

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра інженерної екології

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 62-665.3

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Ткачук К.К.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності(спеціалізації) 101 «Екологія», «Інженерна екологія та ресурсозбереження»
(код і назва спеціальності)

на тему: «Оцінка впливу забруднюючих речовин в місцях спалювання побутового сміття»

Виконала: студентка _____ 2 _____ курсу, групи ОЗ-81мп
(шифр групи)

Попач Марія Валеріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доц. каф. ІЕ, к.т.н., доц. Гребенюк Т.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант стартап-проекту доц. к.т.н. Шевчук Н.А.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повне факультету)

Кафедра інженерної екології
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

за **освітньо-професійною** програмою

Спеціальність – 101 «Екологія»

Спеціалізація – «Інженерна екологія та ресурсозбереження»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ткачук К.К.

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Попач Марії Валеріївни

1. Тема дисертації «Оцінка впливу забруднюючих речовин в місцях спалювання побутового сміття»

науковий керівник дисертації доц. каф. ІЕ, к.т.н., доц. Гребенюк Т.В.

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2019 р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: процес забруднення навколишнього середовища викидами від процесу спалення відходів

4. Предмет дослідження : аспекти впливу газоповітряної суміші на навколишнє середовище при спалюванні відходів

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідити вплив твердих побутових відходів на навколишнє середовище та проаналізувати існуючі методи їх утилізації; провести розрахунок для порівняння та вибору оптимальної технології утилізації відходів; шляхом математичних розрахунків визначити оптимальну вологість для спалювання відходів, розробити алгоритм для

визначення загальної вологості суміші ТПВ; розробити стартап-проект.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу містить 12 рисунків, 32 таблиці, 12 формул

7. Орієнтовний перелік публікацій: матеріали II Науково-технічної конференції магістрантів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів); стаття в науковому журналі iScience «Аналіз методів термічної обробки твердих побутових відходів»

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Репін Микола Володимирович		
Стартап-проект	Шевчук Наталія Анатоліївна		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел за темою магістерської дисертації		
2	Оформлення звіту огляду літератури		
3	Вивчення методів утилізації ТПВ		
4	Розрахунок оптимального методу утилізації відходів		
5	Розрахунок залежностей викидів від вологості відходів при спалюванні		
6	Визначення оптимальної вологості спалювання відходів		
7	Розробка стартап-проекту		
8	Оформлення результатів, підготовка доповіді та презентації магістерської роботи		

Студент

(підпис)

Попач М.В.
(прізвище, ініціали)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Гребенюк Т.В.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить 101 сторінку, 12 ілюстрацій, 32 таблиці та 72 джерела згідно з переліком посилань.

Актуальність теми. Зростання кількості побутового сміття, що веде до підвищення рівня забрудненості довкілля, зумовлює необхідність дослідження оптимальних методів та параметрів утилізації відходів, які в свою чергу забезпечуватимуть зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська дисертація виконана відповідно до Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів від 8 листопада 2017 р. №820-р).

Об'єкт дослідження – процес забруднення навколишнього середовища викидами від процесу спалення відходів.

Предмет дослідження – аспекти впливу газоповітряної суміші на навколишнє середовище при спалюванні відходів.

Мета дослідження – аналіз впливу забруднюючих речовин на компоненти навколишнього середовища при процесі спалювання відходів.

Задачі дослідження:

- дослідити вплив твердих побутових відходів на навколишнє середовище та проаналізувати існуючі методи їх утилізації;
- провести розрахунок для порівняння та вибору оптимальної технології утилізації відходів;
- шляхом математичних розрахунків визначити оптимальну вологість для спалювання відходів, розробити алгоритм для визначення загальної вологості суміші ТПВ;
- розробити стартап-проект

Методи дослідження: метод аналізу та синтезу використано при вивченні літературних даних; аналітичні, статистичні та методи оптимізації – при виборі технології термічної утилізації відходів; метод обробки інформації з використанням

програмних забезпечень – для розрахунку залежностей кількості викидів від вологості суміші.

Наукова новизна одержаних результатів: вперше отримано залежність викидів забруднюючих речовин при спалюванні від морфологічного та відсоткового складу відходів.

Практичне значення одержаних результатів: запропоновано використання алгоритму для розрахунку викидів в залежності від якісного складу відходів.

За темою дисертації опубліковано: стаття в науковому журналі iScience «Аналіз методів термічної обробки твердих побутових відходів»; матеріали II Науково-технічної конференції магістрантів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ, ВИКИДИ, ВОЛОГІСТЬ, УТИЛІЗАЦІЯ.

ABSTRACT

The master's dissertation contains 101 pages, 12 illustrations, 32 tables and 72 sources according to the list of references.

Actuality of theme. The increase in the amount of household waste, which leads to an increase in the level of environmental pollution, necessitates the study of optimal methods and parameters of waste disposal, which in turn will provide reduction of negative impact on the environment.

Relationship with working with scientific programs, plans, topics. The Master's Thesis is executed in accordance with the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030 (Decree of the Cabinet of Ministers of November 8, 2017 No. 820-p).

The object of the study is the process of environmental pollution by the waste incineration process.

The subject of the study - aspects of the effect of gas-air mixture during waste incineration on the environment.

The purpose of the study is to analyze the effect of pollutants on the environmental components of the waste incineration process.

Research objectives:

- to investigate the environmental impact of municipal solid waste and to analyze existing methods of their disposal;
- to calculate and compare the optimal waste management technology;
- to determine, by mathematical calculations, the optimal humidity for waste incineration, to develop an algorithm for determining the total moisture content of the MSW mixture;
- develop a startup project.

Research methods: the method of analysis and synthesis was used in the study of literary data; analytical, statistical and optimization methods - when choosing the technology of thermal waste management; method of processing information using software to calculate the dependence of the amount of emissions on the humidity of the mixture.

Scientific novelty of the research: for the first time, the dependence of

pollutant emissions upon combustion on the morphological and percent composition of the waste was calculated.

Practical significance of the results obtained: It is proposed to use an algorithm to calculate emissions depending on the qualitative composition of the waste.

The topic of the dissertation is published: article in the scientific journal iScience "Analysis of methods of thermal treatment of solid household waste"; materials of the Second Scientific and Technical Conference of the undergraduates of the Institute of Energy Saving and Energy Management (according to the results of the dissertation research of the undergraduates).

KEYWORDS: MUNICIPAL SOLID WASTE, EMISSIONS, MOISTURE, DISPOSAL.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП.....	11
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ.....	13
1.1 Поняття побутових відходів.....	13
1.2 Класифікація, склад та властивості побутових відходів.....	15
1.3 Поводження з відходами.....	18
Висновки до розділу 1	21
2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ТА МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТПВ.....	22
2.1 Вплив сміттєзвалища на довкілля.....	22
2.1.1 Забруднюючі речовини, що надходять в атмосферу.....	23
2.1.2 Вплив викидів на ґрунти та води.....	24
2.2 Технології утилізації твердих відходів.....	26
2.2.1 Збір біогазу на полігонах і звалищах ТПВ.....	27
2.2.2 Механіко-біологічна обробка ТПВ.....	29
2.2.3 Термічна обробка/переробка змішаних ТПВ.....	30
2.3 Вибір оптимальної технології утилізації відходів.....	35
Висновки до розділу 2.....	62
3 ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ.....	64
3.1 Вплив забруднюючих речовин, що виділяються при спалюванні.....	64
3.1.1 Вплив на довкілля.....	64
3.1.2 Вплив на людину.....	66
3.2 Визначення оптимальної вологості спалювання ТПВ.....	69
Висновки до розділу 3	80
4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВІДХОДІВ.....	81

4.1 Опис ідеї проекту.....	81
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	82
4.3 Аналіз потенційних можливостей та загроз в ході реалізації проекту....	83
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	85
4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	87
4.6 Ключові види діяльності та ключові партнери.....	89
4.7 Матеріальні витрати та розрахунок собівартості проекту.....	90
4.8 Бізнес-модель проекту.....	90
Висновки до розділу 4.....	92
ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ТПВ – тверді побутові відходи

ЄС – Європейський Союз

ТЕЦ – теплоелектроцентрально

RDF – refuse derived fuel

SRF – solid recovered fuel

МБО – механіко-біологічна обробка

IY – індекс узгодженості

ВУ – відношення узгодженості

СУ – середня випадкова узгодженість

ОНД – общесоюзный нормативный документ

СЗЗ – санітарно-захисна зона

SWOT – Strengths Weaknesses Opportunities Threats

ISO – International Organization for Standardization

ТОВ – Товариство з обмеженою відповідальністю

ВСТУП

Актуальність теми. Зростання кількості побутового сміття, що веде до підвищення рівня забрудненості довкілля, зумовлює необхідність дослідження оптимальних методів та параметрів утилізації відходів, які в свою чергу забезпечуватимуть зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська дисертація виконана відповідно до Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів від 8 листопада 2017 р. №820-р).

Об'єкт дослідження – процес забруднення навколишнього середовища викидами від процесу спалення відходів.

Предмет дослідження – аспекти впливу газоповітряної суміші на навколишнє середовище при спалюванні відходів.

Мета дослідження – аналіз впливу забруднюючих речовин на компоненти навколишнього середовища при процесі спалювання відходів.

Задачі дослідження:

- дослідити вплив твердих побутових відходів на навколишнє середовище та проаналізувати існуючі методи їх утилізації;
- провести розрахунок для порівняння та вибору оптимальної технології утилізації відходів;
- шляхом математичних розрахунків визначити оптимальну вологість для спалювання відходів, розробити алгоритм для визначення загальної вологості суміші ТПВ;
- розробити стартап-проект

Методи дослідження: метод аналізу та синтезу використано при вивченні літературних даних; аналітичні, статистичні та методи оптимізації – при виборі технології термічної утилізації відходів; метод обробки інформації з використанням програмних забезпечень – для розрахунку залежностей кількості викидів від вологості суміші.

Наукова новизна одержаних результатів: вперше розраховано залежність викидів забруднюючих речовин при спалюванні від морфологічного та відсоткового складу відходів.

Практичне значення одержаних результатів: запропоновано використання алгоритму для розрахунку викидів в залежності від якісного складу відходів.

За темою дисертації опубліковано: стаття в науковому журналі iScience «Аналіз методів термічної обробки твердих побутових відходів»; матеріали II Науково-технічної конференції магістрантів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ

1.1 Поняття побутових відходів

Побутові відходи є матеріалами, що утворюються домогосподарствами. Ці відходи можуть складатися з безпечних та небезпечних відходів. Безпечні відходи можуть включати в себе харчові шматки, папір, пляшки тощо, які можна переробляти або компонувати. Прикладами ж небезпечних відходів можуть бути акумулятори та побутові чистячі засоби. Необхідне правильне поводження з небезпечними відходами, задля забезпечення їх правильної утилізації та уникнення завдання шкоди. Джерела твердих відходів, як правило, пов'язані із землекористуванням та районуванням [1]. Джерела відходів можна класифікувати по групах, результати такої класифікації наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Джерела твердих відходів

Джерело	Типові споруди чи місця, де утворюються відходи	Типи твердих відходів
Житлові	Односімейні та багатосімейні будинки, квартири .	Папір, картон, харчові відходи, пластмаси тощо.
Комерційні	Магазини, ресторани, ринки і т.д.	Папір, картон, пластмаса, деревина тощо.
Інституційні	Школи, лікарні, в'язниці, урядові центри.	Те саме, що і для попередніх варіантів.
Промислові (відходи без переробки)	Будівництво, виготовлення, легке та важке виробництво, заводи.	Папір, картон, металеві відходи, зола, спеціальні відходи тощо.
Громади	Усі попередні.	Усі попередні.
Будівництво та знесення	Нові будівельні майданчики, ремонт доріг і т.д.	Дерево, сталь, бетон, бруд тощо.
Комунальні послуги (без очисних споруд)	Прибирання територій, озеленення.	Спеціальні відходи, сміття, загальні відходи парків.
Очисні споруди	Вода, стічні води.	Відходи очисних споруд
Промислові	Будівництво, легке та важке виробництво, заводи.	Відходи промислового процесу, брухту тощо;
Сільськогосподарські	Польові культури, фруктові сади, виноградники тощо.	Зіпсована їжа, сільськогосподарські відходи.

Зі збільшенням населення у світі збільшується кількість вироблених відходів. Взагалі, чим більше автоматизованих і промислово розвинених людських суспільств,

тим більше відходів вони виробляють. Наприклад, промислова революція запровадила нові вироблені продукти та виробничі процеси, які додають частину твердих побутових та промислових відходів. Сучасне споживання та надмірна упаковка багатьох продуктів також суттєво сприяють збільшенню кількості твердих відходів. Іншими видами відходів, які виробляються споживачами, є товари тривалого користування, такі як шини, прилади та меблі, разом з цим тверді побутові відходи складаються з товарів не тривалого користування, таких як папір, одноразові товари та одяг.

Збільшення утворення побутових відходів на людину є основною проблемою для багатьох органів місцевого самоврядування, де спостерігається урбанізація, індустріалізація та економічне зростання. З ростом урбанізації та зміною способу життя та харчових звичок кількість твердих побутових відходів швидко збільшується, а склад її змінюється. Ефективне поводження з відходами є головним завданням у містах з високою щільністю населення. Згідно статистичних даних [2] за 2010-2018 рр. середня кількість утворених відходів України становила близько 384 млн.т за рік (рис 1.1).

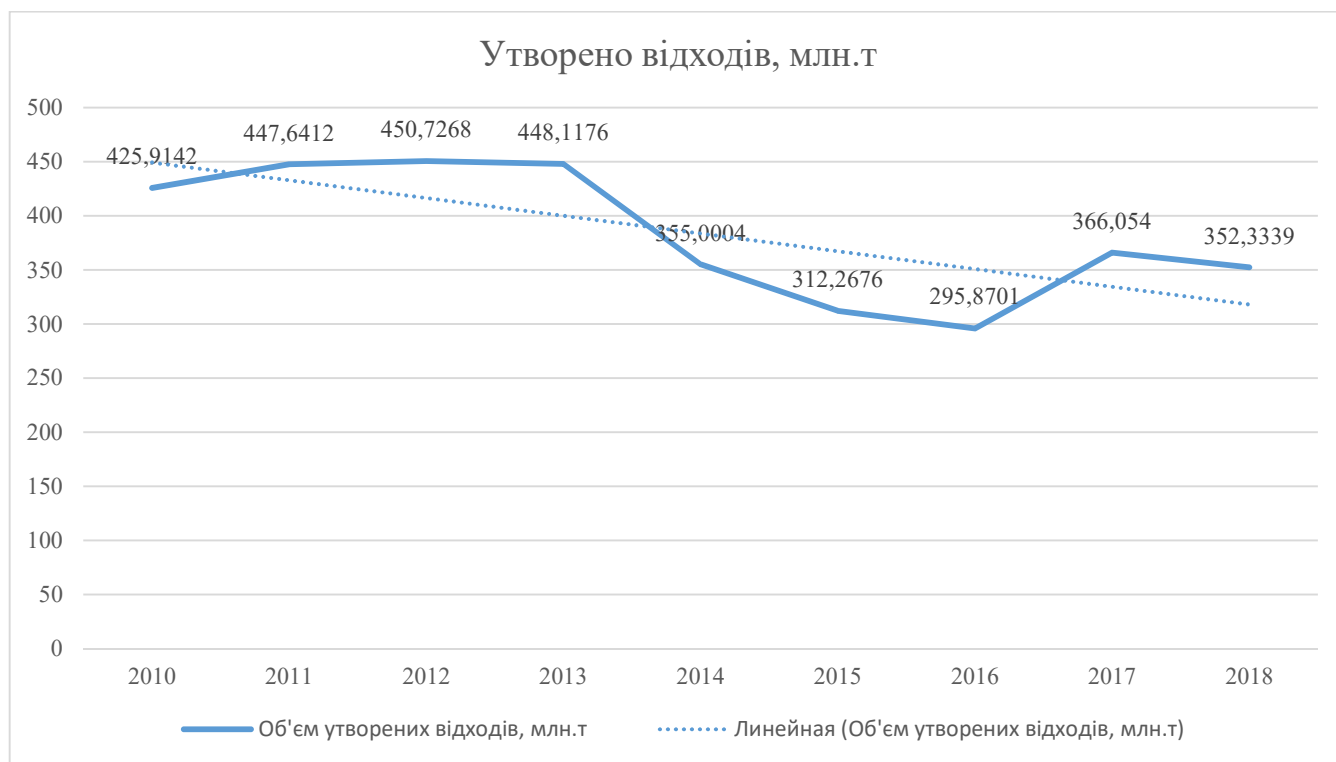


Рисунок 1.1 – Динаміка утворення відходів в Україні

З графіку видно, що тенденція зростання кількості відходів присутня до 2014 року, після чого здається що відбулось істотне їх зменшення. Проте варто врахувати, що з 2014 дані наведено без урахування тимчасово окупованої території АР Крим та Донецької і Луганської областей, де знаходиться багато джерел утворення відходів внаслідок діяльності різних галузей промисловості.

1.2 Класифікація, склад та властивості побутових відходів

У Євросоюзі існує класифікація для полегшення поводження з відходами, в тому числі для небезпечних відходів. Список відходів [3] містить узгоджений перелік кодування всіх відходів. Різні види відходів у списку повністю визначені шестизначним записом для відходів, включаючи відповідні двозначні та чотиризначні заголовки глав.

Відходи можуть мати один із наступних трьох типів введення:

- безпечні;
- небезпечні;
- невизначені – або небезпечні, або безпечні.

Щодо України, то законодавством визначено класифікатор відходів, який складається з двох частин: власне класифікація відходів та класифікація послуг, пов'язаних з відходами. В переліку відходів існує 90 угруповань відходів, утворюваних у сировинних, видобувних та обробних галузях економіки. Що стосується послуг, то існує лише 4 угруповання.

В свою чергу, побутові відходи можна класифікувати на 5 різних видів [4]:

1. Рідкі відходи. Зазвичай зустрічаються як в домашніх господарствах, так і в галузях промисловості. До цих відходів належать брудна вода, органічні рідини, промивна вода, миючі засоби та навіть дощова вода. Також слід знати, що рідкі відходи можна класифікувати на точкові та неточкові джерела відходів. Усі виготовлені рідкі відходи класифікуються як відходи точкових джерел. З іншого боку, природні рідкі відходи класифікуються як неточкові джерела відходів.

2. Тверді відходи. Може включати різні предмети, знайдені у домогосподарстві, а також торгові та промислових місцях. Тверді відходи зазвичай поділяють на такі типи:

- Пластикові відходи – мішки, контейнери, банки, пляшки та багато інших продуктів, які можна знайти домогосподарстві. Пластик не піддається біологічному розкладанню, проте багато видів пластику можна переробити.
- Відходи паперу / картки – пакувальні матеріали, газети, картони та інші продукти. Папір може бути легко перероблений та повторно використаний.
- Банки та метали – буває в різних формах. Більшість металів можна переробити.
- Кераміка та скло – легко переробляються.

3. Органічні відходи. Харчові відходи, садові відходи, гній та гниле м'ясо класифікуються як органічні відходи. З часом органічні відходи мікроорганізмами перетворюються на гній. Органічні відходи на сміттєзвалищах спричиняють виробництво метану, тому його не слід викидати із загальними відходами.

4. Відходи для переробки. Включає всі відходи, які можна перетворити на продукти, які можна повторно використовувати. Тверді предмети, такі як папір, метали, меблі та органічні відходи, можуть бути перероблені.

5. Небезпечні відходи. Належать усі види сміття, які є горючими, токсичними, корозійними та реактивними. Ці предмети можуть завдати шкоди як населенню, так і навколишньому середовищу, тому потрібно правильно утилізувати.

Склад ТПВ значно варіюється в різних муніципалітетах та в різних країнах. Така різниця залежить головним чином від способу життя, економічної ситуації, правил поводження з відходами та виробничої структури. Кількість та склад твердих побутових відходів мають вирішальне значення для визначення відповідного поводження з цими відходами. Така інформація є найважливішою та корисною для того, щоб перевезти тверді відходи до енергоресурсів в межах муніципалітету. Виходячи з калорійності та елементарного складу ТПВ, інженери та вчені можуть визначитися з його корисністю як паливом. Тим часом така інформація допоможе передбачити склад газоподібних викидів.

Якщо говорити про структуру ТПВ в Україні, то варто зазначити, що систематичні дослідження морфологічного складу відходів до недавнього часу не проводились. На рис. 1.2 показано структуру ТПВ, згідно з дослідженнями, проведеними в межах національного проекту «Чисте місто» [5].

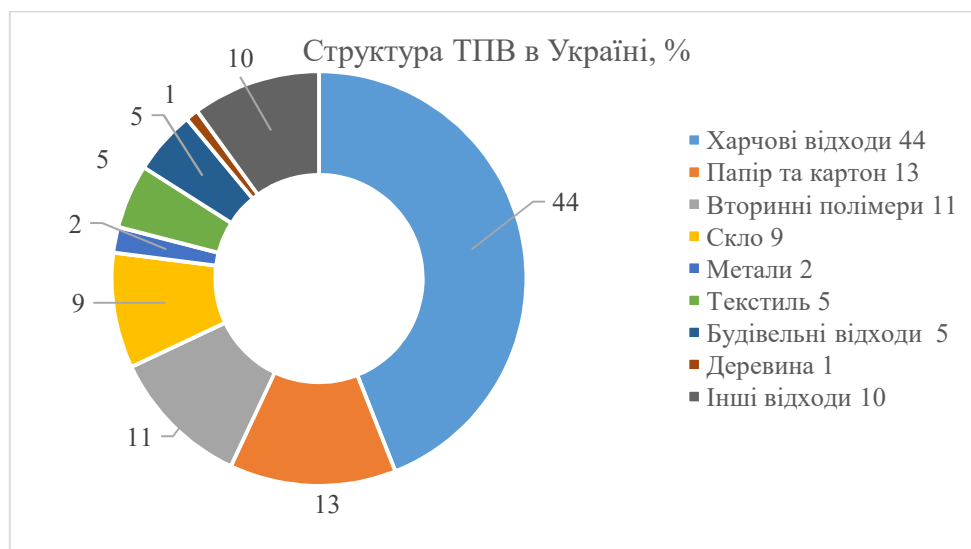


Рисунок 1.2 – Структура ТПВ в Україні

Як можна побачити, найбільша частка припадає на харчові відходи – 44%, показник близько 10-15% спостерігається у паперу та картону (13%), вторинні полімери (11%), інші відходи (10%) та скло (9%). Варто зауважити, що до категорії «Інші відходи» належать електронні прилади, в який закінчився термін експлуатації, небезпечні відходи, великогабаритне сміття та інші менш важливі типи відходів. Найменша частка структури ТПВ належить текстилю (5%), будівельним відходам (5%), металам (2%) та деревині (1%).

Побутові чи комунальні відходи, як правило, утворюються із різних джерел, де зустрічаються різні види діяльності людини. У кількох дослідженнях [6, 7, 8] було повідомлено, що тверді побутові відходи, що утворюються в країні, що розвиваються, в основному складаються з домашніх господарств (55–80%), за ними йдуть ринкові чи комерційні (10–30%). Як правило, тверді відходи з таких джерел є високомісними та неоднорідними за своєю природою. Таким чином, вони мають різні фізичні та хімічні характеристики залежно від їх первинних джерел. До їх складу входять дворові відходи, харчові відходи, пластмаса, дерево, метали, папір, каучук, шкіра,

аккумулятори, інертні матеріали, текстиль, контейнери для фарби та будівельні матеріали, а також багато інших, які важко класифікувати. Неоднорідність таких утворених твердих відходів є основною невдачею при сортуванні та використанні їх у якості матеріалу. Тому існує потреба у фракціонуванні та сортуванні цих відходів перед будь-яким осмисленим процесом очищення. Характеристики твердих побутових відходів мають великий вплив на проектування, експлуатацію та управління сміттєзвалищами, впливаючи на поселення, стабільність схилів та цілісність вилугових/газових свердловин [9].

1.3 Поводження з відходами

У менш індустріальні часи і навіть сьогодні в багатьох країнах, що розвиваються, домогосподарства та галузі промисловості утилізують небажані матеріали у водоймах або у відвалах. Однак така практика створює небажані наслідки, такі як небезпека для здоров'я та неприємні запахи. У міру того, як перший світ став пильнішим щодо небезпеки навколишнього середовища, методи вивезення відходів вивчалися та вдосконалювалися. Однак сьогодні уряди, розробники політики та особи все ще борються з проблемою, як покращити методи утилізації, зберігання та переробки.

Міста та селища, які часто є вузлами швидкого економічного розвитку та зростання населення, створюють тисячі тон твердих побутових відходів. Низька ефективність збирання, недоступні транспортні послуги та відсутність відповідних засобів для очищення та захоронення є причиною незадовільного поведіння з твердими відходами, що призводить до забруднення води, землі та повітря, а також для небезпеки людей та навколишнього середовища.

Серед усіх дуже важлива проблема утилізації. Деякі часто використовувані утилізації: відкрите і неконтрольоване захоронення замість санітарного сміттєзвалища та спалювання замість контрольованого спалювання. Тверді відходи спалюються на відкритій території, наражаючи людей на небезпеку для здоров'я, що

додає до вже гострої проблеми забруднення повітря та створює можливості для поширення захворювань.

Поводження з твердими відходами – одна з головних проблем у всьому світі. Неправильне збирання, переробка, обробка та неконтрольоване захоронення відходів призводять до серйозних небезпек, таких як ризики для здоров'я та забруднення навколишнього середовища. Типовий комунальний потік твердих побутових відходів може містити загальні відходи (органіку та вторинну сировину), спеціальні відходи (побутові небезпечні, медичні та промислові відходи) та будівельне сміття.

Більшість несприятливих впливів на навколишнє середовище від поводження з твердими відходами полягає в недостатньому або неповному збиранні та утилізації відходів, що підлягають вторинній переробці або повторного використання, а також у захороненні небезпечних відходів. Вплив також обумовлений невідповідним розміщенням, проектуванням, експлуатацією чи технічним обслуговуванням сміттєзвалищ.

Комплексне поводження з відходами може бути визначене як вибір та застосування відповідних методик, технологій та програм управління для досягнення конкретних цілей та завдань щодо управління відходами. Метою сталого поводження з відходами є зменшення утворення відходів та використання ресурсів більш ефективно та раціонально, забезпечуючи використання відходів одного сектору як сировину в іншому секторі.

За оцінками [10], кількість твердих відходів на душу населення становить близько 400-500 кілограмів на рік. Однак цей показник може сильно відрізнятись в різних країнах, містах і сезонах. Також варто врахувати і об'єми переробки відходів – у розвинутих країнах попри високі показники утворення спостерігається переробка майже всіх ТПВ [11,12]. Утилізація твердих відходів або золи на полігонах може загрожувати ґрунтовим або поверхневим джерелам води. Тому будівництво полігонів потрібно планувати дуже ретельно, а їх експлуатацію потрібно суворо контролювати, щоб запобігти забрудненню ґрунтових вод.

Статистичні дані [13] що зображують ситуацію щодо сучасного стану поводження з побутовими відходами в Україні наведено на рис.1.3.



* - після 2014 року дані наведені без врахування тимчасово окупованої території АР Крим та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

Рисунок 1.3 – Поводження з побутовими відходами в Україні

Видно, що більша частка відходів видаляється на сміттєзвалища і лиш малий відсоток підлягає енергетичній утилізації – спалювання з метою отримання енергії.

Основними документами, що стосуються сфери поводження з відходами є закони України «Про відходи» та «Про охорону навколишнього природного середовища».

З метою покращення стану навколишнього середовища та наближення до стандартів ЄС, у 2014 році було підписано Угоду про асоціацію. Передбачається наближення галузевого законодавства України до вимог джерел права ЄС у сфері управління відходами [14].

Одним із базових орієнтирів Директиви 2008/98/31/ЄС є встановлення ієрархії пріоритетів щодо поводження з відходами. Ієрархія відходів має 5 етапів: зменшення відходів, повторне використання, переробка, утилізація та захоронення [15]. Метою ієрархії відходів є отримання максимальної практичної користі від продуктів та отримання мінімальної кількості відходів [16, 17]. Деякі експерти з поводження з відходами нещодавно включили додатковий пункт: "Подумайте", це означає що для

ефективної системи поводження з відходами може знадобитися абсолютно новий спосіб погляду на відходи.

Скорочення джерел передбачає зусилля щодо зменшення небезпечних відходів та інших матеріалів шляхом модифікації промислового виробництва. Методи скорочення джерел передбачають зміни в технології виготовлення, введенні сировини та формуванні продукції. Часом термін "запобігання забрудненню" може означати зменшення джерел.

Висновки до розділу 1

1. Стале поводження з відходами має бути ключовою ціллю країн, особливо ряду тих країн, що розвиваються.

2. Ієрархія пріоритетів щодо поводження з відходами передбачає запровадження дій у такій послідовності: зменшення відходів, повторне використання, переробка, утилізація, захоронення.

3. Пункт «утилізація відходів» являє собою енергетичну утилізацію – перетворення відходів у паливо або відновлення енергії.

4. На підставі розглянутого з'являється необхідність розгляду існуючих технологій та обладнань для утилізації ТПВ, порівняння їх характеристик та вибору кращого варіанту.

2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ТА МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТПВ

2.1 Вплив сміттєзвалища на довкілля

Сміттєзвалище – це термін, що використовується для опису фізичних споруд, що використовуються для захоронення твердих відходів і залишків твердих відходів у поверхневій ґрунті землі.

Життя поблизу сміттєзвалища може становити небезпеку для здоров'я мешканців, оскільки забруднюючі речовини зі сміттєзвалища можуть потрапляти до організму різними шляхами: вдихання речовин, що викидаються на ділянку, контакту з водою чи забрудненим ґрунтом, через споживання продуктів або забрудненої води [18]. Найбільша стурбованість стосується незаконних, неконтрольованих сміттєзвалищ, куди надходження відходів відбувається без будь-якого відбору. Розташування сміттєзвалищ твердих побутових відходів у невідповідних місцях є серйозним ризиком для якості всіх факторів навколишнього середовища. Ці сховища можуть стати основними джерелами погіршення якості повітря через викиди токсичного газу внаслідок анаеробного розкладання органічних відходів.

Важливим питанням при роботі з викидами на полігонах є період часу, протягом якого вони відбуваються. Викиди звалищного газу та стічних вод можуть відбуватися принаймні десятки та сотні років відповідно. Додатковими ускладнюючими факторами є те, що як кількість, так і якість звалищного газу та стічних вод змінюються з часом. Як результат, викиди полігону повинні бути інтегровані з часом [19].

Проектування та експлуатація сміттєзвалища може впливати на період часу, протягом якого відбуваються викиди. Можна виділити два широкі типи стратегій звалищ. Традиційні сміттєзвалища, які є неконтрольованими дозволяють без обмежень викидати в ґрунт забруднюючі речовини. Цей метод не вважається належним для експлуатації, зважаючи на серйозний ризик, який може спричинити вилуговування підземних вод та потенційне накопичення звалищного газу. Тому

сучасні сміттєзвалища повинні контролюватися та експлуатуватися за принципом "утримання", який дозволяє уникати забруднення довкілля.

2.1.1 Забруднюючі речовини, що надходять в атмосферу

Побутові сміттєзвалища є великими джерелами забруднення повітря за рахунок викидів парникових газів. Газ що виділяється на сміттєзвалищах може містити різні компоненти, які, як відомо, викликають «парникові ефекти». Такими компонентами є дві основні сполуки вуглецю: метан (CH_4) та вуглекислий газ (CO_2) [20].

Звалищний газ викидається в повітря і змінюється за часом, кількістю і якістю. Вважається, що максимум рівня виробництва звалищного газу буде досягнуто через місяці-роки після закриття полігону і після цього експоненціально зменшиться, досягнувши незначних обсягів приблизно через 25-30 років [21].

Різниця основних компонентів звалищного газу з часом показана на рис. 2.1. Незабаром після закриття сміттєзвалища, коли виробництво звалищного газу є найбільшим, метан (CH_4) є основним компонентом газу, як правило, становить 55% за обсягом, а діоксид вуглецю (CO_2) складає більшу частину обсягу, що залишився. Ці компоненти отримують при анаеробному розкладі біорозкладаного органічного матеріалу.

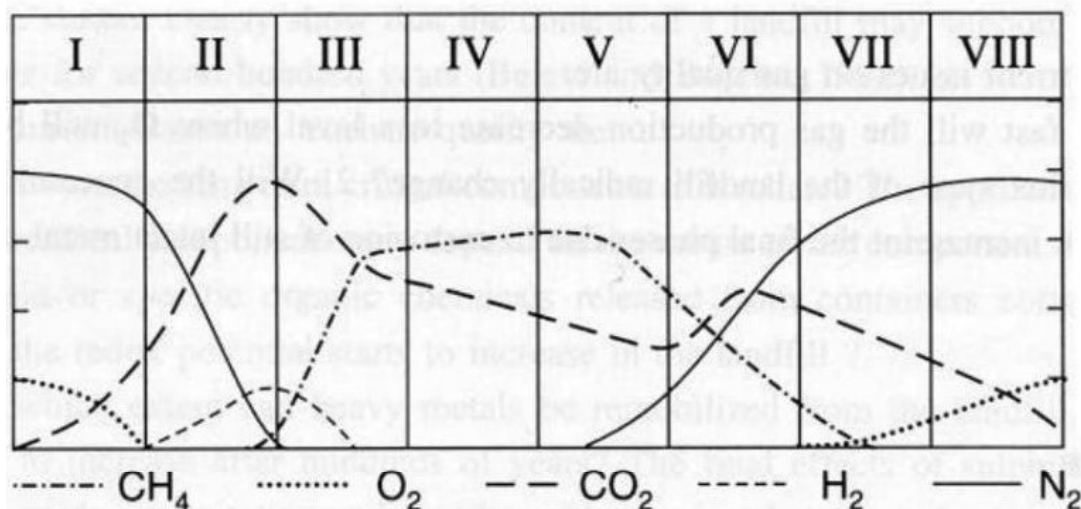


Рисунок 2.1 – Загальні тенденції щодо складу звалищних газів протягом різних фаз життя сміттєзвалища

При спалюванні або використанні звалищних газів зменшуються викиди в атмосферу, знищуючи горючі та найбільш органічні компоненти мікроелементів, метан окислюється до води та вуглекислого газу.

Однак низькі рівні забруднюючих речовин, які раніше не були в звалищних газах, утворюються в процесі горіння, наприклад діоксини, HCl та NO_x тощо.

Інші викиди в атмосферу, які включають пил, можуть виникати під час експлуатації на полігоні. Пил може викидатись з під'їзних доріг на ділянку та/або з самих відходів, коли відходи потрапляють на сміттєзвалище. Типові викиди з полігону, що надходять в повітря, наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Типові викиди в повітря з полігону

Основні компоненти звалищного газу	Залишкові компоненти звалищного газу	Інші викиди
CH ₄	N ₂	Пил
CO ₂	O ₂	Інші (наприклад, діоксини – утворюються коли звалищні гази спалюються або використовуються для відновлення енергії)
	H ₂ S	
	CO	
	H ₂	
	VOC	

2.1.2 Вплив викидів на ґрунт та води

Утилізація ТПВ на полігоні – це не тільки викиди в повітря, але також і ґрунти. Викид залежить від кількості відходів, що підлягають захороненню, і може бути визначений як накопичення забруднень та/або ресурсів.

Кількість утвореного осаду залежить, головним чином, від кількості опадів у регіоні та типу покриву сміттєзвалища, які впливають як на кількість вологи, що проникає на сміттєзвалище, так і на початкову вологість відходів. Згідно [22] рівень інфільтрації повинен бути оцінений для кожного сміттєзвалища, де потрібна більш точна інформація, на відміну від використання середніх або регіональних середніх

значень через велику різницю між ділянками. Наприклад, на етапі експлуатації полігону на сміттєзвалище проникає від 20 до 70% опадів.

Якість вилуговування залежить насамперед від природи сміттєзвалища та змінюється з часом. Протягом початкових фаз життя сміттєзвалища вилугові води, як правило, містять дуже високі концентрації органічного вуглецю, аміаку, хлориду, калію, натрію та гідрокарбонату, в той час як концентрації важких металів та специфічних органічних сполук відносно низькі. Прогнози якості вилуговування пов'язані зі значною невизначеністю, що відображає недостатнє розуміння процесу вилуговування (рис.2.2) [23]. Дані складу викидів доступні лише для певних сміттєзвалищ протягом приблизно 30 років, однак генерація осаду може тривати протягом декількох сотень років.

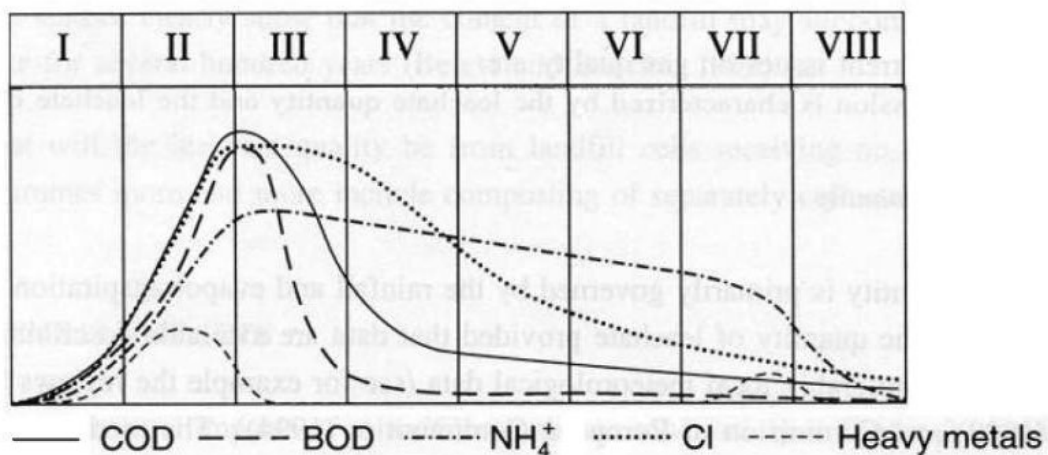


Рисунок 2.2 – Загальні тенденції складу вилугових вод протягом різних фаз життя сміттєзвалища

Римські цифри представляють різні фази. Перша фаза (аеробна) триває тижні, II (кислотна) і III (початкова метаногенна) фази тривають місяцями, а останні фази (стабільна метаногенна, вторгнення повітря, окислення метану, утворення вуглекислого газу, поява ґрунтового повітря) як вважається, тривають від років до десятиліть.

Викиди вилугових вод повинні бути зведені до мінімуму, щоб запобігти потенційному ризику для ґрунту та води, встановивши геологічний бар'єр на дні та

сторонах сміттєзвалища. Для небезпечних відходів геологічний бар'єр повинен бути товщиною понад 1 м і мати дуже низьку проникність. Крім того, слід додати систему збору та герметизації вилуговування, що складається з штучного нижнього вкладиша та дренажного шару товщиною понад 0,5 м, щоб мінімізувати скупчення вилуговування на поверхні бар'єру. Типові викиди з полігону, що надходять в ґрунт та воду, наведено в табл. 2.2 [24].

Таблиця 2.2 – Типові викиди з полігону в ґрунт та воду

Компонент	Приклад
Основні іони	Ca, K, Na, NH ₄ , CO ₃ , SO ₄ , Cl
Важкі метали	As, Cd, Cr, Pb, Hg, Cu, Ni
Органічні сполуки	Хлорована органіка, фенол, бензол, специфічні пестициди
Інше	Мікробіологічні компоненти

2.2 Технології утилізації твердих відходів

Утилізація твердих відходів є гострою та поширеною проблемою як у міських, так і в сільських районах багатьох розвинених країн та країн, що розвиваються. Збір та захоронення твердих побутових відходів є однією з головних проблем міського середовища в більшості країн світу сьогодні. Рішення щодо управління ТПВ повинні бути фінансово стійкими, технічно здійсненими, соціально, юридично прийнятними та екологічними. Поводження з твердими відходами – найбільший виклик для влади як малих, так і великих міст.

Утилізацією вважається спалювання та спільне спалювання з високим рівнем відновлення енергії; перетворення відходів в матеріали, що використовуються як тверде, рідке або газоподібне паливо.

У свою чергу, саме енергетична утилізація ділиться на три основних типи:

1. Збір біогазу на полігонах і звалищах ТПВ з наступним виробництвом електро- та/або теплової енергії;

2. Механо-біологічна обробка ТПВ з можливим виробництвом біогазу та/або твердого палива з ТПВ з подальшим використанням на цементних заводах або в спеціалізованих ТЕЦ/котельнях;

3. Термічна обробка/переробка змішаних (залишків після сортування) ТПВ з подальшим виробництвом електроенергії та/або тепла

Термічна обробка ТПВ є найбільш ефективним методом скорочення відходів і необхідності їх видалення. Можливі такі види утилізації побутових відходів:

1) виробництво тепла і електроенергії з RDF (Refuse Derived Fuel)/SRF(Solid Recovered Fuel), отриманого після механічної та біологічної обробки;

2) класична сміттєспалювальна установка – спалювання змішаних ТПВ після вилучення цінної сировини;

3) експериментальні технології: піроліз, газифікація [25].

2.2.1 Збір біогазу на полігонах і звалищах ТПВ

Під час утилізації та накопичення ТПВ створюється тіло звалища, в результаті чого велика частина відходів знаходиться в анаеробних умовах (без доступу повітря). Нестача кисню, висока вологість і температура в межах 30-60°C є необхідними і достатніми умовами для формування процесів розкладання органічних фракцій ТПВ з утворенням біогазу – суміші метану, вуглекислого газу і води з незначними домішками азоту, сірководню і летючих органічних речовин [26].

Біогаз можна використовувати в якості палива для електростанцій (котлів, промислових печей, стаціонарних генераторів) або для заправки. Метод використання біогазу визначається при розробці технічних специфікацій для проектування системи збору та використання біогазу для конкретного звалища. Якщо біогаз не можна використовувати з відповідним техніко-економічним обґрунтуванням, його слід спалювати на спеціальній високотемпературній факельній установці.

Проектування системи збору біогазу зазвичай включає в себе наявність свердловини, точки відбору газу з біогазовими трубопроводами, проміжні і

магістральні газопроводи, установку дегазації для вилучення біогазу і ділянку підготовки біогазу для утилізації (осушення і очищення).

Швидкість розкладання залежить від морфології ТПВ і фізичних умов на звалищі, в основному від вологості і температури [27]. У свою чергу, внутрішні умови залежать від клімату, в основному від кількості опадів. Процес розкладання органічної фракції відбувається відповідно до експоненціального закону, період напіврозпаду в українських умовах (відповідає 50% виробництва біогазу) становить 10...12 років.

Кількість зібраного біогазу залежить, в основному від експлуатаційних особливостей полігону/ділянки. За оцінками [28], ефективність збору біогазу на керованих звалищах становить близько 50%. Для полігонів в Україні це значення можна вважати верхньою межею, більш типове значення може становити 25 ... 30% або навіть менше.

В Україні загальна встановлена електрична потужність на полігонах і звалищах становить понад 18,4 МВт (станом на 01.01.19 р) [29]. Загальна встановлена електрична потужність і кількість систем збору біогазу на кінець року показано в табл. 2.3

Таблиця 2.3 Виробництво електроенергії, встановлена потужність і кількість біогазових проектів на полігонах і полігонах в Україні

Рік	Річне виробництво електроенергії, МВт·год	Електрична потужність встановлена на кінець року, МВт	Кількість проектів на кінець року, од.
2012	4997	0,9	1
2013	10299	2,1	3
2014	14243	4,3	4
2015	21926	6,4	6
2016	32792	7,4	7
2017	41065	12,3	12
2018	62490	18,4	20

Збір біогазу на звалищі або полігоні є ефективною екологічною мірою. Спалювання біогазу (на електростанціях або на факелах) знижує викиди парникових газів в атмосферу, знищує летючі органічні сполуки з запахами, зменшує або

виключає ймовірність виникнення пожежі на звалищах. Крім того, біогаз із ТПВ є місцевим і поновлюваним джерелом енергії, здатним замінити будь-який вид викопного палива – вугілля, нафту і природний газ.

2.2.2 Механіко-біологічна обробка ТПВ

Механіко-біологічна обробка відходів використовується для переробки змішаних відходів з попереднім сортуванням або без неї. Первинна концепція технології полягає в скороченні кількості відходів, що відправляються на звалища. В даний час технологія також використовується для виробництва палива та подальшого вилучення корисних матеріалів. Технологія об'єднує механічні методи (поділ з використанням сит, барабанів, магнітів і т.д.) і біологічні методи (компостування і анаеробне зброджування) [30].

МБО – це загальне поняття для всіх концепцій, пов'язаних з переробкою відходів шляхом поєднання механічних і біологічних методів. Основна відмінність між різними концепціями – це порядок стадій процесу і призначення стадії біологічної обробки. Технологічний ланцюжок орієнтований або на концепцію поділу, або на ідею стабілізації.

Механіко-біологічна обробка відходів не є методом постійної утилізації відходів, оскільки тверді залишки, отримані на виході, повинні піддаватися додатковим операціям зберігання або спалювання.

Отже, існують такі основні можливості організації МБО [31]:

1. Сортування з розподілом ресурсів і інертних компонентів, зброджування органічної фракції ТПВ, отримання біогазу, виробництво з нього корисної енергії, компостування і видалення зброджених залишків;

2. Сортування з поділом ресурсів та інертних інгредієнтів, біологічна стабілізація – компостування і видалення стабілізованих залишків;

3. Виробництво спеціально підготовленого твердого палива (SRF). У найпростішому випадку підготовка може складатися з попереднього сортування, видалення деяких компонентів з потоку змішаних відходів і подрібнення залишку.

2.2.3 Термічна обробка/переробка змішаних ТПВ

В даний час все більшого поширення набуває спалювання відходів і розглядається в розвинених країнах в якості основного способу утилізації відходів, які не можуть піддаватися вторинній переробці з технічних чи економічних принципам.

На підставі досліджень [32-34] сформульовані основні, загальноприйняті вимоги до процесу спалювання, виконання яких забезпечить запобігання утворенню діоксинів у відхідних газах:

- високі температури (1250 °C і більше);
- наявність окисно-відновного середовища;
- час перебування димових газів в зоні високих температур (від 2 с), достатній для розкладання діоксинів;
- максимально швидке охолодження димових газів для запобігання утворення вторинних діоксинів;
- багатоступенева система очищення димових газів від шкідливих компонентів;
- високий рівень автоматизації технологічного процесу термічного знешкодження відходів.

Сукупне виконання всіх зазначених умов призводить до повного і незворотного руйнування діоксинів і очищення димових газів до рівня, безпечного для навколишнього середовища і здоров'я людини.

В ході виконання даної роботи були проведені порівняння існуючих методів термічної обробки відходів [34]: рухома решітка з повітряним охолодженням, з рідинним охолодженням, статична решітка з механізмом транспортування золи/відходів, ротаційна піч, киплячий шар, киплячий шар – обертовий, циркулюючий, газифікація – нерухомий шар, захоплений потік, рідкий шар, піроліз – короткий барабан, середній барабан [35-40]. Порівняння проводились за:

- основними характеристиками відходів, що можуть утилізуватися;
- пропускною здатністю на лінію;

- перевагами;
- недоліками;
- якістю золи;
- обсягом димових газів;
- інформацією про вартість установки.

Результати досліджень наведено в табл. 2.4

Таблиця 2.4 – Порівняння технологій згорання та термічної обробки та факторів, що впливають на їх застосовність та експлуатаційну придатність

Технологія	Основні характеристики відходів та придатність	Пропускна здатність на лінію	Оперативна/екологічна інформація		Якість золи	Обсяг димових газів	Інформація про вартість
			Переваги	Недоліки/обмеження використання			
1	2	3	4	5	6	7	8
Рухома решітка з повітряним охолодженням	<ul style="list-style-type: none"> • низькі та середні значення теплоти згорання (нижча теплотворна здатність 5 – 16,5 ГДж/т); • комунальні та інші неоднорідні тверді відходи; • може приймати частку мулу та/або медичні відходи з побутовими відходами; • застосовується в більшості сучасних установок для очищення сміття; 	від 1 до 50 т/год, більшістю випадків від 2,5 до 30 т/год.	<ul style="list-style-type: none"> • дуже широко зарекомендував себе у великих масштабах; • надійний; • низькі витрати на обслуговування; • тривала операційна історія; • можуть приймати неоднорідні відходи без спеціальної підготовки; 	як правило, не підходить для порошків, рідин або матеріалів, які випадають через решітку	загальний органічний вуглець від 0,5% до 3%	4 – 7 тис м³/т вхідних відходів, залежить від теплотворної здатності	висока потужність знижує питомі витрати на тону відходів
Рухома решітка з рідинним охолодженням	те саме, що і решітки з повітряним охолодженням, за винятком: <ul style="list-style-type: none"> • нижча теплотворна здатність 10 – 20 ГДж/т 	від 1 до 50 т/год, більшість випадків від 2,5 до 30 т/год.	як решітки з повітряним охолодженням, але: <ul style="list-style-type: none"> • більш висока теплоємність, що підлягає обробці; • можливий кращий контроль горіння 	як решітки з повітряним охолодженням, але: <ul style="list-style-type: none"> • існує ризик витоку рідини; • більш висока складність; 	загальний органічний вуглець від 0,5% до 3%	4 – 7 тис м³/т вхідних відходів, залежить від теплотворної здатності	трохи вища капітальна вартість, ніж для решіток з повітряним охолодженням
Статична решітка з механізмом транспортування золи/відходів	<ul style="list-style-type: none"> • комунальні відходи вимагають відбору або подрібнення; • менше проблем з порошками тощо, ніж з пересувними решітками; 	зазвичай низька <1 т/год	менше обслуговування – відсутні рухомі частини	<ul style="list-style-type: none"> • для відібраних та оброблених відходів; • менша пропускна здатність; • деякі решітки потребують додаткового палива; 	<3% з підготовленими відходами	трохи нижчий, ніж інші решітчасті системи, де застосовується поетапне згорання	як у рухомих решіток

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Ротаційна піч	<ul style="list-style-type: none"> • може приймати рідини та пасти; • тверді відходи більш обмежені, ніж для колосників (через вогнетривкі пошкодження); • часто застосовується до небезпечних відходів; 	<10 т/год	<ul style="list-style-type: none"> • дуже добре зарекомендував себе; • широкий спектр відходів;; • добре вигорає – навіть небезпечні відходи; 	пропускна здатність нижча за решітки	загальний органічний вуглець <3 %	6- 10 тис м³/т вхідних відходів	більш висока питома вартість через зменшення потужностей
Киплячий шар	<ul style="list-style-type: none"> • лише тонко розділені постійні відходи; • обмежене використання для сировини ТПВ; • часто застосовується до мулів; 	1-10 т/год	<ul style="list-style-type: none"> • гарне змішування; • зола хорошої якості вилуговування; 	<ul style="list-style-type: none"> • необхідна ретельна робота, щоб уникнути засмічення шару; • більша кількість золи; 	загальний органічний вуглець <3 %	відносно нижчий ніж у решіток	вартість може бути нижчою. Додаткові витрати на підготовку відходів
Киплячий шар – обертовий	<ul style="list-style-type: none"> • широкий діапазон значень теплоти (7 – 18 МДж/кг); • грубо подрібнені ТПВ можуть оброблятися; • комбіноване спалювання мулу; 	Від 3 до 22 т/год	<ul style="list-style-type: none"> • гарне змішування/висока турбулентність; • широкий спектр нижчої теплотворної здатності; • сильне вигорання; 	<ul style="list-style-type: none"> • потрібно подрібнення ТПВ; • більша кількість золи, ніж на решітках; 	загальний органічний вуглець <3%, але часто 0,5 – 1%	від 4 до 6 тис м³/т	
Киплячий шар – циркулюючий	<ul style="list-style-type: none"> • лише тонко розділені постійні відходи. Обмежене використання для сировини ТПВ; • часто застосовується до мулів; 	1 – 20 т/год, найчастіше використовується понад 10 т/год	<ul style="list-style-type: none"> • гарне змішування; • більша гнучкість палива; • літаюча зола хорошої якості вилуговування; 	<ul style="list-style-type: none"> • циклон, необхідний для збереження матеріалу шару; • більша кількість попелу; 	загальний органічний вуглець <3%	відносно нижчий ніж у решіток	вартість може бути нижчою. Витрати на підготовку.
Газифікація – нерухомий шар	<ul style="list-style-type: none"> • змішані пластмасові відходи; • інші подібні послідовні потоки; • газифікація менш широко використовується/доведена, ніж спалювання; 	до 20 т/год	<ul style="list-style-type: none"> • низький рівень вилуговування; • знижене окислення металів, що підлягають вторинній переробці; 	<ul style="list-style-type: none"> • обмежена к-ть відходів; • високий рівень кваліфікації; • менш широко доведено; 	<ul style="list-style-type: none"> • низький рівень вилуговування нижньої золи; • хороше вигорання з киснем; 	нижчий, ніж у прямого горіння	високі витрати на експлуатацію/обслуговування

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Газифікація – захоплений потік	<ul style="list-style-type: none"> • змішані пластмасові відходи; • інші подібні послідовні потоки; • не підходить для необроблених ТПВ; • газифікація менш широко використовується/доведена, ніж спалювання; 	до 10 т/год	<ul style="list-style-type: none"> • низький ступінь вилуговування; • знижене окислення металів, що підлягають вторинній переробці; 	<ul style="list-style-type: none"> • обмежена кількість відходів; • не повне горіння; • високий рівень кваліфікації; • менш широко доведено; 	<ul style="list-style-type: none"> • низький ступінь вилуговування 	нижчий, ніж у прямого горіння	високі витрати на попередню обробку/обслуговування
Газифікація – рідкий шар	<ul style="list-style-type: none"> • змішані пластмасові відходи; • подрібнені ТПВ; • залишки подрібнювача; • осади; • відходи, багаті металами; • інші подібні послідовні потоки; • газифікація менш широко використовується/доведена, ніж спалювання; 	5 – 20 т/год	<ul style="list-style-type: none"> • може використовувати низькі температури реактора; • відокремлення горючих негорючих речовин; • може ефективно поєднуватися з плавленням золи; • знижене окислення металів, що підлягають вторинній переробці; 	<ul style="list-style-type: none"> • обмежений розмір відходів (<30 см); • менш широко доведено; 	<ul style="list-style-type: none"> • у поєднанні з камерою для плавлення золи – зола перевіряється; • якість золи без камери – інформація не надається; 	нижчий, ніж для прямого горіння	нижча, ніж інших газифікаторів
Піроліз – короткий барабан	<ul style="list-style-type: none"> • тільки попередньо оброблені ТПВ; 	~ 5 т/год	<ul style="list-style-type: none"> • відсутність окислення металів; • відсутність енергії згоряння металів; • можлива нейтралізація реакторної кислоти; 	<ul style="list-style-type: none"> • обмежені відходи; • необхідне управління процесом; • високий рівень кваліфікації; • широко не доведено; 	<ul style="list-style-type: none"> • залежно від температури процесу; • отриманий залишок вимагає подальшої обробки, іноді спалювання; 	дуже низький через низький надлишок повітря, необхідного для горіння газу	висока підготовка, експлуатація та капітальні витрати
Піроліз – середній барабан	<ul style="list-style-type: none"> • високі інертні потоки металу; • залишки подрібнювача/пластмас; • піроліз менш широко використовується/ доведений, ніж спалювання; 	5 – 10 т/год					

2.3 Вибір оптимальної технології утилізації відходів

У даному дослідженні ефективність п'яти альтернативних методів обробки відходів була оцінена на основі 8 критеріїв. Кроки для застосування методу ієрархічного аналізу були наступні. Попарне порівняння критеріїв достовірності за дев'ятибальною шкалою з додаванням даних у відповідну матрицю розміром $(n \times n)$. Елементом матриці $a(i, j)$ є інтенсивність прояву елемента ієрархії i щодо елемента ієрархії j , яка оцінюється за шкалою інтенсивності від 1 до 9 [42], де оцінки мають значення, наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Призначення інтенсивності

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
0	варіанти не можна порівнювати
1	рівна важливість
3	помірна перевагу одного над іншим
5	істотна або сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже велика перевага
2,4,6,8	проміжні рішення між двома сусідніми судженнями

При парному основних технологій утилізації ТПВ зазвичай задають такі питання: яке з них є більш важливим або більш значущим; що більш ймовірно; який має більшу перевагу тощо.

Результатом є матриця парних порівнянь порядку A . В процесі заповнення матриці, якщо елемент i важливіше елемента j , клітинка (i, j) , відповідна рядку i і стовпцю j , заповнюється цілим числом, а якщо елемент j важливіше елемента i , то клітинка (i, j) заповнюється дробовим числом.

Щоб обчислити власні вектори відповідно до даного методу, необхідно перемножити елементи в кожному рядку і взяти корінь n -го ступеня, де n - кількість елементів. Результуючий стовпець чисел був нормалізований шляхом ділення

кожного числа на суму всіх чисел. Інший спосіб - нормалізувати елементи кожного стовпця матриці і потім усереднити кожен рядок. Ранжування елементів, які аналізуються з використанням матриці парного порівняння, засноване на обчисленнях основного власного вектора даної матриці. Головний власний вектор визначається рівністю [43, 44] $AW = \lambda_{\max} W$, де λ_{\max} - максимальне власне значення матриці A .

Індекс узгодженості (позначення «ІУ») в кожній матриці і для всієї ієрархії можна розрахувати наступним чином. Спочатку додається кожен стовпець суджень, потім сума першого стовпця збільшується на значення першого компонента нормалізованого вектора пріоритету, сума другого стовпця збільшується на другий компонент і т.д. Потім отримані числа складаються разом. Таким чином, ми можемо отримати значення, що позначається λ_{\max} . Для індексу узгодженості маємо $IU = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$, де n - кількість елементів для порівняння. Для оберненосиметричної матриці завжди $\lambda_{\max} \geq n$.

Загальні умови для всіх технологій наступні: мінімальна температура згоряння 850°C ; мінімальний час перебування вихлопних газів дві секунди після останньої подачі повітря для горіння; оптимальний вміст кисню (\sim менше 6%); вміст окису вуглецю у вихлопних газах є ключовим показником якості згоряння; димові гази обробляються багатоступінчастою системою очищення.

Починаючи оцінку доцільності впровадження конкретної технології поводження з відходами, вирішуються два завдання:

1. Вибрати технології обробки відходів.
2. Розробити систему критеріїв, за якими буде проводитися аналіз.

Для спалювання відходів використовується кілька типів обладнання: спалювання в обертових печах – S_1 , термічна обробка з використанням піролізу – S_2 , спалювання в киплячому шарі – S_3 , спалювання на механічних колосникових решітках – S_4 , спалювання на металургійних або цементних печах – S_5 . Варіанти для аналізу за кількома критеріями:

$$S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, \}$$
 (1)

Критерії, за якими були оцінені варіанти:

C_1 – найменший рівень негативного впливу на навколишнє середовище;

C_2 – незалежність ефективності спалювання від попередньої підготовки чи сортування сміття (необхідність подрібнення і підвищення однорідності);

C_3 – здатність генерувати тепло і електрику для різних систем використання;

C_4 – складність обладнання (простота обслуговування, надійна експлуатація);

C_5 – кількість утворених відходів, обсяг димових газів (спалювання твердих відходів; ступінь концентрації);

C_6 – зона установки обладнання;

C_7 – вартість обладнання;

C_8 – суспільне визнання (громадська думка).

Таким чином маємо множину критеріїв, за якими оцінювались варіанти технологій:

$$C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8\} \quad (2)$$

Варіанти технологій термічної обробки, критерії, за якими оцінювались дані варіанти та основні характеристики технологій наведено в табл. 2.6 [45 - 59].

Таблиця 2.6 – Варіанти технологій термічної обробки із вказаними характеристиками

Критерії (1-8)	Варіанти технології термічної обробки відходів				
	Спалювання в барабанних (обертових) печах	Термічна обробка з використанням піролізу (газифікації)	Спалювання в киплячому шарі	Спалювання на механічних колосникових решітках	Спалювання в металургійних або цементних печах
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
1	2	3	4	5	6
1 Найменший рівень негативного впливу на навколишнє середовище	Повільне обертання барабана дозволяє отримати час обробки від 30 до 90 хвилин. Температури між 850 і 1000° С достатні для знищення небезпечних відходів, які не містять хлор. Для руйнування хлоровмісних відходів необхідна температура від 1100 до 1200 °	Топкові гази, що утворюються в піролізних установках містять менше пилу, ніж в звичайних установках для спалювання, але тут витрачається більше допоміжного палива і, отже, обсяги вихідних газів великі	Частинки можуть проскакувати і залишатися в шарі довше, ніж середній час перебування. Можливе зниження викидів SO ₂ за допомогою вапняку і забезпечення відносно низького рівню NO _x через низьку температуру згоряння	Можливе спалювання медичних відходів. Якщо заражені відходи спалюються в цих духовках, їх необхідно попередньо дезінфікувати і стерилізувати або поміщати в печі в спеціально самозавантажувальні контейнери	При 1700 ° С вміст шкідливих речовин може бути зведений до мінімуму, але поліциклічні ароматичні вуглеводні можуть бути утворені на виході з установки

Продовження табл. 2.6

1	2	3	4	5	6
2 Незалежність ефективності спалювання від попередньої підготовки чи сортування сміття (необхідність подібнення і підвищення однорідності)	<p>Вимоги до складу і властивостей сировини менш суворі, ніж при будь-якому іншому способі спалювання. Можна спалювати відходи з високою зольністю і вологістю. Хороші умови теплообміну створюються від нагрітих газів до оброблюваного матеріалу. Фактично всі відходи, незалежно від типу і складу, можуть бути видалені</p>	<p>Неефективний при роботі з різнорідними відходами, таких як ТПВ, що вимагають високих витрат на попереднє сортування</p>	<p>Не можуть бути спалені ТПВ з низькими температурами плавлення золи. Важкі фізичні домішки (металеві частинки у відходах) можуть потрапляти на повітророзподільну плиту, заважати флюїдизації і їх важко видалити з печі. Існують обмеження щодо розподілу часток за розміром і теплотворної здатності ТПВ</p>	<p>Наявність металевих частинок в відходах при високих температурах ускладнює роботу решіток і вимагає додаткового очищення</p>	<p>Вимоги до складу і властивостей сировини менш суворі, ніж для багатьох інших методів спалювання. Але коли токсичні компоненти потрапляють у відходи, існує можливість попадання токсичних газів в атмосферу</p>
3 Здатність генерувати тепло і електрику для різних систем використання	<p>Забезпечує значну кількість енергії у вигляді пари і/або електрики, яка чистіша, ніж енергія від нафти, вугілля або природного газу</p>	<p>Низька енергоефективність в порівнянні зі звичайним спалюванням. Через високий вміст горючих речовин в твердих залишках під час піролізу рівень витрати палива приблизно в 1,6 рази нижче, ніж у випадку звичайного згоряння</p>	<p>Споживання значної кількості енергоресурсів самою установкою</p>	<p>Відносно великі втрати тепла при механічному (7-14%) і хімічному (до 2-5%) недопалі</p>	<p>Неможливо отримувати тепло і електроенергію (основні виробничі підрозділи зазвичай не оснащені системами утилізації тепла, за винятком тепла для технологічних цілей)</p>

Продовження табл. 2.6

1	2	3	4	5	6
4 Складність обладнання (простота обслуговування, надійна експлуатація)	Характеризується механічною надійністю. Однак використання дорогих термо і хімічно стійких футеровок в барабанних печах призводить до підвищення питомих витрат і витрат на технічне обслуговування	Високі вимоги до системи управління технологічним процесом з метою уникнення аварійних ситуацій	Порівняно складне устаткування, що забезпечує режим псевдозрідження оброблюваного матеріалу	Можливість використання готового існуючого обладнання, наявність обертових елементів в зоні високої температури	Можливість використання існуючих печей у виробництві. Однак основні виробничі печі є досить складними пристроями
5 Кількість утворених відходів, обсяг димових газів (спалювання твердих відходів; ступінь концентрації)	Хороша повнота вигорання ТПВ. Кількість зольного залишку становить 5 ÷ 10% від початкового об'єму відходів, низький вміст пилу в газах. Повне згоряння органічного компонента і прожарювання шлаку, що можливо тільки в барабанній печі	Задовільна повнота вигорання ТПВ. Важкі метали не плавляться, а виходять зі шлаком	Задовільна повнота вигорання ТПВ. Однак існує ймовірність з'єднання і прилипання твердих речовин	Добра повнота вигорання ТПВ. Можливий недопал, утворення токсичного шлаку, проскакування дрібних деталей в просторі шасі	Добра повнота вигорання ТПВ. Залишки є частиною продукту (цементу) або можуть бути використані в якості флюсу (в металургії)

Продовження табл. 2.6

1	2	3	4	5	6
6 Зона установки обладнання	Невеликий простір, необхідний для організації виробництва	Відносно невелика площа, необхідна для організації виробництва	Велика площа, необхідна для організації виробництва	Велика площа, необхідна для організації виробництва	Невеликий простір, необхідний для організації виробництва. Основне виробництво (металургійне або цементне) не є компактним, але додатковий простір для організації спалювання ТПВ невеликий)
7 Вартість обладнання	Невеликі початкові інвестиції; залежність вартості від виробничих потужностей	Помірні початкові вкладення, проте потрібен кваліфікований персонал	Помірні початкові вкладення, проте потрібен кваліфікований персонал	Помірні початкові інвестиції, необхідність ремонтування обладнання після спалювання несортованих ТПВ	Невеликі початкові інвестиції; вартісна залежність від потужності. Економічні переваги при низьких витратах на обробку завдяки використанню існуючого обладнання
8 Суспільне визнання (громадська думка)	Нейтральне ставлення	Нейтральне ставлення. Існують негативні приклади піролізної установки для обробки автомобільних шин з недостатнім і неконтрольованим очищенням	Нейтральне ставлення	Помірно нейтральне ставлення. Технологія зрозуміла населенню, оскільки схожа з технологією спалювання твердого палива в топках котлів і печах для опалювання в приватних будинках	Нейтральне ставлення. Спалювання ТПВ в металургійних або цементних печах може негативно сприйматися персоналом, що працює на існуючому металургійному цементному виробництві

Власний вектор матриці позначається: $AC11 = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix}$ (3)

де $a_0, a_1, a_3 \dots a_n$ – значення компонентів власного вектора матриці.

Визначається середнє геометричне значення для кожного рядка матриці парних порівнянь:

$$AC11 := \begin{pmatrix} \sqrt[5]{AC1_{00} \cdot AC1_{01} \cdot AC1_{02} \cdot AC1_{03} \cdot AC1_{04}} \\ \sqrt[5]{AC1_{10} \cdot AC1_{11} \cdot AC1_{12} \cdot AC1_{13} \cdot AC1_{14}} \\ \sqrt[5]{AC1_{20} \cdot AC1_{21} \cdot AC1_{22} \cdot AC1_{23} \cdot AC1_{24}} \\ \sqrt[5]{AC1_{30} \cdot AC1_{31} \cdot AC1_{32} \cdot AC1_{33} \cdot AC1_{34}} \\ \sqrt[5]{AC1_{40} \cdot AC1_{41} \cdot AC1_{42} \cdot AC1_{43} \cdot AC1_{44}} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Визначається сума елементів цього стовпчика: $\sum AC11$ (5)

Потім був визначений локальний вектор пріоритету, який буде показувати значення критеріїв що порівнюються. Елемент вектора пріоритету визначається як відношення компоненти вектора матриці до суми значень його компонентів:

$$AC11 := \begin{pmatrix} \frac{AC11_0}{\sum AC11} \\ \frac{AC11_1}{\sum AC11} \\ \frac{AC11_2}{\sum AC11} \\ \frac{AC11_3}{\sum AC11} \\ \frac{AC11_4}{\sum AC11} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Далі узгодженість оцінок визначається шляхом визначення коефіцієнта узгодженості (ВУ) [60].

$$ВУ = \frac{IY}{CY} \leq 0,2 \quad (7)$$

де ВУ – відношення узгодженості,

IY – індекс узгодженості,

CY – значення, що відповідає середній випадковій узгодженості матриці даного порядку (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Середня узгодженість випадкових матриць

Розмір матриці	Випадкова узгодженість
1,2	0
3	0,58
4	0,9
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

Індекс узгодженості можна визначити за такою формулою [60]:

$$IU = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

де n – число елементів, що порівнюються,

λ_{max} – розрахункова величина.

Щоб обчислити λ_{max} , суму кожного стовпця матриці множать на відповідний компонент вектора пріоритету. Це можна умовно представити в наступному вигляді:

$$\lambda_{max} := \sum AC1^{(0)} \cdot AC111_0 + \sum AC1^{(1)} \cdot AC111_1 + \sum AC1^{(2)} \cdot AC111_2 + \sum AC1^{(3)} \cdot AC111_3 + \sum AC1^{(4)} \cdot AC111_4 = 5.196 \quad (9)$$

де $\sum AC1^{(0)} \sum AC1^{(1)} \sum AC1^{(2)} \sum AC1^{(3)} \sum AC1^{(4)}$ – сума елементів відповідних стовпців матриці.

Кількість порівнюваних елементів (варіантів), $n = 5$.

Якщо IU не перевищує 0,2 (20%), результати опитування можуть бути використані в подальших розрахунках.

Отримані значення вектору пріоритету ($AC111$) представляють собою систему локальних критеріїв, на основі яких обчислюється глобальний пріоритет для кожного варіанта [41, 60].

$$P_{jr} := \sum_{i=1}^5 (P_j(i) \cdot w(i)) \quad (10)$$

де $P_j(i)$ – пріоритет j -ї альтернативи згідно i -му критерію,

$w(i)$ – значення i -го критерію.

Глобальні пріоритети розраховуються:

$$\begin{aligned} P_0 := & (AC111_0 \cdot W1) + (AC222_0 \cdot W2) + (AC333_0 \cdot W3) + AC444_0 \cdot W4 \\ & + (AC555_0 \cdot W5) + (AC666_0 \cdot W6) + (AC777_0 \cdot W7) + (AC888_0 \cdot W8) \end{aligned} \quad (11)$$

Вектор глобальних пріоритетів:

$$P_{jr} := \begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{pmatrix} \quad (12)$$

де P_0 – спалювання в обертових печах,

P_1 – термічна обробка з використанням піролізу,

P_2 – спалювання в киплячому шарі,

P_3 – спалювання на механічних колосникових решітках,

P_4 – спалювання на металургійних або цементних печах.

Найвище значення глобального пріоритету визначає кращий варіант відповідно до багатокритеріального методу оцінки.

Розрахунок для першого критерію – найменший рівень негативного впливу на навколишнє середовище.

1. Заповнення матриці парних порівнянь.

$$\begin{array}{ccccc} AC1_{00} := 1 & AC1_{01} := 4 & AC1_{02} := 3 & AC1_{03} := 5 & AC1_{04} := 6 \\ AC1_{10} := \frac{1}{AC1_{01}} & AC1_{11} := 1 & AC1_{12} := \frac{1}{2} = 0.5 & AC1_{13} := 3 & AC1_{14} := 2 \\ AC1_{20} := \frac{1}{AC1_{02}} & AC1_{21} := \frac{1}{AC1_{12}} & AC1_{22} := 1 & AC1_{23} := 1 & AC1_{24} := 1 \\ AC1_{30} := \frac{1}{AC1_{03}} & AC1_{31} := \frac{1}{AC1_{13}} & AC1_{32} := \frac{1}{AC1_{23}} & AC1_{33} := 1 & AC1_{34} := 1 \\ AC1_{40} := \frac{1}{AC1_{04}} & AC1_{41} := \frac{1}{AC1_{14}} & AC1_{42} := \frac{1}{AC1_{24}} & AC1_{43} := \frac{1}{AC1_{34}} & AC1_{44} := 1 \end{array}$$

$$AC1 := \begin{pmatrix} 1 & AC1_{01} & AC1_{02} & AC1_{03} & AC1_{04} \\ AC1_{10} & 1 & AC1_{12} & AC1_{13} & AC1_{14} \\ AC1_{20} & AC1_{21} & 1 & AC1_{23} & AC1_{24} \\ AC1_{30} & AC1_{31} & AC1_{32} & 1 & AC1_{34} \\ AC1_{40} & AC1_{41} & AC1_{42} & AC1_{43} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 3 & 5 & 6 \\ 0.25 & 1 & 0.5 & 3 & 2 \\ 0.333 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 0.2 & 0.333 & 1 & 1 & 1 \\ 0.167 & 0.5 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

2. Визначення середнього геометричного значення по кожному рядку матриці.

$$AC11 := \begin{pmatrix} \sqrt[5]{AC1_{00} \cdot AC1_{01} \cdot AC1_{02} \cdot AC1_{03} \cdot AC1_{04}} \\ \sqrt[5]{AC1_{10} \cdot AC1_{11} \cdot AC1_{12} \cdot AC1_{13} \cdot AC1_{14}} \\ \sqrt[5]{AC1_{20} \cdot AC1_{21} \cdot AC1_{22} \cdot AC1_{23} \cdot AC1_{24}} \\ \sqrt[5]{AC1_{30} \cdot AC1_{31} \cdot AC1_{32} \cdot AC1_{33} \cdot AC1_{34}} \\ \sqrt[5]{AC1_{40} \cdot AC1_{41} \cdot AC1_{42} \cdot AC1_{43} \cdot AC1_{44}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.245 \\ 0.944 \\ 0.922 \\ 0.582 \\ 0.608 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} AC11_0 &:= 3.245 \\ AC11_1 &:= 0.944 \\ AC11_2 &:= 0.922 \\ AC11_3 &:= 0.582 \\ AC11_4 &:= 0.608 \end{aligned}$$

3. Знаходження суми елементів середніх значень $\sum AC11 = 6.302$

4. Визначення вектора локальних пріоритетів.

$$AC111 := \begin{pmatrix} \frac{AC11_0}{\sum AC11} \\ \frac{AC11_1}{\sum AC11} \\ \frac{AC11_2}{\sum AC11} \\ \frac{AC11_3}{\sum AC11} \\ \frac{AC11_4}{\sum AC11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.515 \\ 0.15 \\ 0.146 \\ 0.092 \\ 0.096 \end{pmatrix}$$

$$AC111_0 := 0.515$$

$$AC111_1 := 0.15$$

$$AC111_2 := 0.146$$

$$AC111_3 := 0.092$$

$$AC111_4 := 0.096$$

5. Знаходження суми елементів відповідних стовпців матриці.

$$\sum AC1^{(0)} = 1.95$$

$$\sum AC1^{(1)} = 7.833$$

$$\sum AC1^{(2)} = 6.5$$

$$\sum AC1^{(3)} = 11$$

$$\sum AC1^{(4)} = 11$$

6. Визначення розрахункової величини λ_{max} .

$$\lambda_1 := \sum AC1^{(0)} \cdot AC111_0 + \sum AC1^{(1)} \cdot AC111_1 + \sum AC1^{(2)} \cdot AC111_2 + \sum AC1^{(3)} \cdot AC111_3 + \sum AC1^{(4)} \cdot AC111_4 = 5.196$$

$$\lambda_{max} := \lambda_1 \quad n := 5$$

7. Розрахунок індексу узгодженості

$$IY = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5.196 - 5}{5 - 1} = 0.049$$

7. Розрахунок відношення узгодженості.

СУ=1,12 – згідно таблиці 2.3.

$$ВУ = \frac{IY}{СУ} = \frac{0.049}{1.12} = 0.044$$

Результат: розраховано вектор локальних пріоритетів для даного критерію на відношення його узгодженості.

Розрахунок для другого критерію – незалежність ефективності спалювання від попередньої підготовки чи сортування сміття (необхідність подрібнення і підвищення однорідності).

$$\begin{array}{lllll}
AC2_{00} := 1 & AC2_{01} := 6 & AC2_{02} := 4 & AC2_{03} := 4 & AC2_{04} := 2 \\
AC2_{10} := \frac{1}{AC2_{01}} & AC2_{11} := 1 & AC2_{12} := \frac{1}{2} = 0.5 & AC2_{13} := 1 & AC2_{14} := \frac{1}{4} = 0.25 \\
AC2_{20} := \frac{1}{AC2_{02}} & AC2_{21} := \frac{1}{AC2_{12}} & AC2_{22} := 1 & AC2_{23} := \frac{1}{3} = 0.333 & AC2_{24} := \frac{1}{4} \\
AC2_{30} := \frac{1}{AC2_{03}} & AC2_{31} := \frac{1}{AC2_{13}} & AC2_{32} := \frac{1}{AC2_{23}} & AC2_{33} := 1 & AC2_{34} := \frac{1}{4} \\
AC2_{40} := \frac{1}{AC2_{04}} & AC2_{41} := \frac{1}{AC2_{14}} & AC2_{42} := \frac{1}{AC2_{24}} & AC2_{43} := \frac{1}{AC2_{34}} & AC2_{44} := 1
\end{array}$$

$$AC2 := \begin{pmatrix} AC2_{00} & AC2_{01} & AC2_{02} & AC2_{03} & AC2_{04} \\ AC2_{10} & AC2_{11} & AC2_{12} & AC2_{13} & AC2_{14} \\ AC2_{20} & AC2_{21} & AC2_{22} & AC2_{23} & AC2_{24} \\ AC2_{30} & AC2_{31} & AC2_{32} & AC2_{33} & AC2_{34} \\ AC2_{40} & AC2_{41} & AC2_{42} & AC2_{43} & AC2_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 4 & 4 & 2 \\ 0.167 & 1 & 0.5 & 1 & 0.25 \\ 0.25 & 2 & 1 & 0.333 & 0.25 \\ 0.25 & 1 & 3 & 1 & 0.25 \\ 0.5 & 4 & 4 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$

$$AC22 := \begin{pmatrix} \sqrt[5]{AC2_{00} \cdot AC2_{01} \cdot AC2_{02} \cdot AC2_{03} \cdot AC2_{04}} \\ \sqrt[5]{AC2_{10} \cdot AC2_{11} \cdot AC2_{12} \cdot AC2_{13} \cdot AC2_{14}} \\ \sqrt[5]{AC2_{20} \cdot AC2_{21} \cdot AC2_{22} \cdot AC2_{23} \cdot AC2_{24}} \\ \sqrt[5]{AC2_{30} \cdot AC2_{31} \cdot AC2_{32} \cdot AC2_{33} \cdot AC2_{34}} \\ \sqrt[5]{AC2_{40} \cdot AC2_{41} \cdot AC2_{42} \cdot AC2_{43} \cdot AC2_{44}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.862 \\ 0.461 \\ 0.53 \\ 0.715 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$AC22_0 := 2.862$$

$$AC22_1 := 0.461$$

$$AC22_2 := 0.53$$

$$AC22_3 := 0.715$$

$$AC22_4 := 2$$

$$\sum AC22 = 6.568$$

$$AC222 := \begin{pmatrix} \frac{AC22_0}{\sum AC22} \\ \frac{AC22_1}{\sum AC22} \\ \frac{AC22_2}{\sum AC22} \\ \frac{AC22_3}{\sum AC22} \\ \frac{AC22_4}{\sum AC22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.436 \\ 0.07 \\ 0.081 \\ 0.109 \\ 0.305 \end{pmatrix}$$

$$AC222_0 := 0.436$$

$$AC222_1 := 0.07$$

$$AC222_2 := 0.081$$

$$AC222_3 := 0.109$$

$$AC222_4 := 0.305$$

$$\sum AC2^{\langle 0 \rangle} = 2.167$$

$$\sum AC2^{\langle 1 \rangle} = 14$$

$$\sum AC2^{\langle 2 \rangle} = 12.5$$

$$\sum AC2^{\langle 3 \rangle} = 10.333$$

$$\sum AC2^{\langle 4 \rangle} = 3.75$$

$$\lambda_2 := \sum AC2^{\langle 0 \rangle} \cdot AC222_0 + \sum AC2^{\langle 1 \rangle} \cdot AC222_1 + \sum AC2^{\langle 2 \rangle} \cdot AC222_2 + \sum AC2^{\langle 3 \rangle} \cdot AC222_3 + \sum AC2^{\langle 4 \rangle} \cdot AC222_4 = 5.207$$

$$n := 5$$

$$IY = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5.207 - 5}{5 - 1} = 0.052$$

$$CY = 1.12$$

$$BY = \frac{IY}{CY} = \frac{0.052}{1.12} = 0.046$$

Розрахунок для третього критерію – здатність генерувати тепло і електрику для різних систем використання.

$AC3_{00} := 1$	$AC3_{01} := 8$	$AC3_{02} := 3$	$AC3_{03} := 4$	$AC3_{04} := 9$
$AC3_{10} := \frac{1}{AC3_{01}}$	$AC3_{11} := 1$	$AC3_{12} := \frac{1}{3} = 0.333$	$AC3_{13} := \frac{1}{3} = 0.333$	$AC3_{14} := 4$
$AC3_{20} := \frac{1}{AC3_{02}}$	$AC3_{21} := \frac{1}{AC3_{12}}$	$AC3_{22} := 1$	$AC3_{23} := 1$	$AC3_{24} := 4$
$AC3_{30} := \frac{1}{AC3_{03}}$	$AC3_{31} := \frac{1}{AC3_{13}}$	$AC3_{32} := \frac{1}{AC3_{23}}$	$AC3_{33} := 1$	$AC3_{34} := 3$
$AC3_{40} := \frac{1}{AC3_{04}}$	$AC3_{41} := \frac{1}{AC3_{14}}$	$AC3_{42} := \frac{1}{AC3_{24}}$	$AC3_{43} := \frac{1}{AC3_{34}}$	$AC3_{44} := 1$

$$AC3 := \begin{pmatrix} AC3_{00} & AC3_{01} & AC3_{02} & AC3_{03} & AC3_{04} \\ AC3_{10} & AC3_{11} & AC3_{12} & AC3_{13} & AC3_{14} \\ AC3_{20} & AC3_{21} & AC3_{22} & AC3_{23} & AC3_{24} \\ AC3_{30} & AC3_{31} & AC3_{32} & AC3_{33} & AC3_{34} \\ AC3_{40} & AC3_{41} & AC3_{42} & AC3_{43} & AC3_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 8 & 3 & 4 & 9 \\ 0.125 & 1 & 0.333 & 0.333 & 4 \\ 0.333 & 3 & 1 & 1 & 4 \\ 0.25 & 3 & 1 & 1 & 3 \\ 0.111 & 0.25 & 0.25 & 0.333 & 1 \end{pmatrix}$$

$$AC33 := \begin{pmatrix} \sqrt[5]{AC3_{00} \cdot AC3_{01} \cdot AC3_{02} \cdot AC3_{03} \cdot AC3_{04}} \\ \sqrt[5]{AC3_{10} \cdot AC3_{11} \cdot AC3_{12} \cdot AC3_{13} \cdot AC3_{14}} \\ \sqrt[5]{AC3_{20} \cdot AC3_{21} \cdot AC3_{23} \cdot AC3_{23} \cdot AC3_{24}} \\ \sqrt[5]{AC3_{30} \cdot AC3_{31} \cdot AC3_{32} \cdot AC3_{33} \cdot AC3_{34}} \\ \sqrt[5]{AC3_{40} \cdot AC3_{41} \cdot AC3_{42} \cdot AC3_{43} \cdot AC3_{44}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.866 \\ 0.561 \\ 1.32 \\ 1.176 \\ 0.297 \end{pmatrix}$$

$$AC33_0 := 3.866$$

$$AC33_1 := 0.561$$

$$AC33_2 := 1.32$$

$$AC33_3 := 1.176$$

$$AC33_4 := 0.297$$

$$\sum AC33 = 7.22$$

$$AC333 := \begin{pmatrix} \frac{AC33_0}{\sum AC33} \\ \frac{AC33_1}{\sum AC33} \\ \frac{AC33_2}{\sum AC33} \\ \frac{AC33_3}{\sum AC33} \\ \frac{AC33_4}{\sum AC33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.535 \\ 0.078 \\ 0.183 \\ 0.163 \\ 0.041 \end{pmatrix}$$

$$AC333_0 := 0.535$$

$$AC333_1 := 0.078$$

$$AC333_2 := 0.183$$

$$AC333_3 := 0.163$$

$$AC333_4 := 0.041$$

$$\sum AC3^{\langle 0 \rangle} = 1.819$$

$$\sum AC3^{\langle 1 \rangle} = 15.25$$

$$\sum AC3^{\langle 2 \rangle} = 5.583$$

$$\sum AC3^{\langle 3 \rangle} = 6.667$$

$$\sum AC3^{\langle 4 \rangle} = 21$$

$$\lambda_3 := \sum AC3^{(0)} \cdot AC333_0 + \sum AC3^{(1)} \cdot AC333_1 + \sum AC3^{(2)} \cdot AC333_2 + \sum AC3^{(3)} \cdot AC333_3 + \sum AC3^{(4)} \cdot AC333_4 = 5.021$$

$$n := 5$$

$$IY = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5.021 - 5}{5 - 1} = 0.05163$$

$$CY = 1.12$$

$$BY = \frac{IY}{CY} = \frac{0.005163}{1.12} = 0.04569$$

Розрахунок для четвертого критерію – складність обладнання (простота обслуговування, надійна експлуатація).

$AC4_{00} := 1$	$AC4_{01} := 7$	$AC4_{02} := 5$	$AC4_{03} := 3$	$AC4_{04} := 4$
$AC4_{10} := \frac{1}{AC4_{01}}$	$AC4_{11} := 1$	$AC4_{12} := 1$	$AC4_{13} := \frac{1}{4} = 0.25$	$AC4_{14} := \frac{1}{2}$
$AC4_{20} := \frac{1}{AC4_{02}}$	$AC4_{21} := \frac{1}{AC4_{12}}$	$AC4_{22} := 1$	$AC4_{23} := \frac{1}{3} = 0.333$	$AC4_{24} := 1$
$AC4_{30} := \frac{1}{AC4_{03}}$	$AC4_{31} := \frac{1}{AC4_{13}}$	$AC4_{32} := \frac{1}{AC4_{23}}$	$AC4_{33} := 1$	$AC4_{34} := 3$
$AC4_{40} := \frac{1}{AC4_{04}}$	$AC4_{41} := \frac{1}{AC4_{14}}$	$AC4_{42} := \frac{1}{AC4_{24}}$	$AC4_{43} := \frac{1}{AC4_{34}}$	$AC4_{44} := 1$

$$AC4 := \begin{pmatrix} AC4_{00} & AC4_{01} & AC4_{02} & AC4_{03} & AC4_{04} \\ AC4_{10} & AC4_{11} & AC4_{12} & AC4_{13} & AC4_{14} \\ AC4_{20} & AC4_{21} & AC4_{22} & AC4_{23} & AC4_{24} \\ AC4_{30} & AC4_{31} & AC4_{32} & AC4_{33} & AC4_{34} \\ AC4_{40} & AC4_{41} & AC4_{42} & AC4_{43} & AC4_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 5 & 3 & 4 \\ 0.143 & 1 & 1 & 0.25 & 0.5 \\ 0.2 & 1 & 1 & 0.333 & 1 \\ 0.333 & 4 & 3 & 1 & 3 \\ 0.25 & 2 & 1 & 0.333 & 1 \end{pmatrix}$$

$$AC44 := \begin{pmatrix} \sqrt[5]{AC4_{00} \cdot AC4_{01} \cdot AC4_{02} \cdot AC4_{03} \cdot AC4_{04}} \\ \sqrt[5]{AC4_{10} \cdot AC4_{11} \cdot AC4_{12} \cdot AC4_{13} \cdot AC4_{14}} \\ \sqrt[5]{AC4_{20} \cdot AC4_{21} \cdot AC4_{22} \cdot AC4_{23} \cdot AC4_{24}} \\ \sqrt[5]{AC4_{30} \cdot AC4_{31} \cdot AC4_{32} \cdot AC4_{33} \cdot AC4_{34}} \\ \sqrt[5]{AC4_{40} \cdot AC4_{41} \cdot AC4_{42} \cdot AC4_{43} \cdot AC4_{44}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.347 \\ 0.447 \\ 0.582 \\ 1.644 \\ 0.699 \end{pmatrix}$$

$$AC44_0 := 3.347$$

$$AC44_1 := 0.447$$

$$AC44_2 := 0.582$$

$$AC44_3 := 1.644$$

$$AC44_4 := 0.699$$

$$\sum \text{AC44} = 6.718$$

$$\text{AC444} := \begin{pmatrix} \frac{\text{AC44}_0}{\sum \text{AC44}} \\ \frac{\text{AC44}_1}{\sum \text{AC44}} \\ \frac{\text{AC44}_2}{\sum \text{AC44}} \\ \frac{\text{AC44}_3}{\sum \text{AC44}} \\ \frac{\text{AC44}_4}{\sum \text{AC44}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.498 \\ 0.067 \\ 0.087 \\ 0.245 \\ 0.104 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{AC444}_0 &:= 0.498 \\ \text{AC444}_1 &:= 0.067 \\ \text{AC444}_2 &:= 0.087 \\ \text{AC444}_3 &:= 0.245 \\ \text{AC444}_4 &:= 0.104 \end{aligned}$$

$$\sum \text{AC4}^{\langle 0 \rangle} = 1.926$$

$$\sum \text{AC4}^{\langle 1 \rangle} = 15$$

$$\sum \text{AC4}^{\langle 2 \rangle} = 11$$

$$\sum \text{AC4}^{\langle 3 \rangle} = 4.917$$

$$\sum \text{AC4}^{\langle 4 \rangle} = 9.5$$

$$\lambda_4 := \sum \text{AC4}^{\langle 0 \rangle} \cdot \text{AC444}_0 + \sum \text{AC4}^{\langle 1 \rangle} \cdot \text{AC444}_1 + \sum \text{AC4}^{\langle 2 \rangle} \cdot \text{AC444}_2 + \sum \text{AC4}^{\langle 3 \rangle} \cdot \text{AC444}_3 + \sum \text{AC4}^{\langle 4 \rangle} \cdot \text{AC444}_4 = 5.301$$

$$n := 5$$

$$\text{IY} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5.301 - 5}{5 - 1} = 0.075$$

$$\text{CY} = 1.12$$

$$\text{BY} = \frac{\text{IY}}{\text{CY}} = \frac{0.075}{1.12} = 0.066$$

Розрахунок для п'ятого критерію – кількість утворених відходів, обсяг димових газів (спалювання твердих відходів; ступінь концентрації).

$$\begin{aligned}
 AC5_{00} &:= 1 & AC5_{01} &:= 5 & AC5_{02} &:= 5 & AC5_{03} &:= 3 & AC5_{04} &:= \frac{1}{2} \\
 AC5_{10} &:= \frac{1}{AC5_{01}} & AC5_{11} &:= 1 & AC5_{12} &:= 1 & AC5_{13} &:= \frac{1}{3} = 0.333 & AC5_{14} &:= \frac{1}{4} \\
 AC5_{20} &:= \frac{1}{AC5_{02}} & AC5_{21} &:= \frac{1}{AC5_{12}} & AC5_{22} &:= 1 & AC5_{23} &:= 1 & AC5_{24} &:= \frac{1}{3} = 0.333 \\
 AC5_{30} &:= \frac{1}{AC5_{03}} & AC5_{31} &:= \frac{1}{AC5_{13}} & AC5_{32} &:= \frac{1}{AC5_{23}} & AC5_{33} &:= 1 & AC5_{34} &:= \frac{1}{3} \\
 AC5_{40} &:= \frac{1}{AC5_{04}} & AC5_{41} &:= \frac{1}{AC5_{14}} & AC5_{42} &:= \frac{1}{AC5_{24}} & AC5_{43} &:= \frac{1}{AC5_{34}} & AC5_{44} &:= 1
 \end{aligned}$$

$$AC5 := \begin{pmatrix} AC5_{00} & AC5_{01} & AC5_{02} & AC5_{03} & AC5_{04} \\ AC5_{10} & AC5_{11} & AC5_{12} & AC5_{13} & AC5_{14} \\ AC5_{20} & AC5_{21} & AC5_{22} & AC5_{23} & AC5_{24} \\ AC5_{30} & AC5_{31} & AC5_{32} & AC5_{33} & AC5_{34} \\ AC5_{40} & AC5_{41} & AC5_{42} & AC5_{43} & AC5_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 5 & 3 & 0.5 \\ 0.2 & 1 & 1 & 0.333 & 0.25 \\ 0.2 & 1 & 1 & 1 & 0.333 \\ 0.333 & 3 & 1 & 1 & 0.333 \\ 2 & 4 & 3 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

$$AC55 := \begin{pmatrix} \sqrt[5]{AC5_{00} \cdot AC5_{01} \cdot AC5_{02} \cdot AC5_{03} \cdot AC5_{04}} \\ \sqrt[5]{AC5_{10} \cdot AC5_{11} \cdot AC5_{12} \cdot AC5_{13} \cdot AC5_{14}} \\ \sqrt[5]{AC5_{20} \cdot AC5_{21} \cdot AC5_{22} \cdot AC5_{23} \cdot AC5_{24}} \\ \sqrt[5]{AC5_{30} \cdot AC5_{31} \cdot AC5_{32} \cdot AC5_{33} \cdot AC5_{34}} \\ \sqrt[5]{AC5_{40} \cdot AC5_{41} \cdot AC5_{42} \cdot AC5_{43} \cdot AC5_{44}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.064 \\ 0.441 \\ 0.582 \\ 0.803 \\ 2.352 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 AC55_0 &:= 2.064 \\
 AC55_1 &:= 0.441 \\
 AC55_2 &:= 0.582 \\
 AC55_3 &:= 0.803 \\
 AC55_4 &:= 2.352
 \end{aligned}$$

$$\sum AC55 = 6.242$$

$$AC555 := \begin{pmatrix} \frac{AC55_0}{\sum AC55} \\ \frac{AC55_1}{\sum AC55} \\ \frac{AC55_2}{\sum AC55} \\ \frac{AC55_3}{\sum AC55} \\ \frac{AC55_4}{\sum AC55} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.331 \\ 0.071 \\ 0.093 \\ 0.129 \\ 0.377 \end{pmatrix}$$

$$AC555_0 := 0.331$$

$$AC555_1 := 0.071$$

$$AC555_2 := 0.093$$

$$AC555_3 := 0.129$$

$$AC555_4 := 0.377$$

$$\sum AC5^{\langle 0 \rangle} = 3.733$$

$$\sum AC5^{\langle 1 \rangle} = 14$$

$$\sum AC5^{\langle 2 \rangle} = 11$$

$$\sum AC5^{\langle 3 \rangle} = 8.333$$

$$\sum AC5^{\langle 4 \rangle} = 2.417$$

$$\lambda_5 := \sum AC5^{\langle 0 \rangle} \cdot AC555_0 + \sum AC5^{\langle 1 \rangle} \cdot AC555_1 + \sum AC5^{\langle 2 \rangle} \cdot AC555_2 + \sum AC5^{\langle 3 \rangle} \cdot AC555_3 + \sum AC5^{\langle 4 \rangle} \cdot AC555_4 = 5.239$$

$$n := 5$$

$$IY = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5.239 - 5}{5 - 1} = 0.06$$

$$CY = 1.12$$

$$BY = \frac{IY}{CY} = \frac{0.06}{1.12} = 0.052$$

Розрахунок для шостого критерію – зона установки обладнання.

$$\begin{array}{lllll}
AC6_{00} := 1 & AC6_{01} := 5 & AC6_{02} := 8 & AC6_{03} := 8 & AC6_{04} := 1 \\
AC6_{10} := \frac{1}{AC6_{01}} & AC6_{11} := 1 & AC6_{12} := 4 & AC6_{13} := 4 & AC6_{14} := \frac{1}{3} = 0.333 \\
AC6_{20} := \frac{1}{AC6_{02}} & AC6_{21} := \frac{1}{AC6_{12}} & AC6_{22} := 1 & AC6_{23} := 1 & AC6_{24} := \frac{1}{5} \\
AC6_{30} := \frac{1}{AC6_{03}} & AC6_{31} := \frac{1}{AC6_{13}} & AC6_{32} := \frac{1}{AC6_{23}} & AC6_{33} := 1 & AC6_{34} := \frac{1}{5} \\
AC6_{40} := \frac{1}{AC6_{04}} & AC6_{41} := \frac{1}{AC6_{14}} & AC6_{42} := \frac{1}{AC6_{24}} & AC6_{43} := \frac{1}{AC6_{34}} & AC6_{44} := 1
\end{array}$$

$$AC6 := \begin{pmatrix} AC6_{00} & AC6_{01} & AC6_{02} & AC6_{03} & AC6_{04} \\ AC6_{10} & AC6_{11} & AC6_{12} & AC6_{13} & AC6_{14} \\ AC6_{20} & AC6_{21} & AC6_{22} & AC6_{23} & AC6_{24} \\ AC6_{30} & AC6_{31} & AC6_{32} & AC6_{33} & AC6_{34} \\ AC6_{40} & AC6_{41} & AC6_{42} & AC6_{43} & AC6_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 8 & 8 & 1 \\ 0.2 & 1 & 4 & 4 & 0.333 \\ 0.125 & 0.25 & 1 & 1 & 0.2 \\ 0.125 & 0.25 & 1 & 1 & 0.2 \\ 1 & 3 & 5 & 5 & 1 \end{pmatrix}$$

$$AC66_0 := 3.17$$

$$AC66_1 := 1.012$$

$$AC66_2 := 0.366$$

$$AC66_3 := 0.366$$

$$AC66_4 := 6.371$$

$$\sum AC66 = 7.279$$

$$AC66 := \begin{pmatrix} \sqrt[5]{AC6_{00} \cdot AC6_{01} \cdot AC6_{02} \cdot AC6_{03} \cdot AC6_{04}} \\ \sqrt[5]{AC6_{10} \cdot AC6_{11} \cdot AC6_{12} \cdot AC6_{13} \cdot AC6_{14}} \\ \sqrt[5]{AC6_{20} \cdot AC6_{21} \cdot AC6_{22} \cdot AC6_{23} \cdot AC6_{24}} \\ \sqrt[5]{AC6_{30} \cdot AC6_{31} \cdot AC6_{32} \cdot AC6_{33} \cdot AC6_{34}} \\ \sqrt[5]{AC6_{40} \cdot AC6_{41} \cdot AC6_{42} \cdot AC6_{43} \cdot AC6_{44}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.17 \\ 1.013 \\ 0.362 \\ 0.362 \\ 2.371 \end{pmatrix}$$

$$AC666 := \begin{pmatrix} \frac{AC66_0}{\sum AC66} \\ \frac{AC66_1}{\sum AC66} \\ \frac{AC66_2}{\sum AC66} \\ \frac{AC66_3}{\sum AC66} \\ \frac{AC66_4}{\sum AC66} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.435 \\ 0.139 \\ 0.05 \\ 0.05 \\ 0.875 \end{pmatrix}$$

$$AC666_0 := 0.435$$

$$AC666_1 := 0.139$$

$$AC666_2 := 0.05$$

$$AC666_3 := 0.05$$

$$AC666_4 := 0.366$$

$$\sum AC6^{\langle 0 \rangle} = 2.45$$

$$\sum AC6^{\langle 1 \rangle} = 9.5$$

$$\sum AC6^{\langle 2 \rangle} = 19$$

$$\sum AC6^{\langle 3 \rangle} = 19$$

$$\sum AC6^{\langle 4 \rangle} = 2.733$$

$$\lambda_6 := \sum AC6^{\langle 0 \rangle} \cdot AC666_0 + \sum AC6^{\langle 1 \rangle} \cdot AC666_1 + \sum AC6^{\langle 2 \rangle} \cdot AC666_2 + \sum AC6^{\langle 3 \rangle} \cdot AC666_3 + \sum AC6^{\langle 4 \rangle} \cdot AC666_4 = 5.287$$

$$n := 5$$

$$IY = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5.287 - 5}{5 - 1} = 0.072$$

$$CY = 1.12$$

$$BY = \frac{IY}{CY} = \frac{0.072}{1.12} = 0.062$$

Розрахунок для сьомого критерію – вартість обладнання.

$$AC7_{00} := 1 \quad AC7_{01} := 2 \quad AC7_{02} := 2 \quad AC7_{03} := 3 \quad AC7_{04} := \frac{1}{4}$$

$$AC7_{10} := \frac{1}{AC7_{01}} \quad AC7_{11} := 1 \quad AC7_{12} := 1 \quad AC7_{13} := 1 \quad AC7_{14} := \frac{1}{4}$$

$$AC7_{20} := \frac{1}{AC7_{02}} \quad AC7_{21} := \frac{1}{AC7_{12}} \quad AC7_{22} := 1 \quad AC7_{23} := 1 \quad AC7_{24} := \frac{1}{4}$$

$$AC7_{30} := \frac{1}{AC7_{03}} \quad AC7_{31} := \frac{1}{AC7_{13}} \quad AC7_{32} := \frac{1}{AC7_{23}} \quad AC7_{33} := 1 \quad AC7_{34} := \frac{1}{4}$$

$$AC7_{40} := \frac{1}{AC7_{04}} \quad AC7_{41} := \frac{1}{AC7_{14}} \quad AC7_{42} := \frac{1}{AC7_{24}} \quad AC7_{43} := \frac{1}{AC7_{34}} \quad AC7_{44} := 1$$

$$AC7 := \begin{pmatrix} AC7_{00} & AC7_{01} & AC7_{02} & AC7_{03} & AC7_{04} \\ AC7_{10} & AC7_{11} & AC7_{12} & AC7_{13} & AC7_{14} \\ AC7_{20} & AC7_{21} & AC7_{22} & AC7_{23} & AC7_{24} \\ AC7_{30} & AC7_{31} & AC7_{32} & AC7_{33} & AC7_{34} \\ AC7_{40} & AC7_{41} & AC7_{42} & AC7_{43} & AC7_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 & 0.25 \\ 0.5 & 1 & 1 & 1 & 0.25 \\ 0.5 & 1 & 1 & 1 & 0.25 \\ 0.333 & 1 & 1 & 1 & 0.25 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$

$$AC77 := \begin{pmatrix} \sqrt[5]{AC7_{00} \cdot AC7_{01} \cdot AC7_{02} \cdot AC7_{03} \cdot AC7_{04}} \\ \sqrt[5]{AC7_{10} \cdot AC7_{11} \cdot AC7_{12} \cdot AC7_{13} \cdot AC7_{14}} \\ \sqrt[5]{AC7_{20} \cdot AC7_{21} \cdot AC7_{22} \cdot AC7_{23} \cdot AC7_{24}} \\ \sqrt[5]{AC7_{30} \cdot AC7_{31} \cdot AC7_{32} \cdot AC7_{33} \cdot AC7_{34}} \\ \sqrt[5]{AC7_{40} \cdot AC7_{41} \cdot AC7_{42} \cdot AC7_{43} \cdot AC7_{44}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.246 \\ 0.66 \\ 0.66 \\ 0.608 \\ 3.031 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} AC77_0 &:= 1.246 \\ AC77_1 &:= 0.66 \\ AC77_2 &:= 0.66 \\ AC77_3 &:= 0.608 \\ AC77_4 &:= 3.031 \end{aligned}$$

$$\sum AC77 = 6.205$$

$$AC777 := \begin{pmatrix} \frac{AC77_0}{\sum AC77} \\ \frac{AC77_1}{\sum AC77} \\ \frac{AC77_2}{\sum AC77} \\ \frac{AC77_3}{\sum AC77} \\ \frac{AC77_4}{\sum AC77} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.201 \\ 0.106 \\ 0.106 \\ 0.098 \\ 0.488 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} AC777_0 &:= 0.201 \\ AC777_1 &:= 0.106 \\ AC777_2 &:= 0.106 \\ AC777_3 &:= 0.098 \\ AC777_4 &:= 0.488 \end{aligned}$$

$$\sum AC7^{\langle 0 \rangle} = 6.333$$

$$\sum AC7^{\langle 1 \rangle} = 9$$

$$\sum AC7^{\langle 2 \rangle} = 9$$

$$\sum AC7^{\langle 3 \rangle} = 10$$

$$\sum AC7^{\langle 4 \rangle} = 2$$

$$\lambda_7 := \sum AC7^{\langle 0 \rangle} \cdot AC777_0 + \sum AC7^{\langle 1 \rangle} \cdot AC777_1 + \sum AC7^{\langle 2 \rangle} \cdot AC777_2 + \sum AC7^{\langle 3 \rangle} \cdot AC777_3 + \sum AC7^{\langle 4 \rangle} \cdot AC777_4 = 5.137$$

$$n := 5$$

$$IY = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5,137 - 5}{5 - 1} = 0,034$$

$$CY = 1,12$$

$$BY = \frac{IY}{CY} = \frac{0,034}{1,12} = 0,029$$

Розрахунок для восьмого критерію – суспільне визнання (громадська думка).

$$\begin{array}{lllll} AC8_{00} := 1 & AC8_{01} := 3 & AC8_{02} := 1 & AC8_{03} := \frac{1}{4} & AC8_{04} := 5 \\ AC8_{10} := \frac{1}{AC8_{01}} & AC8_{11} := 1 & AC8_{12} := \frac{1}{3} = 0.333 & AC8_{13} := \frac{1}{5} & AC8_{14} := 2 \\ AC8_{20} := \frac{1}{AC8_{02}} & AC8_{21} := \frac{1}{AC8_{12}} & AC8_{22} := 1 & AC8_{23} := \frac{1}{4} & AC8_{24} := 5 \\ AC8_{30} := \frac{1}{AC8_{03}} & AC8_{31} := \frac{1}{AC8_{13}} & AC8_{32} := \frac{1}{AC8_{23}} & AC8_{33} := 1 & AC8_{34} := 7 \\ AC8_{40} := \frac{1}{AC8_{04}} & AC8_{41} := \frac{1}{AC8_{14}} & AC8_{42} := \frac{1}{AC8_{24}} & AC8_{43} := \frac{1}{AC8_{34}} & AC8_{44} := 1 \end{array}$$

$$AC8 := \begin{pmatrix} AC8_{00} & AC8_{01} & AC8_{02} & AC8_{03} & AC8_{04} \\ AC8_{10} & AC8_{11} & AC8_{12} & AC8_{13} & AC8_{14} \\ AC8_{20} & AC8_{21} & AC8_{22} & AC8_{23} & AC8_{24} \\ AC8_{30} & AC8_{31} & AC8_{32} & AC8_{33} & AC8_{34} \\ AC8_{40} & AC8_{41} & AC8_{42} & AC8_{43} & AC8_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 & 0.25 & 5 \\ 0.333 & 1 & 0.333 & 0.2 & 2 \\ 1 & 3 & 1 & 0.25 & 5 \\ 4 & 5 & 4 & 1 & 7 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.143 & 1 \end{pmatrix}$$

$$AC88 := \begin{pmatrix} \sqrt[5]{AC8_{00} \cdot AC8_{01} \cdot AC8_{02} \cdot AC8_{03} \cdot AC8_{04}} \\ \sqrt[5]{AC8_{10} \cdot AC8_{11} \cdot AC8_{12} \cdot AC8_{13} \cdot AC8_{14}} \\ \sqrt[5]{AC8_{20} \cdot AC8_{21} \cdot AC8_{22} \cdot AC8_{23} \cdot AC8_{24}} \\ \sqrt[5]{AC8_{30} \cdot AC8_{31} \cdot AC8_{32} \cdot AC8_{33} \cdot AC8_{34}} \\ \sqrt[5]{AC8_{40} \cdot AC8_{41} \cdot AC8_{42} \cdot AC8_{43} \cdot AC8_{44}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.303 \\ 0.536 \\ 1.303 \\ 3.545 \\ 0.31 \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{ll} AC88_0 := 1.303 & \\ AC88_1 := 0.536 & \\ AC88_2 := 1.303 & \\ AC88_3 := 3.545 & \\ AC88_4 := 0.31 & \end{array}$$

$$\sum AC88 = 6.997$$

$$AC888 := \left(\begin{array}{c} \frac{AC88_0}{\sum AC88} \\ \frac{AC88_1}{\sum AC88} \\ \frac{AC88_2}{\sum AC88} \\ \frac{AC88_3}{\sum AC88} \\ \frac{AC88_4}{\sum AC88} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} 0.186 \\ 0.077 \\ 0.186 \\ 0.507 \\ 0.044 \end{array} \right)$$

$$\sum_{AC8}^{(0)} = 6.533 \quad AC888_0 := 0.186$$

$$\sum_{AC8}^{(1)} = 12.5 \quad AC888_1 := 0.077$$

$$\sum_{AC8}^{(2)} = 6.533 \quad AC888_2 := 0.186$$

$$\sum_{AC8}^{(3)} = 1.843 \quad AC888_3 := 0.507$$

$$\sum_{AC8}^{(4)} = 20 \quad AC888_4 := 0.044$$

$$\lambda_8 := \sum_{AC8}^{(0)} \cdot AC888_0 + \sum_{AC8}^{(1)} \cdot AC888_1 + \sum_{AC8}^{(2)} \cdot AC888_2 + \sum_{AC8}^{(3)} \cdot AC888_3 + \sum_{AC8}^{(4)} \cdot AC888_4 = 5.207$$

$$n := 5$$

$$IY = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5.207 - 5}{5 - 1} = 0.052$$

$$CY = 1.12$$

$$BY = \frac{IY}{CY} = \frac{0.052}{1.12} = 0.044$$

Розрахунок глобальних пріоритетів для кожної технології.

$$AC111_0 := 0.515 \quad AC222_0 := 0.436 \quad AC333_0 := 0.535 \quad AC444_0 := 0.498$$

$$AC111_1 := 0.15 \quad AC222_1 := 0.07 \quad AC333_1 := 0.078 \quad AC444_1 := 0.067$$

$$AC111_2 := 0.146 \quad AC222_2 := 0.081 \quad AC333_2 := 0.183 \quad AC444_2 := 0.087$$

$$AC111_3 := 0.09\% \quad AC222_3 := 0.10\% \quad AC333_3 := 0.16\% \quad AC444_3 := 0.24\%$$

$$AC111_4 := 0.09\% \quad AC222_4 := 0.30\% \quad AC333_4 := 0.04\% \quad AC444_4 := 0.10\%$$

$$AC555_0 := 0.331 \quad AC666_0 := 0.43\% \quad AC777_0 := 0.201 \quad AC888_0 := 0.18\%$$

$$AC555_1 := 0.071 \quad AC666_1 := 0.13\% \quad AC777_1 := 0.10\% \quad AC888_1 := 0.07\%$$

$$AC555_2 := 0.09\% \quad AC666_2 := 0.0\% \quad AC777_2 := 0.10\% \quad AC888_2 := 0.18\%$$

$$AC555_3 := 0.12\% \quad AC666_3 := 0.0\% \quad AC777_3 := 0.09\% \quad AC888_3 := 0.50\%$$

$$AC555_4 := 0.37\% \quad AC666_4 := 0.36\% \quad AC777_4 := 0.48\% \quad AC888_4 := 0.04\%$$

$$W1 := 1 \quad W5 := 1$$

$$W2 := 1 \quad W6 := 1$$

$$W3 := 1 \quad W7 := 1$$

$$W4 := 1 \quad W8 := 1$$

$$P_0 := (AC111_0 \cdot W1) + (AC222_0 \cdot W2) + (AC333_0 \cdot W3) + (AC444_0 \cdot W4) + (AC555_0 \cdot W5) + (AC666_0 \cdot W6) + (AC777_0 \cdot W7) + (AC888_0 \cdot W8) = 3.137$$

$$P_1 := (AC111_1 \cdot W1) + (AC222_1 \cdot W2) + (AC333_1 \cdot W3) + (AC444_1 \cdot W4) + (AC555_1 \cdot W5) + (AC666_1 \cdot W6) + (AC777_1 \cdot W7) + (AC888_1 \cdot W8) = 0.758$$

$$P_2 := (AC111_2 \cdot W1) + (AC222_2 \cdot W2) + (AC333_2 \cdot W3) + (AC444_2 \cdot W4) + (AC555_2 \cdot W5) + (AC666_2 \cdot W6) + (AC777_2 \cdot W7) + (AC888_2 \cdot W8) = 0.932$$

$$P_3 := (AC111_3 \cdot W1) + (AC222_3 \cdot W2) + (AC333_3 \cdot W3) + (AC444_3 \cdot W4) + (AC555_3 \cdot W5) + (AC666_3 \cdot W6) + (AC777_3 \cdot W7) + (AC888_3 \cdot W8) = 1.393$$

$$P_4 := (AC111_4 \cdot W1) + (AC222_4 \cdot W2) + (AC333_4 \cdot W3) + (AC444_4 \cdot W4) + (AC555_4 \cdot W5) + (AC666_4 \cdot W6) + (AC777_4 \cdot W7) + (AC888_4 \cdot W8) = 1.821$$

Вектор глобальних пріоритетів:

$$P_{jr} := \begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.137 \\ 0.758 \\ 0.932 \\ 1.393 \\ 1.821 \end{pmatrix} \begin{array}{l} \text{спалювання в барабанних печах} \\ \text{термічна обробка з використанням піролізу (газифікації)} \\ \text{спалювання в киплячому шарі} \\ \text{спалювання на механічних колосникових решітках} \\ \text{спалювання в металургійних або цементних печах} \end{array}$$

Найбільше значення глобального пріоритету має варіант S_1 – спалювання в барабанних печах. Далі по величині глобального пріоритету S_5 – спалювання в металургійних та цементних печах. Найменший показник у відносно нової технології – обробка з використанням піролізу чи газифікації. Узагальнені значення локальних пріоритетів наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.8 – Вектори локальних пріоритетів виробу установок для термічної утилізації відходів

Найменування критерію	Вектор локальних пріоритетів	Відношення узгодженості (ВУ)	Значимість критерію (вага)
1	2	3	4
С ₁ – найменший рівень негативного впливу на навколишнє середовище	$AC111 := \begin{pmatrix} AC111_0 \\ AC111_1 \\ AC111_2 \\ AC111_3 \\ AC111_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.515 \\ 0.15 \\ 0.146 \\ 0.092 \\ 0.096 \end{pmatrix}$	0,044	1,0
С ₂ – незалежність ефективності спалювання від попередньої підготовки чи сортування сміття (необхідність подрібнення і підвищення однорідності)	$AC222 := \begin{pmatrix} AC222_0 \\ AC222_1 \\ AC222_2 \\ AC222_3 \\ AC222_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.436 \\ 0.07 \\ 0.081 \\ 0.109 \\ 0.305 \end{pmatrix}$	0,046	1,0
С ₃ – здатність генерувати тепло і електрику для різних систем використання	$AC333 := \begin{pmatrix} AC333_0 \\ AC333_1 \\ AC333_2 \\ AC333_3 \\ AC333_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.535 \\ 0.078 \\ 0.183 \\ 0.163 \\ 0.041 \end{pmatrix}$	0,046	1,0
С ₄ – складність обладнання (простота обслуговування, надійна експлуатація)	$AC444 := \begin{pmatrix} AC444_0 \\ AC444_1 \\ AC444_2 \\ AC444_3 \\ AC444_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.498 \\ 0.067 \\ 0.087 \\ 0.245 \\ 0.104 \end{pmatrix}$	0,066	1,0
С ₅ – кількість утворених відходів, обсяг димових газів (спалювання твердих відходів; ступінь концентрації)	$AC555 := \begin{pmatrix} AC555_0 \\ AC555_1 \\ AC555_2 \\ AC555_3 \\ AC555_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.331 \\ 0.071 \\ 0.093 \\ 0.129 \\ 0.377 \end{pmatrix}$	0,052	1,0

Продовження табл. 2.8

1	2	3	4
С ₆ – зона установки обладнання	$AC666 := \begin{pmatrix} AC666_0 \\ AC666_1 \\ AC666_2 \\ AC666_3 \\ AC666_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.435 \\ 0.139 \\ 0.05 \\ 0.05 \\ 0.366 \end{pmatrix}$	0,062	1,0
С ₇ – вартість обладнання	$AC777 := \begin{pmatrix} AC777_0 \\ AC777_1 \\ AC777_2 \\ AC777_3 \\ AC777_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.201 \\ 0.106 \\ 0.106 \\ 0.098 \\ 0.488 \end{pmatrix}$	0,029	1,0
С ₈ – суспільне визнання (громадська думка)	$AC888 := \begin{pmatrix} AC888_0 \\ AC888_1 \\ AC888_2 \\ AC888_3 \\ AC888_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.186 \\ 0.077 \\ 0.186 \\ 0.507 \\ 0.044 \end{pmatrix}$	0,044	1,0

Висновки до розділу 2

1. В даному розділі наведено вплив сміттєзвалищ на довкілля. Показано якісний склад забруднюючих речовин, які потрапляють в атмосферне повітря, ґрунти та підземні води в ході та після закінчення терміну експлуатації полігонів.

2. Розглянуто технології утилізації відходів: збір біогазу на полігонах, механіко-біологічна обробка ТПВ та термічна переробка змішаних відходів. Проведено порівняння методів термічної обробки відходів за однаковими характеристиками. Сформульовано основні вимоги до процесу спалювання відходів, які мінімізують вплив даного процесу на середовище.

3. Здійснено багатокритеріальний аналіз варіантів з використанням парних порівнянь, вибрано оптимальну технологію утилізації відходів. Аналіз

проводився для п'яти технологій: спалювання в обертових печах, термічна обробка з використанням піролізу, спалювання в киплячому шарі, спалювання на механічних колосникових решітках, спалювання на металургійних або цементних печах. Критерії було вісім – найменший рівень негативного впливу на навколишнє середовище, незалежність ефективності спалювання від попередньої підготовки чи сортування сміття, здатність генерувати тепло і електрику для різних систем використання, складність обладнання, кількість утворених відходів, обсяг димових газів, зона установки обладнання, визнання (громадська думка). Найоптимальнішою технологією для утилізації відходів виявилось спалювання в барабанних/обертових печах. Згідно вектору глобальних пріоритетів, значення показника даної технології майже вдвічі перевищує значення наступної «оптимальної» технології.

3 ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

3.1 Вплив забруднюючих речовин, що виділяються при спалюванні

3.1.1 Вплив на довкілля

HCL. Має високу гостру токсичну дію на всі форми життя. Немає інформації про довгострокові наслідки. Прискорює розчинення багатьох мінералів, таких як карбонати (включаючи вапняк) та всі алюмосилікати (наприклад, глини та багато магматичних порід). Таким чином, це сприяє занепаду вапнякових будівель та інших споруд, таких як мости чи художні витвори. Також сприяє процесам, які викликають фотохімічний смог.

Хлорид водню переноситься у повітрі. Якщо потрапляє в ґрунт, він зазвичай швидко реагує з лужними та іншими буферними компонентами, якщо вони є. Однак він може бути активним у ґрунті та може забруднювати ґрунтові води.

Хлорид водню, що виділяється в атмосферу як газ, буде піддаватися мокрому та сухому осадженню і легко включатиметься у хмарну, дощову та туманну воду. Таким чином, він утворює компонент кислотного дощу. Це також сприяє процесам, які викликають фотохімічний смог [61].

NH₃. Азот необхідний для всіх форм життя, а аміак – одна з багатьох форм існування азоту в навколишньому середовищі. При високому вмісті аміаку можна спостерігати токсичну дію. Сюди можна віднести загибель тварин, птахів, риб та загибель або низький темп росту рослин. Аміак (загальний) відноситься до суми аміаку (NH₃) та іонізованої форми (NH₄⁺). Токсичність обумовлена наявністю NH₃, який збільшується в концентрації зі збільшенням рівня pH.

Довгострокові ефекти загального аміаку у рослин, птахів та сухопутних тварин можуть включати скорочений термін експлуатації, репродуктивні проблеми, зниження фертильності та зміни зовнішності чи поведінки. Вони можуть бути помітні вже після першого впливу аміаку. За умов нормальної температури та pH аміак має помірну тривалу токсичність для водних ресурсів [62].

HCN. Ціаніди мають високу гостру (короткочасну) токсичність для водного життя, птахів та тварин. Недостатньо даних для оцінки гострої токсичності ціанідів на рослинах на суші. Також мають високу хронічну (тривалу) токсичність для водного життя. Недостатньо даних для оцінки хронічної токсичності для рослин, птахів або сухопутних тварин.

Ціанідні сполуки будуть знаходитися в атмосфері у вигляді газів або дрібних частинок. Потім вони осідатимуть у ґрунті чи воді залежно від того, куди їх переносять повітряні потоки. Більшість ціанідних сполук водорозчинні. Вони можуть забруднювати ґрунтові води. Проте випаруються з води. У воді ціаніди не стійкі, вони руйнуються за лічені дні [63].

H₂S. Сірководень має високу гостру (короткочасну) токсичність для водного життя, птахів та тварин. Недостатньо даних для оцінки гострої токсичності сірководню на рослинах на суші. Недостатньо даних для оцінки хронічної токсичності сірководню для рослин, птахів чи тварин.

Сірководень існує в атмосфері як газ. Він може бути розпорошений залежно від того, куди здійснюються повітряні потоки. Він руйнується у повітрі за кілька днів. Сірководень надходить у навколишнє середовище як від природних, так і від людських процесів. Майже всі викиди приходять у повітря, де вони існують у газовій фазі. У повітрі він буде реагувати з іншими хімічними речовинами, які підлягають руйнуванню, зазвичай вони розпадаються приблизно за три дні [64].

SO₂. Навіть низькі концентрації діоксиду сірки можуть завдати шкоди рослинам і деревам та знизити продуктивність врожаю. Більш високий рівень, і особливо кислі відкладення від кислотних дощів, негативно впливають як на сухопутні, так і на водні екосистеми. Промислові викиди діоксиду сірки можуть призвести до підвищених, але все ще низьких концентрацій в атмосфері навколо джерела. Вулканічні виверження, хоча і спорадичні, істотно сприяють діоксиду сірки в їх місцевій зоні та сприяють глобальному рівню вуглекислого газу на фоні.

Двоокис сірки в атмосфері поглинається ґрунтами та рослинами. Він також захоплюється в межах хмар і під ними, а за певних обставин може підвищувати кислотність опадів, що утворюються [65].

CS₂. Гострий (короткочасний) екологічний вплив: може включати загибель тварин, птахів чи риб, загибель або низький темп росту рослин. Гострий вплив спостерігається через два-чотири дні після потрапляння тварин або рослин на токсичну хімічну речовину. Сірководень має помірну гостру токсичність для водного життя. Немає даних про короткочасний вплив сірководню для рослин, птахів або сухопутних тварин.

Хронічний (тривалий) екологічний вплив: може включати скорочений термін життя, проблеми з репродуктивністю, зниження фертильності та зміни зовнішності або поведінки. Хронічні наслідки можна помітити вже після першого впливу токсичної хімічної речовини. Сірководень має високу хронічну токсичність для водного життя. Немає даних про тривалий вплив сірководню на рослини, птахи або наземних тварин.

Сірководень швидко випаровується при потраплянні в навколишнє середовище. Сульфід вуглецю не залишається розчиненим у воді дуже довго, а також швидко рухається по ґрунтах [66].

3.1.2 Вплив на людину

HCL. Вплив концентрованої соляної кислоти може спричинити колапс кровообігу, що може призвести до смерті; також може спричинити смерть за рахунок асфіксії. Менш концентровані розчини можуть викликати кон'юнктивіт та опік рогівки, запалення та виразку дихальних шляхів, дерматити, опіки шкіри, риніт, ларингіт, трахеїт, бронхіт, набряк легенів, ерозію зубів, хрипоту, почуття задухи, нудоту, блювоту, біль у животі, діарея, зневоднення, судоми, олігурія, гіпотонія, озноб, шок, млявість, ступор, постійні пошкодження зору, кашель та задуха. Попадання всередину або контакт шкіри з соляною кислотою може спричинити корозію слизових оболонок рота, горла та стравоходу, негайні болі та дисфагію, також може викликати шлункові крововиливи та сильну спрагу.

Вірогідними шляхами потрапляння в організм людини соляної кислоти є контакт зі шкірою та вдихання газу хлористого водню [61].

NH_3 . Вплив типових екологічних концентрацій аміаку не вплине на людину. Аміак тривалий час застосовується в людській та ветеринарній медицині та в запахах солей. Вплив високого рівня аміаку може спричинити подразнення та серйозні опіки на шкірі, а також у роті, горлі (ларингіт), легенях (набряк легенів) та очах (кон'юнктивіт). Вплив аміаку при дуже високому рівні може призвести до смерті. Проковтування концентрованих розчинів аміаку може викликати опіки в роті, горлі та шлунку. Бризок аміаку в очі може викликати опіки та сліпоту. Люди, які можуть бути більш чутливими до аміаку – це люди зі зниженою функцією печінки, захворювання рогівки, глаукома або респіраторні захворювання (наприклад, астматики).

Кожна людина стикається з низьким вмістом аміаку в природі в повітрі, їжі, воді та ґрунті. Вплив більш високого рівня аміаку може відбуватися від вдихання парів, бризки аміаку на шкіру або від споживання аміаку. Найімовірніше, що аміак буде вдихатись, а не потрапляти через шкіру. Більшість аміаку, що вдихається, швидко видихається. Аміак, який був швидко перетворюється на інші нешкідливі речовини. Залишок аміаку пропускається з сечею протягом пари днів [62].

HCN . Ціанід дуже токсичний для людини, і вдихання може бути швидко смертельним. Коротке опромінення нижчих рівнів може спричинити задишку, судоми та втрату свідомості. Вплив високих рівнів протягом коротких періодів може спричинити подразнення очей, носа і горла, головний біль, задишку, заподіяння шкоди центральній нервовій системі, дихальній системі та серцево-судинній системі, і швидко призведе до смерті. Тривалий вплив низького рівня ціаніду може викликати глухоту, проблеми із зором та втрату м'язової координації. Він також може впливати на щитовидну залозу, що може спричинити кретинізм (загальмований фізичний та розумовий ріст у дітей), або збільшення та надмірну активність гіланд. Ці довготривалі ефекти спостерігаються у людей, які їдять велику кількість маниоки, овоча, що містить ціанід [63].

H_2S . Кома та смерть від дихальної недостатності можуть наступити протягом декількох секунд після одного або двох вдихів, на високих рівнях (концентрація від 1000 до 2000 частин на мільйон). Концентрація від 100 до 200 частин на мільйон

протягом однієї-восьми годин може спричинити безсоння, розмиття зору, крововиливи та смерть. Нижчі концентрації можуть дратувати очі, ніс і горло (від 5 до 50 частин на мільйон). Після опромінення можуть виникати головні болі, запаморочення та нудота. Повторне опромінення може спричинити головний біль, анорексію, безсоння, параліч, менінгіт, психічні неприємності, уповільнення серцебиття та бронхіт. Сірководень може потрапляти в організм, коли людина дихає повітрям, що містить сірководень [64].

SO₂. Опромінення очей рідким діоксидом сірки може спричинити сильні опіки, що призводять до втрати зору. На шкірі він утворює опіки. Інші наслідки для здоров'я включають головний біль, загальний дискомфорт і занепокоєння. Люди з порушенням роботи серця або легенів та астматики мають підвищений ризик. Повторний або тривалий вплив помірних концентрацій може спричинити запалення дихальних шляхів, хрипи та пошкодження легенів. Діоксид сірки потрапляє в організм, якщо ми вдихаємо забруднене повітря. При вході можуть бути уражені ніс, горло та легені. Діоксид сірки також може потрапляти в наші органи, коли ми вживаємо їжу або напої (вино), які містять діоксид сірки як консервант. Двоокис сірки може потрапляти в організм через контакт зі шкірою [65].

CS₂. Сірковуглець розпадається на інші хімічні речовини після потрапляння в організм. Медичні тести дозволяють виміряти рівень цих речовин у сечі та крові, однак тести не є надійними показниками загального впливу.

Гострі ефекти: На дуже високих рівнях сірковуглець може бути небезпечним для життя через вплив на нервову систему або серце. Опромінення може бути вдиханням, всмоктуванням через шкіру, прийомом всередину або контактом шкіри або очей. При гострих отруєннях відбувається раннє збудження центральної нервової системи, що нагадує алкогольне сп'яніння, з подальшим депресією, ступором, неспокійністю, несвідомістю та можливою смертю. Якщо настає одужання, можуть виникнути наркоз, нудота, блювання та головний біль.

Хронічні наслідки: При хронічному отруєнні спостерігаються відчуття тяжкості, холоду та «завуальованість» предметів, ніби вони виглядають невиразними. Вплив може спричинити зміни в диханні, болі в грудях, біль у м'язах, слабкість,

втрату відчуттів на руках чи ногах, проблеми з очима, шкірні пухирі, хронічну втома, втрату пам'яті, зміну особистості, дратівливість, запаморочення, анорексію, втрата ваги, психоз, гастрит, ураження нирок і печінки, дерматит, погіршення психічного стану, параліч Паркінсона та божевілля [66].

3.2 Визначення оптимальної вологості спалювання ТПВ

При плануванні процесу спалювання суміші ТПВ враховується чимало параметрів: технологія, за якою буде утилізуватись сміття, морфологічний склад, необхідність попередньої підготовки (сортування, подрібнення), агрегатний стан відходів, фракційний склад, теплота згорання відходів тощо. Не менш важливою характеристикою є і вологість відходів.

Волога – кількість води, що вбирається в матеріал у вигляді пари або рідини. Її можна виразити двома окремими способами, як відсоток від мокрої маси зразка або як відсоток від сухої маси зразка. Перший метод використовується частіше, і формула для його вираження:

$$M = \frac{w - d}{w} * 100\%$$

де М – вміст вологи, %;

w – вага свіжого зразка;

d – вага зразка після висихання.

Різні відходи мають різні характеристики, що стосуються вмісту вологи та питомої ваги [67]. На табл. 3.1 наведено діапазон значень вологості та типові його значення. Як видно з таблиці, діапазон може коливатись від 0 до 80%, в той час як типові значення зазвичай є усередненим. Як результат типові значення вмісту вологи знаходяться в межах від 1 до 70%, в залежності від виду відходів.

Таблиця 3.1 – Дані щодо типової вологості у відходах

Тип відходів	Вологість, % маси	
	Діапазон	Типова
Житлові відходи		
Харчові відходи (змішані)	50-80	70
Папір	4-10	6
Картон	4-8	5
Пластик	1-4	2
Текстиль	8-15	10
Гума	1-4	2
Шкіра	8-12	10
Дворові відходи	30-80	60
Деревина	15-40	20
Скло	1-4	2
Жерстяні банки	2-4	3
Алюміній	2-4	2
Інші метали	2-4	3
Бруд, зола тощо	6-12	8
Попіл	6-12	6
Інше сміття	5-20	15
Комерційні відходи		
Харчові відходи	50-80	70
Прилади	0-2	1
Дерев'яні вироби	10-30	20
Обрізки з дерев	10-80	15
Сміття (горюче)	10-30	15
Сміття (негорюче)	5-15	10
Сміття (змішане)	10-25	15
Будівництво та знесення		
Змішане знесення (негорюче)	2-10	4
Змішане знесення (горюче)	4-15	8
Змішана конструкція (горюча)	4-15	8

Зазвичай муніципальні відходи містять більше води, ніж комерційні. Це відбувається у зв'язку з тим, що харчові відходи змішуються з муніципальними, тому вміст води може підвищуватися до 40%, а в комерційних відходах цей показник наближається до 30%.

Згідно [68] при різних кількостях води у суміші ТПВ під час спалювання у докільня надходять забруднюючі речовини з різною концентрацією. Дані речовин та їх концентрацій наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Концентрація основних хімічних сполук при спалюванні

Вологість ТПВ, %	Хімічні сполуки, мг/м ³					
	HCL	NH ₃	HCN	H ₂ S	SO ₂	CS ₂
34	2,5	0,05	0,73	16,3	0,3	0,75
17	3,0	0,01	0,85	14	0,3	1,7
5	6,5	0,006	1,0	7,9	0,4	2,4

Проведемо більш детальний аналіз кожної зі сполук. Дані речовини підлягають ефекту сумації, тому їх можна перевести у відсотковий склад та представити в умовних одиницях (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Перераховані кількості забруднюючих речовин

Вологість ТПВ, %	Хімічні сполуки, у.о.					
	HCL	NH ₃	HCN	H ₂ S	SO ₂	CS ₂
34	0,359	0,0001399	0,028	12,88	0,0061	0,053
17	0,454	0,000008363	0,035	9,869	0,0051	0,143
5	2,307	0,000001145	0,042	3,428	0,0068	0,242

Далі графічно наводимо залежності кількості викидів від вологості спалюваної суміші (рис.3.1 – рис.3.6).

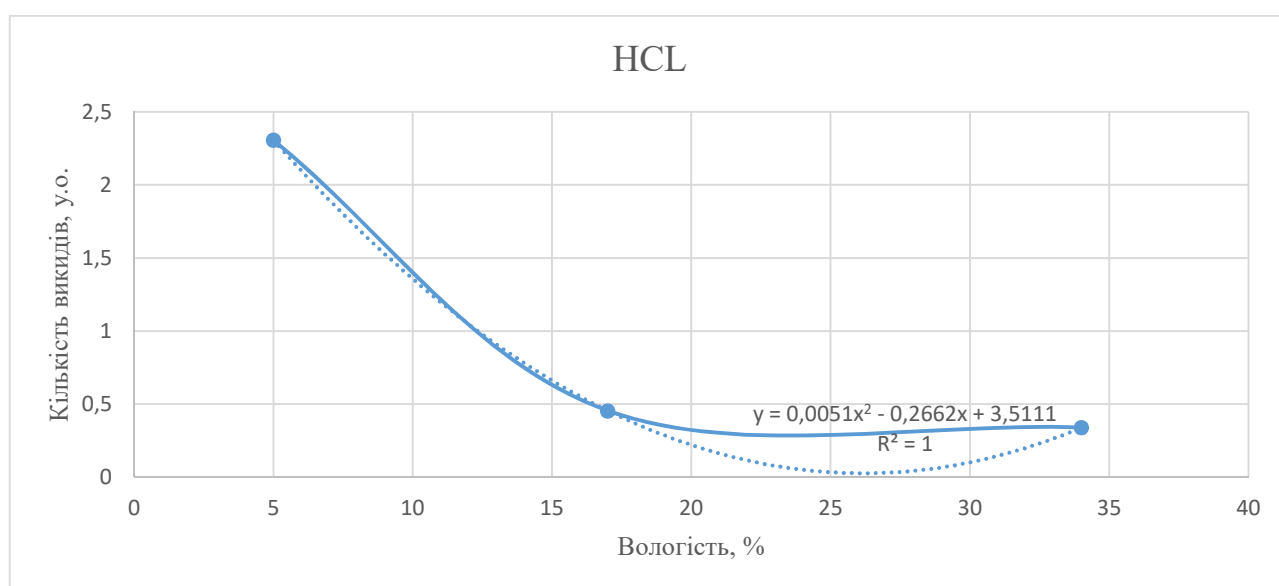


Рисунок 3.1 – Залежність для HCL

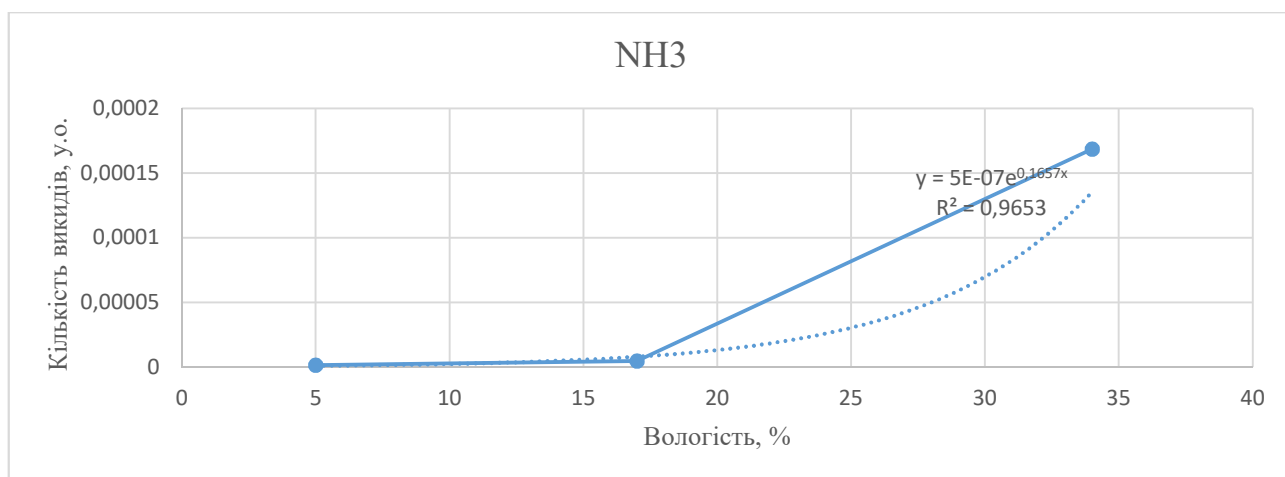
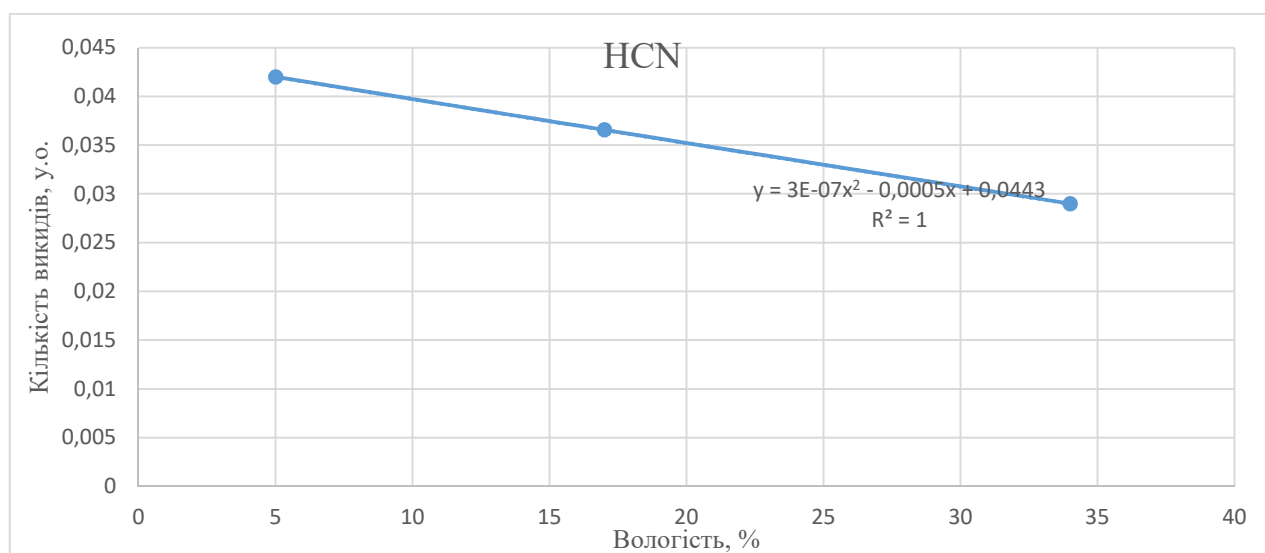
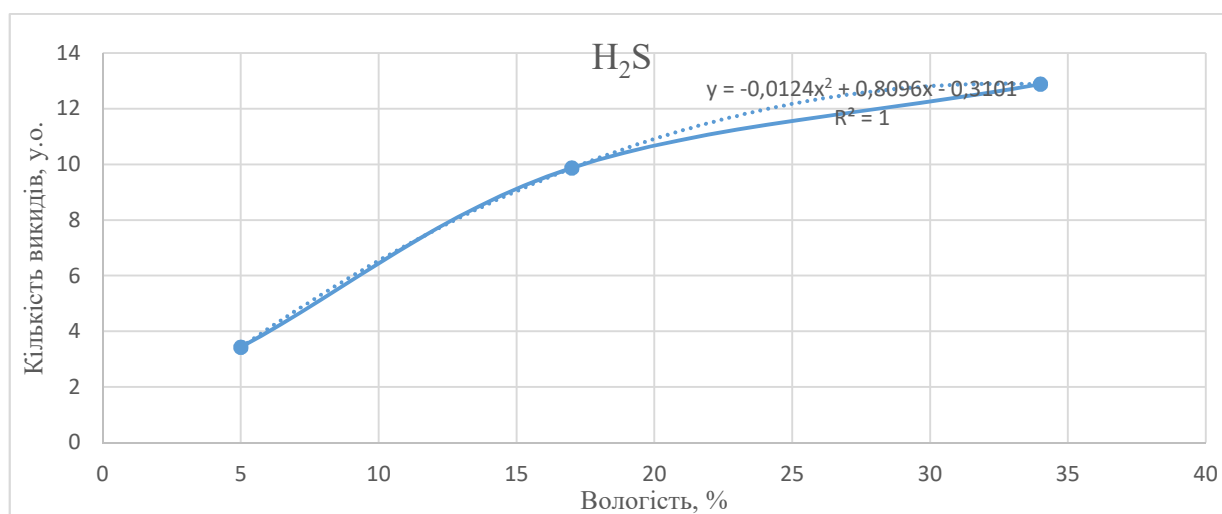
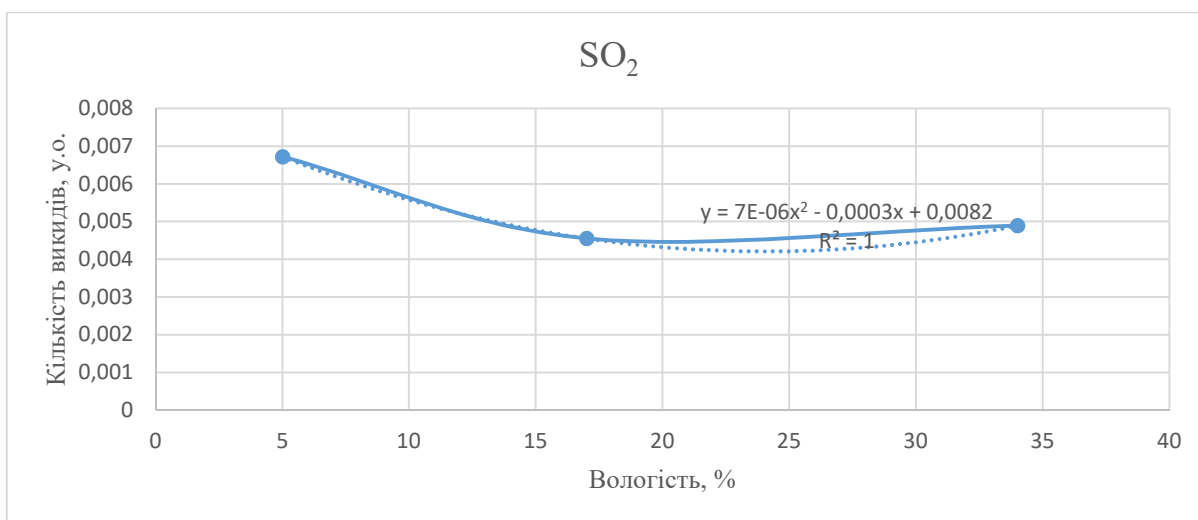
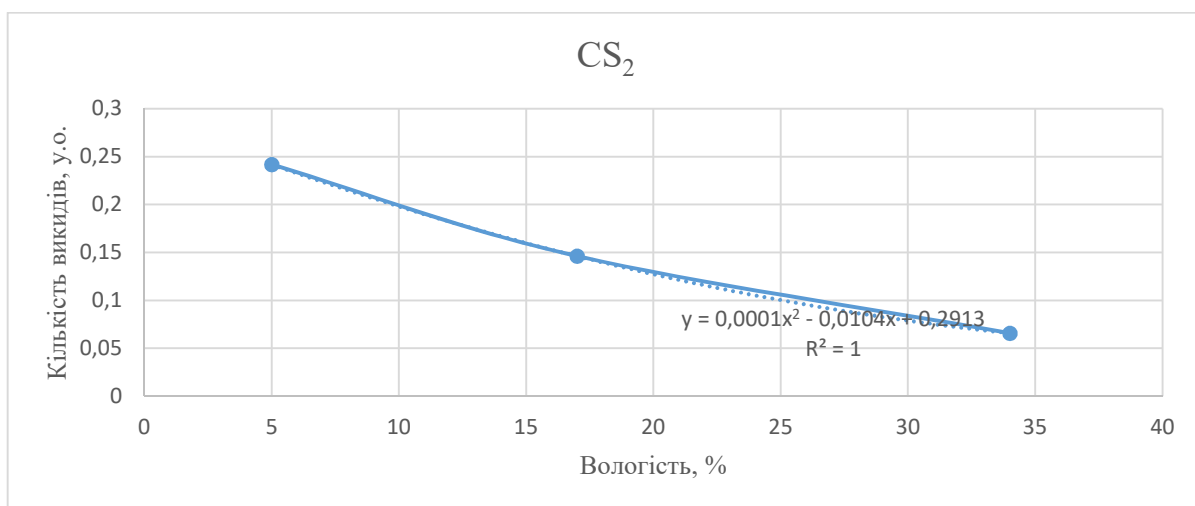
Рисунок 3.2 – Залежність для NH₃

Рисунок 3.3 – Залежність для HCN

Рисунок 3.4 – Залежність для H₂S

Рисунок 3.5 – Залежність для SO₂Рисунок 3.6 – Залежність для CS₂

Згідно даних, у програмному середовищі Microsoft Office Excel визначено лінію тренду для кожної із залежностей.

Лінія тренду використовується для прогнозування будь-якої події на основі уже наявних даних. За допомогою неї можна візуально зрозуміти, яку динаміку мають дані, з яких побудований графік. Маючи лінії тренду для даних викидів можна розрахувати їх кількість при різних значеннях вологості. Для цього використовується програмне середовище MathCad.

Значення вологості за якими розраховуватимуться кількість викидів:

$$x := \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \\ 35 \\ 40 \end{pmatrix}$$

Тепер для кожного випадку записуємо формулу тренду, за якою розраховуватиметься кількість викидів.

Кількість викидів HCL:

$$y_1 := 0.005x^2 - 0.266x + 3.5111 = \begin{pmatrix} 2.308 \\ 1.359 \\ 0.666 \\ 0.227 \\ 0.044 \\ 0.115 \\ 0.442 \\ 1.023 \end{pmatrix}$$

Мінімальне значення викидів:
 $\min(y_1) = 0.044$

Досягається при п'ятому значенні температури:
 $x_5 = 25$

Кількість викидів NH₃:

$$y_2 := 3 \cdot 10^{-7} x^2 - 5 \cdot 10^{-6} x + 2 \cdot 10^{-5} = \begin{pmatrix} 2.5 \times 10^{-6} \\ 0 \\ 1.25 \times 10^{-5} \\ 4 \times 10^{-5} \\ 8.25 \times 10^{-5} \\ 1.4 \times 10^{-4} \\ 2.125 \times 10^{-4} \\ 3 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Мінімальне значення викидів:

$$\min(y_2) = 0$$

Досягається при другому значенні температури:

$$x_2 = 10$$

Кількість викидів HCN:

$$y_3 := 3 \cdot 10^{-7} x^2 - 0.0005x + 0.0443 = \begin{pmatrix} 0.042 \\ 0.039 \\ 0.037 \\ 0.034 \\ 0.032 \\ 0.03 \\ 0.027 \\ 0.025 \end{pmatrix}$$

Мінімальне значення викидів:

$$\min(y_3) = 0.025$$

Досягається при останньому, восьмому значенні температури:

$$x_8 = 40$$

Кількість викидів H₂S:

$$y_4 := -0.0127x^2 + 0.7872x + 4.2607 = \begin{pmatrix} 7.879 \\ 10.863 \\ 13.211 \\ 14.925 \\ 16.003 \\ 16.447 \\ 16.255 \\ 15.429 \end{pmatrix}$$

Мінімальне значення викидів:

$$\min(y_4) = 7.879$$

Досягається при першому значенні температури:

$$x_1 = 5$$

Кількість викидів SO₂:

$$y_5 := 7 \cdot 10^{-6} x^2 - 0.0003x + 0.0082 = \begin{pmatrix} 6.875 \times 10^{-3} \\ 5.9 \times 10^{-3} \\ 5.275 \times 10^{-3} \\ 5 \times 10^{-3} \\ 5.075 \times 10^{-3} \\ 5.5 \times 10^{-3} \\ 6.275 \times 10^{-3} \\ 7.4 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

Мінімальне значення викидів:

$$\min(y_5) = 5 \times 10^{-3}$$

Досягається при четвертому значенні температури:

$$x_4 = 20$$

Кількість викидів CS₂:

Мінімальне значення викидів:

$$y_6 := 0.000k^2 - 0.0104k + 0.2813 = \begin{pmatrix} 0.232 \\ 0.187 \\ 0.148 \\ 0.113 \\ 0.084 \\ 0.059 \\ 0.04 \\ 0.025 \end{pmatrix} \quad \min(y_6) = 0.025$$

Досягається при останньому значенні температури:
 $x_8 = 40$

Клас небезпеки речовин – змінна, покликана спростити класифікацію потенційно небезпечних речовин. Групи та класи небезпеки визначаються залежно від рівня впливу та рівня захисту, що запобігає цей вплив. Класи небезпеки визначаються за видами небезпеки.

Речовини, що надходять у довкілля при спалюванні відходів мають різний негативний вплив на довкілля, як результат – належать до різних класів небезпеки, їх класифікація наведена в табл. 3.4. Для подальших розрахунків речовинам надається коефіцієнт, який залежатиме від класу небезпечності речовини і показуватиме рівень впливу.

Таблиця 3.4 – Класи небезпеки речовин

Речовина	Клас небезпеки	Коефіцієнт
HCL	2	1,3
NH ₃	4	1,1
HCN	2	1,3
H ₂ S	2	1,3
SO ₂	3	1,2
CS ₂	3	1,2

Згідно таблиці, наведеної вище розраховуємо загальну кількість викидів при даних значеннях вологості:

$$Y := 1.3y_1 + 1.1y_2 + 1.3y_3 + 1.3y_4 + 1.2y_5 + 1.2y_6 = \begin{pmatrix} 7.809 \\ 10.571 \\ 12.866 \\ 14.692 \\ 16.051 \\ 16.941 \\ 17.364 \\ 17.318 \end{pmatrix}$$

Мінімальне значення викидів:

$$\min(Y) = 7.809$$

Досягається при першому значенні температури:

$$x_1 = 5$$

Оскільки спалювана суміш може бути утворена різними відсотковим та морфологічним складом, то був розроблений алгоритм, що дозволить розрахувати кількість викидів для конкретного морфологічного складу ТПВ. Для цього взято перелік груп побутових відходів та характеристики їх типової вологості (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Типи відходів для розрахунку викидів

№	Тип відходів	Вологість, % маси
1	Харчові відходи (змішані)	70
2	Папір	6
3	Картон	5
4	Пластик	2
5	Текстиль	10
6	Гума	2
7	Шкіра	10
8	Дворові відходи	60
9	Деревина	20
10	Скло	2
11	Жерстяні банки	3
12	Алюміній	2
13	Інші метали	3
14	Бруд, зола тощо	8
15	Попіл	6
16	Інше сміття	15

Далі в програмі необхідно ввести морфологічний склад даних відходів

$$\begin{array}{ll} I_1 := 10 & I_9 := 10 \\ I_2 := 10 & I_{10} := 5 \\ I_3 := 5 & I_{11} := 5 \\ I_4 := 5 & I_{12} := 5 \end{array}$$

$I_5 := 5$
 $I_6 := 5$
 $I_7 := 5$
 $I_8 := 5$

$I_{13} := 5$
 $I_{14} := 5$
 $I_{15} := 5$
 $I_{16} := 5$

Після цього програма автоматично рахує вологість (WW) даної суміші.

$I := \begin{pmatrix} \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \\ \frac{I_1}{100} \end{pmatrix}$

$\underline{W} := \begin{pmatrix} 70 \\ 6 \\ 5 \\ 2 \\ 10 \\ 2 \\ 10 \\ 60 \\ 20 \\ 2 \\ 3 \\ 2 \\ 3 \\ 8 \\ 6 \\ 15 \end{pmatrix}$

$WW := I \cdot W = 22.4$

Коли вологість відома, знайдене число підставляється вже в наявний діапазон значень.

$$x := \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 22.4 \\ 30 \\ 35 \\ 40 \end{pmatrix}$$

Далі розрахунки проводяться автоматично, аналогічно з попереднім варіантом і наприкінці відоме значення суми викидів при даній температурі. Розраховане значення вологості в таблиці знаходиться під номером 5, тому відразу шукаємо значення викидів при п'ятому значенні.

$$Y := 1.3y_1 + 1.1y_2 + 1.3y_3 + 1.3y_4 + 1.2y_5 + 1.2y_6 = \begin{pmatrix} 7.809 \\ 10.571 \\ 12.866 \\ 14.692 \\ 15.403 \\ 16.941 \\ 17.364 \\ 17.318 \end{pmatrix} \quad Y_5 = 15.403$$

Для більшого розуміння ситуації можна побудувати графік (рис.3.7).

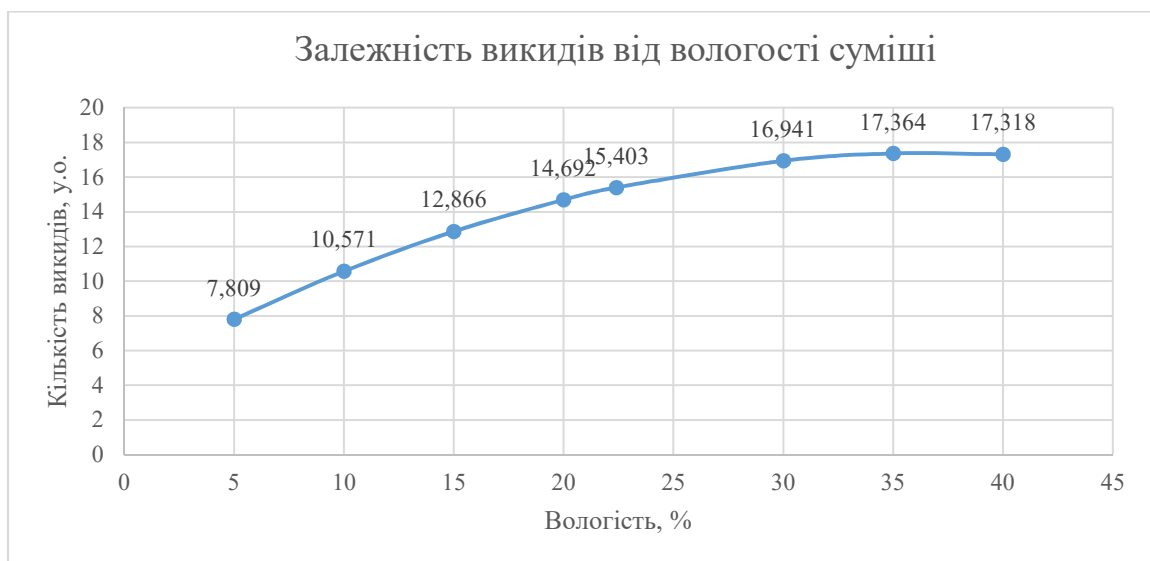


Рисунок 3.7 – Залежність викидів від вологості випадкової суміші

Таким чином, даний алгоритм можна застосовувати для будь якого складу ТПВ.

Висновки до розділу 3

1. Проаналізовано вплив забруднюючих речовин, що виділяються при спалюванні відходів. Наведено їх вплив на довкілля та здоров'я людини. Визначено, що від різних речовин наявний різний рівень негативного впливу – помірно шкідливий, середньо та надзвичайно шкідливий.

2. Досліджено типові вологості для різних груп відходів. Значення вологості може коливатись від 0 до 80% в залежності від типу сміття. Відходи від житлової галузі є найбільш вологими, оскільки там великий відсотковий склад органічний відходів.

3. Встановлено залежності для кожного з викидів, наведено їх графічний вигляд. При зменшенні вологості для процесу спалювання відходів, кількість викидів може зменшуватись або збільшуватись. Це пов'язано з ефективністю їх випалювання та характером викидів.

4. У програмному забезпеченні MathCad для кожного викиду розраховано його кількість при заданих значеннях вологості суміші. Розраховано сумарне значення викидів при заданій вологості. Визначено оптимальне значення вологості для спалювання суміші – 5 %.

5. Розроблено алгоритм, за яким можна визначити сумарну кількість забруднюючих речовин що надходить у довкілля в процесі термічної утилізації відходів. Для цього потрібно лише ввести відсоткове значення кожного з відходів суміші (типи відходів надаються) та продублювати значення визначеної вологості в робочий діапазон. Далі програма автоматично розрахує значення викиду.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВІДХОДІВ

Мета даного розділу – провести маркетинговий аналіз для впровадження розробленої технології на ринку: сформулювати ідею проекту, визначити основну групу споживачів, створити можливості і загрози, пов'язані з пропонованою технологією [68, 69].

Стартап – це проект, створений для пошуку бізнес-моделі, яка буде приносити стабільний прибуток, як правило, на основі інноваційних ідей, ноу-хау і багато чого іншого. Таким чином, мета створення стартапу – продати продукт споживачеві.

4.1 Опис ідеї проекту

Зміст запропонованої ідеї, напрямки її застосування, переваги та вигоди для споживача наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
Створення алгоритму в програмному забезпеченні, який розраховуватиме кількість забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу в процесі спалювання відходів	1. Сільське господарство. 2. Енергетична промисловість. 3. Комунальні підприємства.	1. Прогнозування кількості викидів при спалюванні відходів. 2. Підбір оптимального морфологічного складу ТПВ. 3. Підвищення ефективності установок. 4. Простота розрахунків.

Наступним кроком є аналіз потенційних техніко-економічних переваг технологій компаній-конкурентів. Результати такого аналізу наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняльна характеристика з програмами-конкурентами

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів		
		Моя ідея WasteHum	ОНД-86	CALPUFF
1	Простота у використанні	Необхідно тільки ввести дані	Як у WH	Необхідність кваліфікованого оператора
2	Можливість модифікації та модернізації	Так	Ні	Ні
3	Тривалість розрахунку	3-8 хв	20-25 хв	30-40 хв
4	Кількість вхідних даних	Невелика кількість	Більша ніж у WH	Велика кількість
5	Кількість отриманих даних	Невелика кількість	Більша ніж у WH, включно з графіками	Велика кількість, включно з графіками та довготривалим прогнозом
6	Якість даних	Отримання даних про викиди тільки на момент спалювання	Розрахунок концентрацій у атмосфері на тривалий час, розрахунок СЗЗ	Моделювання атмосферної дисперсії на базі Гауссової моделі, прогнозування з врахуванням рельєфу, будинків тощо

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Результати проведеного аудиту технології, за допомогою якої може бути реалізований проект наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Прогнозування забруднюючих речовин, що надходять у довкілля під час процесу спалювання відходів в залежності від морфологічного складу ТПВ	Написання програмного забезпечення з використанням залежностей, отриманих при розрахунках, задля зручності користувача	Програмне забезпечення необхідно розробити, залежності розраховані	Програма може бути розроблена в будь якому із середовищ програмування
		Розрахунок забруднюючих речовин за допомогою використання програмного забезпечення MathCad	Наявні залежності вже розраховані у MathCad'і	Програма є доступною

Обрана технологія реалізації проекту: написання програмного забезпечення з використанням залежностей, які були отримані при попередніх розрахунках. Програмне забезпечення працюватиме автономно та буде зручнішим для користувача в експлуатації.

4.3 Аналіз потенційних можливостей та загроз в ході реалізації проекту

В ході аналізу ринкового середовища з'ясовується, що при реалізації проекту на ринку існують різні фактори – деякі з них являються загрозами, які ускладнюють вихід на ринок, інші ж навпаки – є можливостями, що сприяють реалізації проекту [70]. Результати аналізу факторів загроз та можливостей, зміст даних факторів, а також можливі реакції компанії на них наведені в табл. 4.4 і 4.5 відповідно.

Таблиця 4.4 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Відсутність капіталовкладень	Відсутність або нестача капіталовкладень	Пошук інвесторів, спонсорів, участь у грантових конкурсах
2	Недовіра споживачів	Новий учасник на ринку – можлива недовіра щодо ефективності ідеї даного проекту	Рекламування проекту, проведення семінарів, представлення позитивних практик використання
3	Час розробки	Тривалість розробки може затягнутись у зв'язку з тестуваннями, модернізаціями тощо	Забезпечувати місцями тільки висококваліфікованих працівників
4	Нестійкість на ринку	Несприйняття товару споживачами	Збір зауважень та пропозицій від споживачів, аналіз проблем, що виникли, їх усунення, вдосконалення товару

Таблиця 4.5 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Спонсорство	Отримання додаткових коштів від зацікавлених сторін	Проведення додаткових досліджень, вдосконалення алгоритму розрахунку
2	Отримання патенту	Патент унеможливилює незаконне використання продукту	Можливість продажу патенту
3	Вихід на міжнародний ринок	Збільшення клієнтської бази, створення нових робочих місць	Привабливість для інвесторів, подальше удосконалення програмного забезпечення

На основі даних аналізу ринку розробляється SWOT-аналіз, виділяючи сильні і слабкі сторони, загрози і можливості впровадження проекту на ринок (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> - перевага над конкурентами за рахунок малокомпонентності; - можливість покращення екологічної ситуації підприємств; - досягнення економічної вигоди; - відповідність міжнародним та державним стандартам; - великий ринок споживачів; 	<ul style="list-style-type: none"> - відсутність патенту; - відсутність попереднього досвіду в розробці аналогічних проектів; - низький рівень фінансування; - недостатня обізнаність конкурентів;
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> - проникнення на нові сегменти вітчизняного та закордонного ринків; - удосконалення програмного забезпечення завдяки проведенню додаткових досліджень та вимірювань; - рух держави до екологічно дружніх альтернатив; 	<ul style="list-style-type: none"> - конкуренція на ринку; - зменшення кількості можливих інвесторів; - відсутність або нестача коштів на реалізацію проекту; - невідповідність умовам сертифікації або патентування; - відсутність попиту;

4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

При реалізації проекту на ринку необхідно використовувати визначення ринкових можливостей і ринкових загроз, пов'язаних із запуском стартап-проекту. Аналіз цих факторів дозволить прогнозувати напрям розвитку проекту, проаналізувати цільову групу і уникнути обмежень щодо виходу на ринок. Результати аналізу наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість основних гравців, од.	5
2	Загальний обсяг продажів, грн/у.о.	2500
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень на вхід (вказіть характер обмежень)	Відсутність стартового капіталу, необхідність розробки програмного забезпечення, його тестування
5	Докладні вимоги по стандартизації і сертифікації	Отримання сертифікату ISO, відповідність технічним регламентам
6	Середня норма рентабельності в галузі (або на ринку),%	25

Аналіз пропозиції, загальних рис конкуренції на ринку наведено в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1	2	3	4
1	Тип конкуренції - олігополістичний	Ринок представлений невеликим числом конкурентів	Вихід на ринок може бути ускладнений через створення цінової політики олігополістичними групами
2	За рівнем конкурентної боротьби – національний	Продукт може бути застосований на всій території країни	Отримання відповідних сертифікатів та дозволів
3	За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Продукт вузькспеціалізований	Підвищення ефективності та функціональності

Продовження табл. 4.8

1	2	3	4
4	Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Створюється конкуренція між різними видами товарів, які можуть виконувати різні функції	Підвищення еколого-економічних показників продукту
5	За характером конкурентної переваги - не цінова	Увага звертається на якість та ефективність продукту	Вдосконалення технології відповідно до потреба споживача
6	За інтенсивністю – не марочна	Відсутнє первинне маркування продукції	У разі виходу товару на більший ринок можна перейти на марочну конкуренцію

За результатами умов конкуренції можна визначити фактори конкурентоспроможності (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, які роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Наявність нових конкурентів	Здійснення моніторингу ринку, спроби технічно випереджувати конкурентів
2	Наявність адаптивних систем	Робота над адаптивністю систем для впровадження на різні типи
3	Конкуренція між існуючими компаніями	Порівняння, аналіз товарів у конкурента, запозичення гарних тенденцій та запобігання їх помилок

Далі розробляється альтернатива ринкової поведінки і заходів, які допоможуть запустити стартап-проект на ринку і наблизити оптимальний час їх реалізації на ринку, дані наведено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсу	Строки реалізації
1	Участь у міжнародних конкурсах, грантових конкурсах	50%	10 місяців
2	Запуск реклами: поширення комерційних пропозицій цільовій аудиторії, запуск селективної реклами	70%	6 місяців
3	Продаж програмного продукту конкурентам за умов неспроможності реалізації	80%	1 рік

Найменш тривалим шляхом виходу на ринок з великою можливістю отримання прибутку є метод запуску реклами та поширення комерційних пропозицій серед цільової аудиторії потенційних користувачів. Разом з цим, даний метод характеризується простотою впровадження та незначною кількістю бюрократичних питань.

4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Ринкова стратегія – сукупність маркетингових заходів, за допомогою яких компанія має намір досягнути запланованих обсягів продажу і прибутку. Ринкова стратегія – мозок бізнесу, який вибирає цілі, напрями дій та необхідні для цього ресурси. Проект ринкової стратегії – перелік положень, що коротко описують цільовий ринок, спосіб позиціонування товару і величини обсягів продажу, яких планується досягнути за перші кілька років реалізації товару.

Щоб розробити ринкову стратегію, ми спочатку визначаємо стратегію виходу на ринок і характеризуємо цільові групи потенційних споживачів (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Комунальні підприємства	Попит існує постійно	Інтенсивність середнього рівня	Складність входу – низька
2	Енергетичні підприємства	Попит існує постійно	Інтенсивність високого рівня	Складність входу - висока
3	Компанії, що обслуговують спальновальні установки	Попит існує часто	Інтенсивність високого рівня	Складність входу - середня

На основі наведених результатів аналізу потенційних споживачів в якості цільової групи обираємо комунальні підприємства. Для охоплення ринку необхідно обрати базову стратегію розвитку (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 – Визначення базової стратегії

№	Обрана альтернатива	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні пропозиції	Базова стратегія розвитку
1	Запуск рекламної компанії	Стратегія концентрованого ринку	Створення спеціалізованого маркетингового комплексу, спрямованого на задоволення потреб обраного сегмента: використання всіх конкурентоспроможних позицій	Стратегія спеціалізації

Далі наводиться базова стратегія конкурентної поведінки (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопроходцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати ключові характеристики товару конкурента і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	На ринку вже існують програми, що розраховують концентрації забруднюючих речовин у повітрі, однак пропонується метод вперше для розрахунку застосовує вологість відходів, яка залежить від морфологічного складу відходів	Пошук нових споживачів і «відбирання» споживачів у конкурентів буде проходити через обмежене коло цільового сегмента.	Частково, буде здійснюватись дублювання деяких функцій чи параметрів розрахунку, які є обов'язковими до виконання	Стратегія конкурентної ніші

Відповідно до вимог споживача обраної цільової групи і виходячи з базової стратегії конкурентної поведінки, ми розробляємо стратегію позиціонування, необхідну для формування ринкових пропозицій, на підставі яких споживач повинен визначити пропонується проект (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги цільової аудиторії до товару	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту
1	Висока ефективність, розумна ціна, рішення, що забезпечують екологічні та економічні вигоди без втручання в основні технології виробництва	Стратегія спеціалізації	Максимальний коефіцієнт ефективності розрахунку Низька вартість продукту та зменшення амортизаційних відрахувань	Селективна реклама Створення товарного знаку

4.6 Ключові види діяльності та ключові партнери

Для реалізації запропонованого проекту потрібно мати розуміння способів отримання необхідних ресурсів та обрання ключових партнерів [71, 72]. Дані наведено в табл. 4.15 та табл. 4.16.

Таблиця 4.15 – Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис	Результати діяльності
Підбір морфологічного складу ТПВ	Для ефективності та підвищення ККД спалювання раціональне поєднання морфологічного складу ТПВ є важливою характеристикою	Визначений морфологічний та відсотковий склад ТПВ
Підбір оптимальної вологості суміші, за необхідності – підсушування	Ефективність процесу випалення шкідливих речовин залежить від ступеню вологості суміші відходів	Спалювання відходів при мінімальних кількостях викидів
Управління методом	Оплата праці для персоналу	Ефективна діяльність при виконанні роботи

Ключовими партнерами вважаються інші компанії, які доповнюють аспекти бізнес-моделі і додають цінності споживачу.

Таблиця 4.16 – Ключові партнери

Інформація	Партнер №1	Партнер№2
Назва організації підприємства	ТОВ «Горинь Теплоінвест»	ТОВ «Вітязь»
Місце розташування	Хмельницька область, Ізяславський район, м. Ізяслав, вул. Онищука, 11	Полтавська область, с.Степне, вул. Калинова, буд.1В
Юридичний статус	Юридична особа	Юридична особа
Офіційна адреса	Хмельницька область, Ізяславський район, м. Ізяслав, вул. Онищука, 11	Полтавська область, с.Степне, вул. Калинова, буд.1В
Контактна особа	Захарчук Сергій Васильович	Дакало Олександр Олексійович
Телефон	0385240540	559050
Роль та залученість	Співпраця	Співпраця
Завдання, які покладаються на партнера	Інвестування проекту в обмін на вдосконалення установок для спалювання відходів	Інвестування проекту в обмін на вдосконалення установок для спалювання відходів

4.7 Матеріальні витрати та розрахунок собівартості проекту

Для виконання проекту необхідні витрати на матеріальні та нематеріальні ресурси. Їх кількісна та якісна характеристика наведена в табл. 4.17.

Таблиця 4.17 – Матеріальні витрати на проект

Назва ресурсу	Одиниці вимірювання	Ціна	Кількість	Сума, грн
Ліцензійне середовище програмування та веб дизайну	шт	1750	4	7000
Комп'ютерна техніка	шт	8000	2	16000
Заробітна плата розробникам, дизайнерам тощо	ставка	13000	4	52000
Усього для проекту:				75000 грн

4.8 Бізнес-модель проекту

Бізнес-модель проекту (Business Canvas Model) – це один з інструментів стратегічного управління для підприємців. Авторами та творцями цього інструменту є Алекс Остервальдер (Alexander Osterwalder) та Ів Піньє (Yves Pigneur). Перш ніж

починати шукати джерела зовнішнього фінансування, потрібно спочатку розробити базову бізнес-модель. Бізнес-модель – це своєрідний план, який компанія реалізує для отримання доходу від своєї діяльності. Бізнес-модель також розглядається як ряд відносин, які беруть участь у створенні вартості. Створення цінності і турбота про клієнтів – це те, що відрізняє бізнес-моделі, які в основному орієнтовані на ринок, від тих, які, серед іншого, спрямовані на досягнення соціальних і культурних цілей. Схематичне зображення бізнес моделі наведено в табл. 4.18.

Таблиця 4.18 – Бізнес-модель проекту

Ключові партнери Підприємства-виробники котлоагрегатів, установок для спалювання. Підприємства-виробники промислових сушильних установок.	Ключові дії Розробка програмного забезпечення; Пошук клієнтів; Рекламування проекту; Сервісна підтримка.	Ключові цінності Економічна вигода: менше викидів – менший податок; Підвищення терміну експлуатації установок; Економія часу під час вибору оптимального режиму спалення.	Взаємовідносини з клієнтами Сервісна підтримка; Допомога при виникненні питань чи проблем.	Сегменти споживачів комунальні підприємства; енергетичні підприємства; фізичні особи.
	Ключові ресурси Кошти (для зароб. плати, обладнання, ліцензійних програм, реклами, додаткових витрат – 100 тис. грн) Час (написання програми, тестування, оформлення – 1 місяць); Розумові здібності (знання програмування, дизайну, розуміння процесу спалення)		Канали збуту Канал нульового рівня – прямого маркетингу: безпосередній продаж товару клієнтам; Соціальні мережі; Професійні виставки; Реклама.	
Структура витрат Електроенергія, комп’ютери, ліцензійні програми, заробітна плата, рекламування - 100 тис. грн			Потоки доходів Інвестори, партнери, продаж програмного забезпечення	

Висновки до розділу 4

1. Сформульовано основну ідею проекту – створення програмного забезпечення з використанням алгоритмів, визначених у попередньому розділі, яке буде розраховувати концентрацію викидів забруднюючих речовин при спалюванні відходів. При цьому дана концентрація буде залежати від вологості суміші ТПВ.

2. Визначено основні групи споживачів – комунальні підприємства, які утилізують відходи методом термічної обробки, енергетичні підприємства, які в якості палива можуть використовувати ТПВ та обслуговуючі компанії установок для спалювання.

3. Встановлено основні можливості та загрози для пропонованого проекту за допомогою формування SWOT-аналізу. За альтернативу ринкового впровадження стартап проекту вибрано запуску реклами та поширення комерційних пропозицій серед цільової аудиторії потенційних користувачів.

4. Визначено основні стратегії проекту – базову, конкурентної поведінки та позиціонування. Встановлено основні вимоги споживачів до товару та ключові конкурентоспроможні позиції проекту.

5. Розроблено бізнес-модель проекту, в якій вказано основні характеристики розроблюваного проекту: споживачі, цінності, дії, партнери тощо.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано ситуацію поводження з твердими побутовими відходами. Вивчено ієрархію пріоритетів: зменшення відходів, повторне використання, переробка, утилізація, захоронення.

2. Досліджено вплив сміттєзвалищ на довкілля – атмосферу, ґрунти та води. Виявлено, що кількість звалищного газу, яких виділяється з полігонів у навколишнє середовище змінюються з часом, кількістю та якістю. А кількість утвореного осаду, який потрапляє у ґрунти та підземні води, залежить головним чином від кількості опадів та типу покриву сміттєзвалища – дані параметри головним чином впливають як на вологість відходів, так і на кількість вологи, що проникає всередину сміттєзвалища.

3. Розглянуто технології утилізації побутових відходів, виділено три види енергетичної (отримання енергії з відходів) утилізації: збір біогазу на полігонах, механіко-біологічна обробка, термічна обробка змішаних ТПВ. Встановлено, що термічна обробка є найбільш ефективним методом скорочення відходів і необхідності їх видалення.

4. Здійснено багатокритеріальний аналіз технологій термічної обробки з використанням парних порівнянь. Порівняння проводилось для п'яти технологій за вісьмома критеріями. За результатами розрахунків було визначено оптимальну технологію – спалювання в барабанних/обертових печах.

5. Було проведено огляд впливів забруднюючих речовин, що виділяються в процесі спалювання побутових відходів. Наведено характеристики їх впливу на довкілля та здоров'я людини. Викиди можуть мати різний характер впливу. Залежно від шкідливості впливу речовини поділяють на класи небезпеки 1-4, де 1 клас – надзвичайно небезпечні, 4 – малонебезпечні.

6. Виявлено, що побутові відходи мають найбільший показник вологості. Це пояснюється великим вмістом в них органічних відходів, в яких діапазон значень вологості коливається від 50 до 80%.

7. Розраховано показник оптимальної вологості для спалювання відходів, при якому кількість викидів буде мінімальною. Для спрощення розрахунку застосовувались програмні забезпечення Microsoft Excel та MathCad. При визначенні використовувались значення вологості та концентрації викидів при них. Шляхом перетворень, співвідношень та розрахунків встановлено залежності для кожного з викидів. Використовуючи коефіцієнти, які враховують клас небезпеки речовин та додавши всі значення було знайдено мінімальне значення викидів та вологості, при якій спостерігається це значення – 5%.

8. Створено алгоритм розрахунку, за яким можна визначити кількість викидів, що утвориться при спалюванні конкретної суміші ТПВ. Даний алгоритм використовує типові значення вологості для відходів. Ввівши відсоткові значення для кожного з типів відходів (список надається) розраховується узагальнене значення вологості суміші. Після цього, значення вологості вказується у робочому діапазоні. Програма автоматично виконує всі розрахунки та виводить результат на екран.

9. Розроблено стартап-проект програмного забезпечення для визначення викидів при спалюванні відходів. Проведено технологічний аудит ідеї проекту, визначено потенційні загрози та можливості в ході реалізації проекту. Визначено, що повна вартість проекту становить 100 тис. грн. Встановлено що на товари даного типу існує попит, крім того динаміка ринку зростає.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. D. Hoornweg, P. Bhada-Tata. What a waste A Global Review of Solid Waste Management. *Urban Development Series Knowledge Papers*. 2012. №15. С. 8–13.
2. Утворення та поводження з відходами. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2006/ns_rik/ns_u/opap_u2005.html.
3. Waste Classification. *Environmental Protection Agency*. 2015. С. 6 URL: https://www.epa.ie/pubs/reports/waste/stats/wasteclassification/EPA_Waste_Classification_2015_Web.pdf.
4. Довга Т. М. Класифікація побутових відходів як передумова ефективності їх рециклінгу в Україні. *Економічний часопис XXI*. 2011. №5. С. 50–53.
5. Тверді побутові відходи в Україні: ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ. *Міжнародна фінансова корпорація*. 2011. №3. С. 13–17.
6. Garfi M. Waste Disposal In Developing Countries And Emergency Situations. URL: https://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase/15-384paper_long.pdf.
7. Solid Waste Management in Developing Countries. *SANDEC / EAWAG*. 2013. С.1-4 URL: https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/General_Overview/Zurbruegg_2002_SWM_DC.pdf.
8. Dhokhikah Y., Trihadiningrum Y. Solid waste management in Asian developing countries: Challenges and opportunities. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. 2012. №4. С. 329–333.
9. Душкін С. С., Дегтяр М.В. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія утилізації твердих побутових відходів». Харків: ХНАМГ, 2011. 86 с.
10. Про відходи: Закон України від 5 березня 1998р. № 36-37 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>

11. Як українці знищували країну. *Україна комунальна*. 2012. № 6. URL: <http://jkg-portal.com.ua/ua/publication/one/jakukrajinc-znishhuvali-krajinu-29583>
12. Довга Т.М. Основні тенденції та закономірності утворення і переробки твердих побутових відходів в Україні. *Ефективна економіка*. 2012. №10. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1491>
13. Поводження з побутовими та подібними відходами. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/ns_rik/ns_u/pzppv_2013_u.html
14. Управління відходами та ресурсами: короткий опис Директив ЄС та графіку їх реалізації. URL: http://www.if.gov.ua/files/uploads/Waste_brochure.pdf.
15. Ferrari K., Gamberini R. The waste hierarchy: a strategic, tactical and operational approach for developing countries. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2016. №5. С. 759–770.
16. Guidance on the interpretation of key provisions of Directive 2008/98/EC on waste. URL: https://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/guidance_doc.pdf
17. Rethinking the Waste Hierarchy. *Environmental Assessment Institute Linnésgade* 18. 2015. URL: https://dors.dk/files/media/graphics/Synkron-Library/Publikationer/IMV/2005/waste_hierarchy.pdf.
18. Волошин П. В. Аналіз впливу львівського сміттєзвалища на природне середовище. *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. 2012. №26. С. 139–147.
19. Стратегія інтегрованого поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) у Тульчинському цільовому регіоні – Тульчин: DESPRO, 2012. 45 с.
20. Ionel Bistricean D. The impact of municipal solid waste landfills in Suceava County on air quality. *GEOREVIEW*. 2014. №10. С. 32–39.
21. A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste. URL: https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/econy_eva_landfill_annex.pdf

22. Infiltration. *Urban Stormwater Management Manual*. 2017. №7. С. 32–36. URL: <https://www.water.gov.my/jps/resources/auto%20download%20images/58464d5215bbe.pdf>
23. Kjeldsen P. Composition of leachate from old landfills in Denmark. *Waste Management & Research*. 2011. №19. С. 249–256.
24. Pusch R., Knutsson S. Environmental Impact Assessment for Waste Treatment and Disposal Facilities. *Natural Science*. 2013. №5. С. 342–348.
25. Гребенюк Т. В., Попач М.В. Аналіз методів термічної обробки твердих побутових відходів. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2019. №11. С. 92–97.
26. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В.О. Дубровін та ін; за заг. ред .В.В. Криворучко. К: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. 137 с.
27. Каратєєва О. І., Коваль О. А., Гроза В. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства : курс лекцій. Миколаїв : МНАУ, 2018. 190 с.
28. Парфенюк, А. С. Ефективний шлях вирішення проблеми твердих відходів в Україні – індустріальна термолізно-енергетична рекуперація. *Безпека життєдіяльності*. 2005. № 12. С. 36–41
29. Войтенко В.Г., Рубан Б. Б. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок. *Техніка і технології АПК*. 2012. № 2 (29). С. 18–21.
30. Кращі європейські практики управління відходами (посібник) / А. Войціховська та ін.; за заг. ред. О. Кравченко. Львів: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2019. 64 с.
31. Альтернативна енергетика: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / М.Д. Мельничук, В.О. та ін.; за заг. ред. В.Г. Мироненко. – К: «Аграр Медіа Груп», 2012. 244 с.
32. Combustion characteristics. URL: <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c15/Combustion%20characteristics.pdf>.

33. Pierucci S. Numerical Simulation of Combustion Process of Fuel Gas Mixtures at Refining Industry / S. Pierucci. *Chemical engineering transactions*. 2015. №43. С. 1351–1356.
34. Sadaka S. Biomass Combustion / S. Sadaka, D. Johnson. *Division of agriculture. Research & Extension*. 2017. №3. С. 156–172.
35. Матвеев Ю. Б., Гелетука Г.Г. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні. Київ: Біоенергетична асоціація України, 2019. 48 с.
36. Blijderveen M. Ignition and combustion phenomena on a moving grate. Enschede: Uitgeverij BOXPress, Oisterwijk, 2012. 161 с.
37. Solid Waste Management. URL: <http://brbock.com/RefFiles/FluidBedSolutions.pdf>.
38. Jitka H. Fluidized bed conversion of biomass and waste. *IEA Bioenergy*. 2017. №33. С. 7–13.
39. Anjireddy Bhavanam. Biomass Gasification Processes in Downdraft Fixed Bed Reactors: A Review. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 2011. №2. С. 425–433.
40. Трофімов І.Л., Яковлєва А.В. Аналіз потенціалу твердих побутових відходів як сировини для виробництва альтернативних палив в Україні. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. Київ, 2016. С. 105–111.
41. Орфанова М.М. Использование механохимических процессов для решения проблем утилизации отходов. *Екологія*. – Луганськ: Східноукраїнський нац. ун-т ім. В. Даля. 2008. №1. С 71-73.
42. Щербина В.Ю., Лобко С.С. О повышении энергоэффективности возвращающихся. *Міжнародна наукова конференція «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – б»*. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2016. №6. С. 376-380.
43. Balubaid M., Alamoudi R. Application of the analytical hierarchy process (AHP) to multi-criteria analysis for contractor selection. *American journal of industrial and business management*. 2015. № 09. С. 581–589.

44. Штоер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория вычисления и приложения: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1992. 504с.
45. Sztékler K. Utilization of waste heat from rotary kiln for burning clinker in the cement plant. *E3S Web of Conferences*. 2016. №10. С. 3–5.
46. Reuter M., Yang Y. Incineration of hazardous waste in rotary kilns: better understanding through process simulation. *Clean Environment for All: Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Concerns*. 2014. №10. С. 1418–1428.
47. Lombardi F., Lategano E. Waste incineration in rotary kilns: A new simulation combustion tool to support design and technical change. *Waste Management & Research*. 2013. №4. С. 740–749.
48. WasteGasification & Pyrolysis: High Risk,Low YieldProcesses for WasteManagement. URL: <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Waste-Gasification-and-Pyrolysis-high-risk-low-yield-processes-march-2017.pdf>.
49. Gasification and Pyrolysis – Reliable Options for Waste Treatment? URL: https://www.vivis.de/wp-content/uploads/WM3/2012_WM_403_411_Gleis.pdf.
50. Rensfelt E., Östman A. Sub-task 6. Gasification of Waste. 2019. –102 с.
51. Martinez D., Ganiron T. Use of Fluidized Bed Technology in Solid Waste Management. *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*. 2014. №1. С. 223–232.
52. Potential advantages of incineration in fluidized beds. URL: <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/nawtec/National-Incinerator-Conference/National-Incinerator-Conference-02.pdf>.
53. Waste disposal by fluid bed incineration and energy recovery modes. URL: <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/nawtec/National-Waste-Processing-Conference/National-Waste-Processing-Conference-01.pdf>
54. Brief M. Incineration of Municipal Solid Waste. London: Department for Environment, Food & Rural Affairs, 2013. – 56 с.

55. Municipal Solid Waste Incineration. URL: <http://web.mit.edu/urbanupgrading/urbanenvironment/resources/references/pdfs/MunicipalSWIncin.pdf>.

56. Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices. URL: http://toolkit.pops.int/Publish/Downloads/ENG_03-Cement%20kilns%20firing%20hazardous%20waste.pdf.

57. Carroll W., Fiani E. Technical report on energy efficiency and production of unintended pops. Washington: Global Environment Facility, 2009. 69 с.

58. Cherinko O. Balanyuk A. Waste Management in Ukraine Opportunities for Dutch Companies. Kyiv: Bilfinger Tebodin Ukraine CFI, 2018. 66 с.

59. Waste Incineration. URL: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi_bref_0806.pdf.

60. Лялин В. Е., Хайбулин Р. Г. Применение метода анализа иерархий для оценки эффективности установок термического уничтожения отравляющих веществ. *Штучний інтелект*. 2008. №4. С. 103–108.

61. Hydrochloric Acid. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/hydrochloric-acid.pdf>.

62. Pinder R., Gilliland A. Environmental Impact of Atmospheric NH₃ Emissions Under Present and Future Conditions in the Eastern United States. *Geophysical research letters*. 2008. №35. С. 128–136.

63. Hydrogen cyanide and cyanides: human health aspects. URL: <https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad61.pdf>.

64. Hydrogen sulfide: human health aspects. URL: <https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad53.pdf>.

65. Sulphur Dioxide: Environmental Effects, Fate and Behaviour. URL: <https://open.alberta.ca/dataset/7d1569bc-5e5c-450e-a31d-9b25838df6c4/resource/8e81da9e-0d55-45dd-9eb7-9cdfa22f0637/download/2003-sulphurdioxideeffects-fatebehaviour-2003.pdf>.

66. Carbon disulfide. URL:
https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad46_rev_1.pdf.
67. Kanfoud S. Municipal Solid Waste Management in Constantine, Algeria / S. Kanfoud, S. Kouloughli. // Journal of Geoscience and Environment Protection. – 2017. – №5. – С. 25–31.
68. Круш П.В., Шевчук Н.А. Стартап-проект. Рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації «Розроблення стартап-проекту». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 50 с.
69. Krush P., Shevchuk N. Startup-project: Recommendations for the elaboration of the Master's thesis section «Startup Project Elaboration. Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2019. 50 p.
70. Шевчук Н.А. Розробка та впровадження стартап проекту на прикладі геосинтетичного модуля-опалубки. К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2019 С.32-40.
71. Шевчук Н.А., Зайченко С.В., Кривда О.В. Впровадження та реалізація стартап проекту геомехатронного комплексу. Сучасні проблеми економіки і підприємництво. К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2018 С. 94-101.
72. Шевчук Н.А. Впровадження та реалізація стартапів в гірництві. *Міжнародна науково-технічна конференція*. К.: НТУУ «КПІ», 2018. С. 89-90.