,3
2029	13625	1,9	8395	1,5
2030	13694	2,2	7561	1,7
2031	13762	2,4	6719	1,8
2032	13831	2,7	5867	1,9
2033	13900	3,0	5008	2,0
2034	13970	3,3	4139	2,1
2035	14039	3,5	3261	2,2

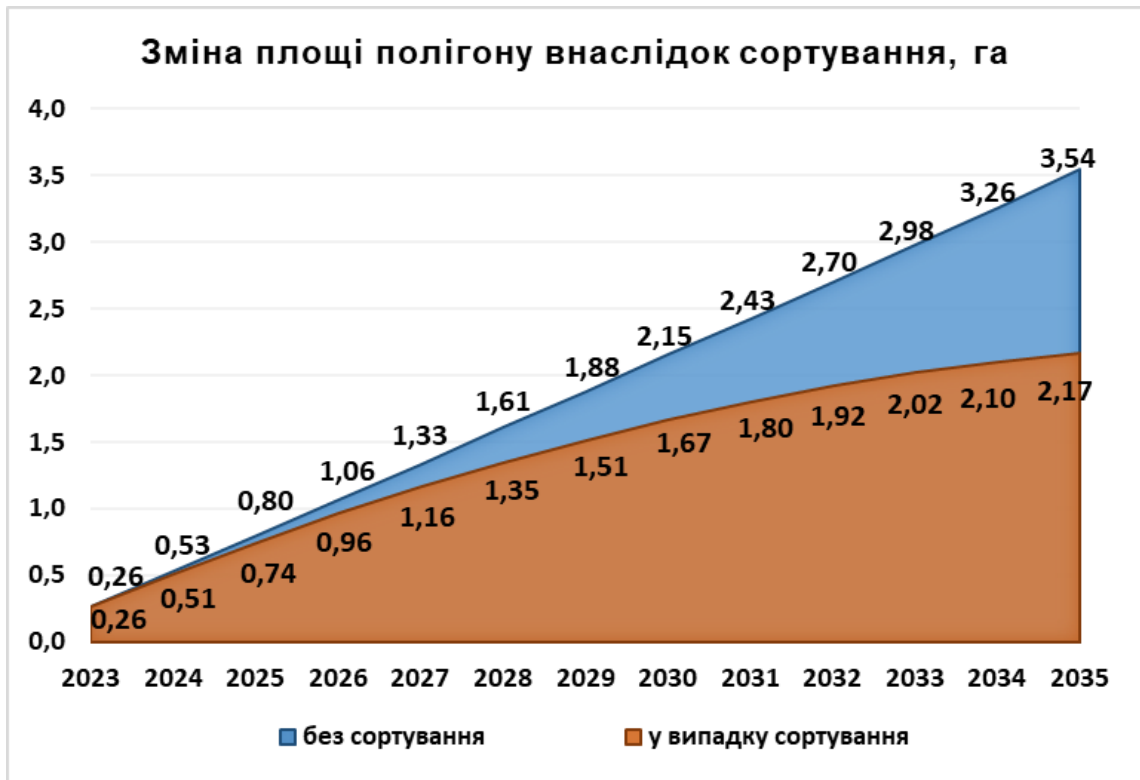


Рис. 3.2. Зміна загальної маси відходів внаслідок поступового впровадження системи роздільного збирання харчових відходів, пластмас та ПЕТ тари, паперу та картону, деревини та садово-паркових відходів, скла та металу

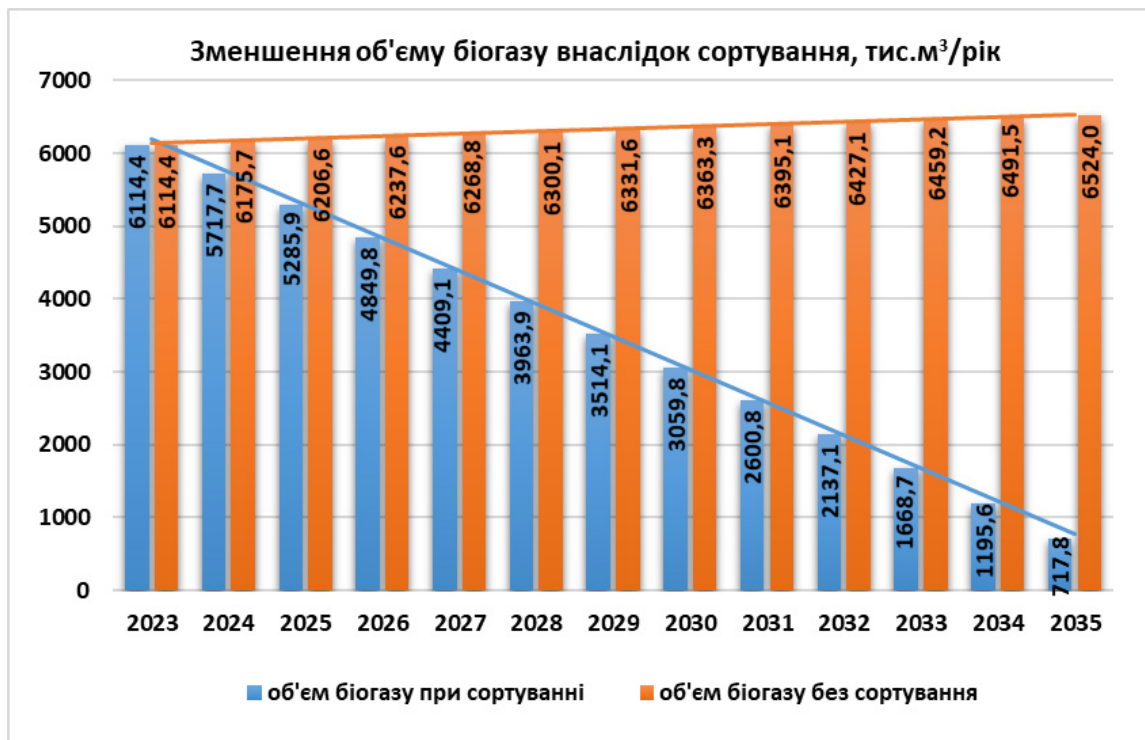


Рис.3.3. Зміна загальної маси відходів внаслідок поступового впровадження системи роздільного збирання харчових відходів, пластмас та ПЕТ тари, паперу та картону, деревини та садово-паркових відходів, скла та металу

Таблиця 3.3

## Зменшення об'єму біогазу що утворюватиметься на полігоні внаслідок сортування

Рік	Відходи, що розкладаються швидко, т/рік			Відходи, що розкладаються повільно, т/рік			З відходів, що розкладається швидко		З відходів, що розкладається повільно		Об'єм біогазу при сортуванні
	Харчові відходи	Садово-паркові, що розкл. швидко	Папір, картон	Садово-паркові відходів, що розкл. повільно, деревина	Текстиль	Шкіра, гума	Об'єм CH <sub>4</sub> , м <sup>3</sup>	Об'єм CO <sub>2</sub> , м <sup>3</sup>	Об'єм CH <sub>4</sub> , м <sup>3</sup>	Об'єм CO <sub>2</sub> , м <sup>3</sup>	
2023	3815,82	1184,22	921,06	473,69	447,37	236,84	2729627,1	2250018,0	648426,2	486319,7	6114391,0
2024	3533,03	1096,46	852,80	438,58	451,86	239,22	2527334,2	2083269,0	632608,6	474456,4	5717668,2
2025	3228,04	1001,81	779,18	400,72	454,12	240,41	2309165,2	1903433,3	613341,9	460006,4	5285946,9
2026	2919,92	906,18	704,81	362,47	456,39	241,62	2088751,3	1721747,3	593866,8	445400,1	4849765,5
2027	2608,64	809,58	629,67	323,83	458,67	242,82	1866075,5	1538196,8	574181,6	430636,2	4409090,0
2028	2294,17	711,98	553,76	284,79	460,96	244,04	1641120,8	1352767,7	554284,6	415713,5	3963886,6
2029	1976,49	613,39	477,08	245,36	463,27	245,26	1413869,9	1165445,9	534174,4	400630,8	3514120,9
2030	1655,57	513,80	399,62	205,52	465,58	246,49	1184305,4	976217,0	513849,2	385386,9	3059758,5
2031	1331,40	413,19	321,37	165,28	467,91	247,72	952409,9	785066,8	493307,3	369980,5	2600764,5
2032	1003,94	311,57	242,33	124,63	470,25	248,96	718165,9	591980,6	472547,3	354410,4	2137104,2
2033	673,18	208,92	162,49	83,57	472,60	250,20	481555,6	396943,9	451567,2	338675,4	1668742,2
2034	339,08	105,23	81,85	42,09	474,96	251,45	242561,3	199942,1	430365,6	322774,2	1195643,2
2035	1,63	0,51	0,39	0,20	477,34	252,71	1165,0	960,3	408940,7	306705,5	717771,5
											<b>45234653,3</b>





Рис.3.4. Зміна загальної маси відходів внаслідок поступового впровадження системи роздільного збирання харчових відходів, пластмас та ПЕТ тари, паперу та картону, деревини та садово-паркових відходів, скла та металу

Проте, навіть така (недосконала) система у загальному підсумку дасть можливість зменшити сумарну кількість відходів у 4,3 рази (рис.3.1), зменшити площу полігону в 1,6 рази (табл.3.2, рис 3.2), зменшити виділення парникових газів (діоксиду карбону та метану) у 9 разів (табл.3.3, рис.3.3) а також зменшити кількість фільтрату у 2,5 рази (табл.3.4, рис.3.4).

Найсуттєвіший вплив система роздільного збирання відходів, матиме на утворення звалищного газу (обсяги утворення знизяться у 9 разів), оскільки на полігон не потраплятиме органіки, яка є основною «сировиною» для метаногенезу.

## ВИСНОВКИ

У роботі на основі аналізу обсягів накопичення твердих побутових відходів та динаміки чисельності населення у Бориславській МТГ, розвитку інфраструктури для роздільного збирання відходів виконано прогностичні розрахунки маси твердих побутових відходів, місткості та площі полігону для їх захоронення, об'єму фільтрату та звалищного газу.

Головні висновки полягають у тому, що:

- збільшення обсягів твердих побутових відходів, що утворюватимуться на території Бориславської МТГ зумовить вилучення з постійного користування додаткових земельних площ для їх складування, а відповідно погіршення екологічної ситуації внаслідок виділення більшої кількості парникових газів та фільтрату;
- поступове впровадження системи роздільного збирання, дасть можливість у 4,3 рази зменшити кількість відходів, які підлягатимуть захороненню, і, як наслідок, зменшить негативні впливи полігону на компоненти довкілля;
- запропонована система сортування не усуває потреби відведення земель для захоронення відходів, тому потребує вдосконалення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баженов В.А. Ісаєнко В.М. , Саталкін Ю.М. та ін. Інженерна екологія. Київ: Книжкове видавництво НАУ, 2006. 492 с.
2. Березовська Ю., Гамоля Н. Цивілізація сміття // Контракти, 2005. №33. С.18-24.
3. Бориславська міська рада. Офіційний сайт. URL: <https://boryslavrada.gov.ua/post/2023/101771>
4. Бучинська А., Гвоздевич О., Кульчицька-Жигайло Л. та ін. Полігони твердих побутових відходів: дегазація і рекультивація: посібник. Львів: Тріада-плюс, 2008. 100 с.
5. Гелетуха Г., Копейкін К. Біогаз зі звалищ. Перспективи використання в Україні // Зелена енергетика, 2002. №1. С.13-16.
6. Державна Програма поводження з твердими побутовими відходами: Постанова Кабінету Міністрів України від 04.03.04. № 265. URL: [https://ips.ligazakon.net/document/KP040265?ed=2004\\_03\\_04](https://ips.ligazakon.net/document/KP040265?ed=2004_03_04)
7. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Затверджено наказом МОЗУ від 19.06.96 №173. Київ: Світ, 1996. 25 с.
8. Державна служба статистики України. Головне управління статистики у Львівській області. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/si/st\\_inf.php](https://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/si/st_inf.php)
9. ДБН В 2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». URL: <https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/DBN-V.2.4-2-2005.pdf>
10. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MN025530>
11. Зигун А.Ю. Формування загальноміської системи з видалення твердих побутових відходів (на прикладі міста Полтава): автореф. дис. ... канд.

- техн. наук: 05.23.20. Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Полтава, 2012. - 20 с.
12. Звіт про проведення екологічного аудиту території розміщення Бориславського полігону твердих побутових відходів. Львів: ТОВ «Еко центр проект», 2022. 35 с.
  13. Інтегроване управління та поводження з твердими побутовими відходами у Вінницькій області. Монографія / Під ред. В. Г. Петрука. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2007. 160 с.
  14. Екологія міста / За ред. Ф.В. Стольберга. Київ: Лібра, 2000. 464 с.
  15. Клименко М. О. та ін. Управління та поводження з відходами: практикум. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. 179 с.
  16. Національна стратегія поводження з твердими побутовими відходами в Україні до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
  17. Мишанов Ю. Д. Шляхи поводження з побутовими відходами. Київ, 2007. 170 с.
  18. Панківський Ю.І., Ошуркевич-Панківська О.Є. Управління та поводження з відходами: Методичні вказівки до виконання курсової роботи. – Львів: НЛТУ України, 2019 р. – 36 с.
  19. Програма поводження з твердими побутовими відходами у м. Львові на 2014-2018 роки. Затверджена ухвалою сесії Львівської міської ради від 18.12.2014 р., № 41324. URL: <https://city-adm.lviv.ua/public-information/waste-management>
  20. Програма поводження з побутовими відходами у м.Бориславі на 2020-2025 роки. Затверджено рішенням міської ради від 26.08. 2020 року №2563. URL: <https://boryslavrada.gov.ua/post/documents/123-prv-2020-pro-pohodzhennia-prohramy-povodzhennia-z-pobutovymy-vidkhodamy-u-m-boryslavi-na-2-na-2020-2025-roky>

21. Пухнюк О. Ю. Утворення біогазу на полігонах твердих побутових відходів України та оцінка потенціалу його енергетичного використання: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08.. Нац. акад. наук України, Ін-т техн. теплофізики. К., 2013. 26 с.
22. Радовенчик В.М., Гомеля М.Д. Тверді відходи: збір, переробка, складування: навчальний посібник. Київ: Кондор, 2010. 552 с.
23. Рекомендації з удосконалення експлуатації діючих полігонів та звалищ твердих побутових відходів. Наказ №5 від 10.01.2006 року Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства. Київ, 2006. 18 с.
24. Сафранов Т. А. та ін.. Управління та поводження з муніципальними відходами: практикум. Одеса: ТЕС, 2014. 198 с.
25. Студінський В.А. Управління твердими побутовими відходами в містах України Київ: КІМО, 2006. 151 с.
26. Хархаліс Б.І. Курсове та дипломне проектування в екології: навчальний посібник. Львів: РВВ НЛТУ України, 2005. 173 с.
27. Шаблій О.І., Муха Б.П., Гурин А.В., Зінкевич М.В. Географія: Львівська область. URL: [https://geoknigi.com/book\\_view.php?id=26](https://geoknigi.com/book_view.php?id=26)
28. Donald B. Aulenbach, Robert M. Ryan Management of Radioactive Wastes. – LIWT, 1999. – 90 p.
29. Georg Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel Vigil Integrated Solid Waste Management. – Irwin/McGraw-Hill Inc., 1993. – 978 p.
30. Lawrence K. Wang, Mu Hao Sung Wang, Ping Wang Management of Hazardous Substances at Industrial Sites. – LIWT, 1999. – 114 p.

## **Додатки**

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОЗРАХУНКІВ

**Визначення обсягів накопичення твердих побутових відходів.** Норми накопичення, як і склад ТПВ, залежать від рівня впорядкованості житлового фонду, типу забудови (багато- чи одноповерхові будівлі), виду палива для місцевого опалення, а також від розвитку громадського харчування, культури торгівлі, добробуту населення і ін. Ступінь впливу кожного з цих чинників на величину норми накопичення відходів різна. Устаткування будівель центральним опалюванням, газо- і електроплитами збільшило об'єм накопичення на 20-25 % і зменшує середню щільність за рахунок збільшення вмісту паперу. За наявності в житлових будинках сміттєпроводів норма накопичення збільшується на 20-25 %. Це пов'язане із сприятливими умовами для швидкого видалення відходів у будь-який час доби і виключення неорганізованого скидання кімнатного сміття і харчових відходів в каналізацію [14,18].

Для техніко-економічних розрахунків і проектування споруд для санітарного очищення або складування використовують прогнозовані на проектний період норми накопичення. Для більшості міст України і світу загалом характерне неухильне зростання норм накопичення ТПВ. За об'ємом норми накопичення зростають щорічно на 3-5 %, за масою - на 0,3-0,5 %.

Прогнозування накопичення ТПВ визначають згідно математичної залежності:

$$M_{np} = M_{cep} (1 + 0,005)^t \quad (A.1)$$

де

$M_{сер}$  - початкова середньорічна маса відходів, кг/рік ( $M_{сер} = m \cdot 365 \cdot N$ , де  $m$  – маса відходів на 1 людину за 1 добу, кг/добу;  $N$  – кількість жителів населеного пункту);

0,005 - коефіцієнт річного приросту накопичення відходів у вагових одиницях;

$t$  - період прогнозування, років.

### **Розрахунок середньої вологості твердих побутових відходів.**

Характеристика властивостей твердих побутових відходів необхідна для вибору ефективних способів їх збору, видалення, знезараження і використання, проектування споруд для санітарної очистки та їх техніко-економічної оцінки.

Показники вологості враховують при визначенні кількості та типу збірників та транспортних засобів, їх герметичності та характеру антикорозійних покриттів, при виборі технологічних схем переробки сміття. Вологість ТПВ залежить від співвідношення їх основних компонентів – паперу та харчових відходів, їх вологості, а також від умов короткотривалого їх зберігання у місцях збору. Середня вологість побутових відходів коливається в межах 30-58 %, досягаючи максимуму восени. Середні значення вологості окремих компонентів відходів подані в таблиці А.1.

*Таблиця А.1.*

Вологість твердих побутових відходів за морфологічним складом [18]

Компонент	Вологість, %
Харчові відходи	70
Папір	6
Картон	5
Пластик <sup>1</sup>	0
Текстиль	10
Гума	0
Шкіра	20
Садово-паркові відходи	59-60
Деревина	20

Знаючи вологість кожного компонента нескладно визначити середню загальну вологість відходів, %:

$$W = \sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i}{M} \cdot W_i \right), \quad (\text{A.2})$$

де

$m_i$  – маса компоненту відходів, кг;

$M$  – загальна маса відходів, кг;

$W_i$  – вологість компонента відходів, %.

**Розрахунок вмісту основних хімічних елементів у твердих побутових відходах.** Характеристика відходів за хімічним складом дозволяє визначити відсотковий вміст Карбону, Оксисену, Нітрогену та інших хімічних елементів.

Загалом, матеріали органічного походження у відходах можна поділити на два класи: 1) матеріали, що швидко розкладаються (від трьох місяців до п'яти років); 2) матеріали, що розкладаються повільно (аж до 50-ти років і більше). Морфологічний склад таких матеріалів представлений у таблиці А.2.

Під час розрахунку хімічного складу відходів за відомим морфологічним складом припускаємо, що 60 % садово-паркових відходів розкладаються швидко.

Для розрахунку маси компоненту відходів у сухому стані можна скористатися такою формулою:

$$m_{\text{ісу}} = m_i - \frac{m_i \cdot W_i}{100}. \quad (\text{A.3})$$

Таблиця А.2.

Матеріали зі складу ТПВ, що розкладаються швидко і повільно [18, 29]

Компонент органічних відходів	Розкладається швидко	Розкладається повільно
Харчові відходи	√	
Газетний папір	√	
Офісний папір	√	
Картон	√	
Пластик <sup>1</sup>		
Текстиль		√
Гума		√
Шкіра		√
Садово-паркові відходи	√ <sup>2</sup>	√ <sup>3</sup>
Деревина		√
Інші матеріали		√

Примітки:

<sup>1</sup>Загалом пластик вважають таким, що не піддається біологічній деструкції;

<sup>2</sup>Листя, трава (60% садово-паркових відходів);

<sup>3</sup>Деревна частка садово-паркових відходів.

Середній хімічний склад кожного компонента побутових відходів, що піддаються біодеструкції поданий у таблиці А.3.

Таблиця А.3

Середній хімічний склад компонентів побутових відходів [18,29]

Компонент	Склад, %					
	С	Н	О	N	S	Зола
<b>Органічні речовини, що швидко розпадається</b>						
Харчові відходи	48,0	6,3	37,7	2,5	0,3	5,2
Папір	43,5	6,0	44,0	0,31	0,19	6,0
Картон	44,0	5,9	44,6	0,4	0,2	4,9
Садово-паркові відходи	47,7	6,0	38,0	3,5	0,3	4,5
<b>Органічні речовини, що розпадаються повільно</b>						
Текстиль	55,0	6,66	31,1	4,44	-	2,77
Гума	78,0	10,0	-	2,0	-	10,0
Шкіра	60,0	7,5	12,5	10,0	-	10,0
Садово-паркові відходи	47,7	6,0	38,0	3,4	0,4	4,4
Деревина	49,31	6,25	43,1	-	-	1,25

Вміст основних хімічних елементів у кожному з компонентів твердих побутових відходів розраховуємо з допомогою формули:

$$m_{ix} = m_{иссу} \frac{m_{ix\%}}{100}, \quad (\text{A.4})$$

де

$x = \text{C, H, O, N, S, зола};$

$m_{ix\%}$  - відсотковий вміст хімічного елементу в компоненті відходів.

**Розрахунок місткості полігону твердих побутових відходів.** Проектна місткість полігону ТПВ розраховується для обґрунтування розмірів ділянки складування ТПВ. Розмір земельної ділянки, що відводиться під складування ТПВ, визначається в залежності від: строку експлуатації полігону ТПВ; чисельності населення району, що обслуговується, з урахуванням перспективи його зростання (зменшення); норми накопичення ТПВ та їх щільності; обсягу всіх інших відходів, що складуються з ТПВ (вуличний змет, будівельні відходи, деякі промислові відходи, які дозволено складувати разом з ТПВ та інші); геометричної форми ділянки та допустимої висоти складування відходів; метода, який приймається для ущільнення відходів при складуванні; напрямку подальшого використання земельної ділянки після закриття та рекультивації полігону ТПВ [9].

Місткість (об'єм) полігону розраховують за формулою [9]:

$$E_n = (V_1 + V_2)(N_1 + N_2) \frac{Tk_2}{4k_1}, \text{ м}^3 \quad (\text{A.5})$$

де

$V_1$  і  $V_2$  - річні норми накопичення ТПВ за об'ємом на перший і останній роки експлуатації полігону,  $\text{м}^3/(\text{осіб} \cdot \text{рік});$

$N_1$  і  $N_2$  - кількість населення, що обслуговується полігоном на перший і останній рік експлуатації, осіб;

$T$  - розрахунковий термін експлуатації полігону, роки;

$k_1$  - коефіцієнт, що враховує ущільнення ТПВ в процесі експлуатації полігону за весь термін  $T$  (приймається 0,45);

$k_2$  - коефіцієнт, що враховує об'єм зовнішніх ізолюючих шарів ґрунту (проміжний і остаточний) (приймається 1,15).

Об'єм річного накопичення відходів розраховуємо, приймаючи середню густину відходів 210 кг/м<sup>3</sup> [20]:

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (\text{A.6})$$

Дані для визначення орієнтовної площі складування приведені у таблиці А.4.

Таблиця А.4.

Орієнтовна площа ділянки складування ТПВ  
на період 15 років, га [9]

Середня чисельність району обслуговування, тис. осіб	Висота полігону, м					
	12	20	25	35	45	60
<b>50</b>	6,5	4,5-5,5	-	-	-	-
<b>100</b>	12,5	8,5	6,5-7,5	-	-	-
<b>250</b>	31	21	16	11,5-13,5	-	-
<b>500</b>	61	41	31	23	16,5-20	-
<b>760</b>	91	61	46	34	26	-
<b>1000</b>	121	81	61	45	35	27-31

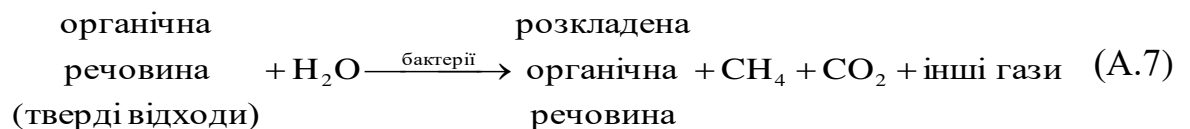
Примітка: Для попередніх розрахунків розмір ділянки приймається 0,02-0,05 га на кожні 1000т/рік ТПВ, що складуються.

**Розрахунок максимального об'єму полігонного газу на основі хімічного складу відходів.** Тверді побутові відходи, що складуються на

міських звалищах, на 55-80 % складаються з органічних фракцій і являють собою потенційне джерело енергії. Середній склад газу, що виділяється при анаеробному розкладі органіки, наступний: метан - 40-60 %, вуглекислий газ - 30-45 %, азот та водень - 1-2 %, сірководень - 1-2 % та невелика кількість інших сполук.

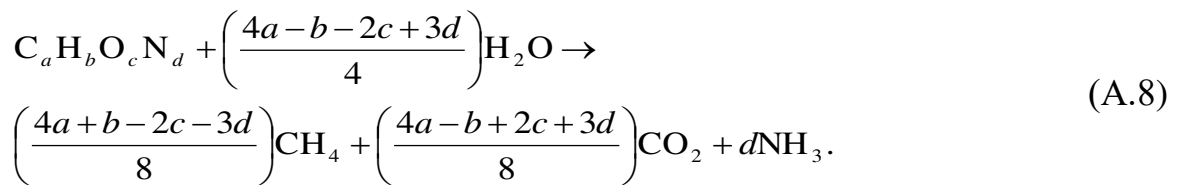
Процес розкладу ТПВ залежить від складу відходів та умов їх захоронення. Він триває протягом десятків років. Найбільша кількість метану на полігоні твердих побутових відходів накопичується у перший рік після завершення експлуатації полігону [29].

Узагальнене рівняння хімічної реакції з анаеробної деструкції твердих відходів можна записати у вигляді:



Існує багато факторів, що впливають на процеси утворення біогазу на звалищах, першочергова увага приділяється тим, що забезпечують життєдіяльність та активність метанових бактерій, а саме: відсутність кисню; кислотність середовища - рН у межах 6 - 8; оптимальна вологість 50-60 %; відсутність токсичних речовин; наявність поживних речовин (вуглецю та азоту у певних пропорціях); оптимальна температура 30-40°C.

Об'єми газів, що виділяються внаслідок анаеробної деструкції можна оцінити різними методами. Наприклад, органічну компоненту ТПВ (за виключенням пластику) представити узагальненою формулою  $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$ , тоді сумарний об'єм газів можна обчислити, використовуючи рівняння (A.8), припустивши повну конверсію органіки в  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$  [18, 29].



Загалом, матеріали органічного походження у відходах можна поділити на два класи: 1) матеріали, що швидко розкладаються (від трьох місяців до п'яти років); 2) матеріали, що розкладаються повільно (аж до 50-ти років і більше). Морфологічний склад таких матеріалів представлений у таблиці А.2.

Використовуючи результати розрахунку хімічного складу побутових відходів можемо визначити кількість полігонного газу, що виділятиметься під час біодеструкції органічних відходів.

Розрахуємо молярну масу хімічних елементів для компонентів відходів, що розкладаються швидко і повільно, нехтуючи золою за формулою:

$$M_x = \frac{m_x}{m_{ax}}, \quad (A.9)$$

де

$m_x$  – маса хімічного елементу у відходах, кг;

$m_{ax}$  – атомна маса хімічного елемента.

Визначити приблизну хімічну формулу органічних відходів без Сульфуру можна, розрахувавши коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , що визначають співвідношення хімічних елементів у рівнянні А.8. Так як, маса Нітрогену у відходах найнижча, то у молярному співвідношенні його вміст приймаємо  $d = 1$ . Тоді кількість решти елементів розраховуємо так:

$$a = \frac{M_C}{M_N}; \quad b = \frac{M_H}{M_N}; \quad c = \frac{M_O}{M_N}. \quad (A.10)$$

На основі отриманих даних можемо записати хімічні формули для органіки, що розкладається швидко і повільно використовуючи узагальнене рівняння А.8.

Обчислити кількість газів (метану і діоксиду Карбону), що виділятимуться при розкладі органіки, що розкладається швидко і повільно можна за рівняннями реакцій і даними про масу відходів у сухому стані за формулою:

$$m_{газу} = \frac{M_{газу} \cdot m_{сух}}{M_{відходів}}, \quad (A.11)$$

і їх об'єм:

$$V_{газу} = \frac{m_{газу}}{\rho_{газу}}. \quad (A.12)$$

Густина метану і двоокису карбону– 0,7177 і 1,9783 кг/м<sup>3</sup> відповідно.

Сумарну кількість газу на одиницю маси органічної речовини, що розкладається швидко і повільно розраховуємо за формулою:

$$\frac{V(CH_4) + V(CO_2)}{m(відходів)}, \quad (м^3/кг). \quad (A.13)$$

Отримані значення об'ємів полігонного газу є максимальними, оскільки при розрахунку взято до уваги оптимальні умови перебігу реакції деструкції органічного вмісту ТПВ. Фактичні значення є меншими, оскільки не весь органічний вміст відходів розкладається. Наприклад, папір у пластикових мішках, хоч і піддається біодеструкції, але за таких умов не розкладатиметься. Органічні матеріали, що не мають достатньо вологи для підтримання біологічної активності не піддаються конверсії.

**Розрахунок кількості фільтрату, що утворюється на полігоні твердих побутових відходів.** Основним чинником забруднення підземних вод на об'єктах поводження з ТПВ є фільтрат. Поверхневий стік з території об'єктів поводження з ТПВ може формуватися під впливом комплексу природних факторів, насамперед, атмосферних опадів, випаровування, фільтрації, а також поливання території об'єкту.

Середньорічний об'єм фільтрату ( $m^3$ ), що утворюється на полігоні ТПВ, можна визначити за формулою [9]:

$$W_{\phi} = (W_o + W_{\text{вв}}) - (W_{\text{в}} + W_{\text{yz}}) \quad (\text{A.14})$$

де

$W_o$  - об'єм атмосферних опадів,  $m^3$ ;

$W_{\text{вв}}$  - об'єм вологи, яка надходить на полігон з відходами,  $m^3$ ;

$W_{\text{в}}$  - об'єм вологи, що випаровується з поверхні полігону,  $m^3$ ;

$W_{\text{yz}}$  - об'єм вологи, що йде на утворення біогазу,  $m^3$ .

*Об'єм атмосферних опадів* (дощових та снігових вод) за рік вираховуємо з середньої річної кількості опадів  $h_o$  (визначаємо за даними найближчої до вашого населеного пункту метеостанції) та площі полігону:

$$W_o = S_{\text{полігону}} \cdot h_o, \quad (\text{A.15})$$

де

$S_{\text{полігону}}$  - знаходимо за даними таблиці А.4.

*Об'єм вологи, що випаровується з поверхні полігону*, знаходимо виходячи з значення коефіцієнта зволоження для території [9].

Коефіцієнт зволоження за Н. М. Івановим:

$$K_{зв} = P/f, \quad (A.16)$$

де

$P$  - кількість опадів (мм);

$f$  - випаровуваність за цей же період, максимально можливе випаровування за даних температурних умов, не обмежене запасами вологи, зазвичай з поверхні водойм (%).

Розрахувати випаровуваність можна за формулою Н. М. Іванова:

$$E = 0,018 \cdot (t + 25)^2 \cdot (100 - R), \quad (A.17)$$

де

$t$  - середня температура за період ( $^{\circ}\text{C}/\text{рік}$ );

$R$  - середня відносна вологість (%).

За класифікацією Н. М. Іванова,  $K_{зв}$  вказує на природні зони: напівпустелі - 0,5; сухий степ - 0,5-0,8; степ - 0,8-1; лісостеп - 1-1,2; лісова зона - понад 1,3.

*Об'єм вологи, яка надходить на полігон з відходами, приймаємо, ґрунтуючись на середній вологості відходів, які вивозяться на полігон (див. рівняння).*

*Об'єм вологи, що йде на утворення біогазу, розраховуємо з рівняння хімічних реакцій утворення біогазу (рівняння А.8).*

$$V_{води} = \frac{M_{води} \cdot m_{сухихвідходів}}{M_{відходів}} \cdot \rho_{води} \quad (A.16)$$

## Середній морфологічний склад твердих побутових відходів [19]

Найменування компонентів ТПВ	Частка, %
Харчові відходи	29
Вуличний відсів	15
Пластмаси, ПЕТ	20,3
Папір, картон	7
Текстиль	3,4
Дерево	6
Садово-паркові	9
Скло	4
Метал чорний	1,5
Шкіра, гума	1,8
Інші відходи	3
	100

Дані про середній морфологічний склад відходів для розрахунків прийнято згідно стратегії поводження з відходами у Львівській області, та Програмою поводження з твердими побутовими відходами у м. Львові на 2014-2018 роки [19].