

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Попач Марія Валеріївна

«На правах рукопису»
УДК 62-665.3

**ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В МІСЦЯХ
СПАЛЮВАННЯ ПОБУТОВОГО СМІТТЯ**

Спеціальності 101 «Екологія»

АВТОРЕФЕРАТ
магістерської дисертації

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського» Міністерства освіти і науки України в Інституті енергозбереження та енергоменеджменту, на кафедрі інженерної екології

Науковий керівник:

Доцент кафедри інженерної екології, кандидат технічних наук, доцент

Гребенюк Тетяна Володимирівна

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім.

І.Сікорського»

Захист відбудеться «17» грудня 2019 року о 14⁰⁰ годині на засіданні ЕК при Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул.Борщагівська, буд. 115, ауд. 201

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, просп. Перемоги,37

Секретар ЕК,
асистент кафедри
інженерної екології ІЕЕ
НТУУ «КПІ» ім. Ігоря
Сікорського

Євтеєва Л.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є аналіз впливу забруднюючих речовин на компоненти навколишнього середовища при процесі спалювання відходів.

Завдання:

- 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.

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

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

Методи дослідження – метод аналізу та синтезу, аналітичні, статистичні та методи оптимізації, метод обробки інформації з використанням програмних забезпечень.

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

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

Публікації та апробація результатів дисертації. Основні положення та результати досліджень викладено в доповідях, обговорено й апробовано на науково-практичних конференціях: II Науково-технічна конференція магістрантів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів); опубліковано статтю в науковому журналі iScience «Аналіз методів термічної обробки твердих побутових відходів».

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, основних висновків, списку використаних джерел із 72 найменувань. Робота складається з 82 сторінок основного тексту та містить 12 рисунків, 32 таблиці. Загальний обсяг роботи – 101 сторінка.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено актуальність, сформульовано мету та основні завдання дисертаційної роботи.

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

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.

Джерела відходів можна поділити на групи:

- житлові;
- комерційні;
- інституційні;
- промислові (відходи без переробки);
- громадські;
- будівництво та знесення;
- комунальні послуги (без очисних споруд);
- очисні споруди;
- промислові;
- сільськогосподарські.

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 за 2010-2018 рр. середня кількість утворених відходів України становила близько 384 млн.т за рік (рис 1.1).

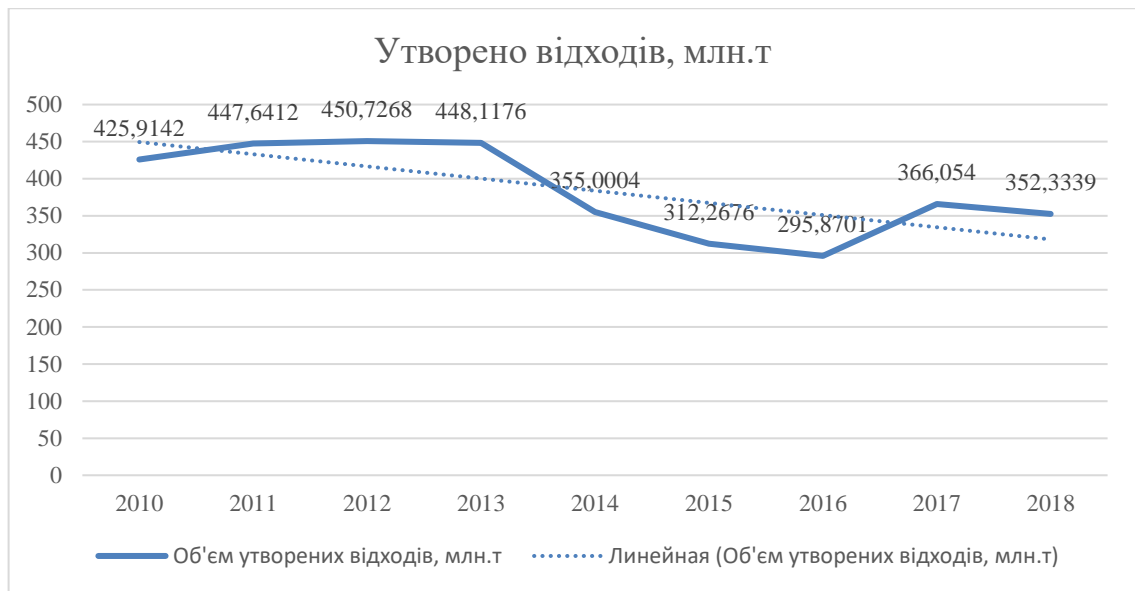


Рисунок 1.1 – Динаміка утворення відходів в Україні

У Євросоюзі існує класифікація для полегшення поводження з відходами, в тому числі для небезпечних відходів. Список відходів 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:

1. Рідкі відходи.
2. Тверді відходи:
 - пластикові відходи;
 - відходи паперу/картон;
 - банки та метали;
 - кераміка та скло.
3. Органічні відходи.
4. Відходи для переробки.
5. Небезпечні відходи.

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.

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.

Статистичні дані, 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 1.2 – Поводження з побутовими відходами в Україні

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.

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. Метою ієрархії відходів є отримання максимальної практичної користі від продуктів та отримання мінімальної кількості відходів.

У **другому розділі** наведено вплив сміттєзвалищ на довкілля. Розглянуто технології утилізації відходів: збір біогазу на полігонах, механіко-біологічна обробка ТПВ та термічна переробка змішаних відходів. Проведено порівняння методів термічної обробки відходів. Здійснено багатокритеріальний аналіз варіантів з використанням парних порівнянь, вибрано оптимальну технологію утилізації відходів.

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.

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).

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.

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.

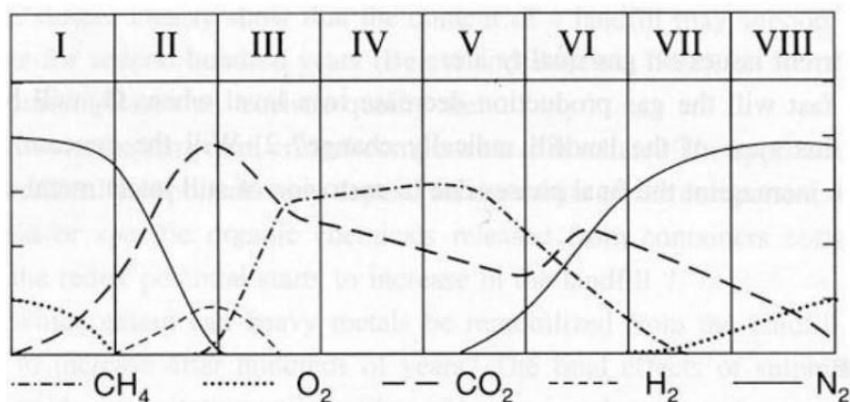


Рисунок 2.1 – Загальні тенденції щодо складу звалищних газів протягом різних фаз життя сміттєзвалища

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.

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.

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.

Різниця основних компонентів вулугових вод з часом показана на рис. 2.2.

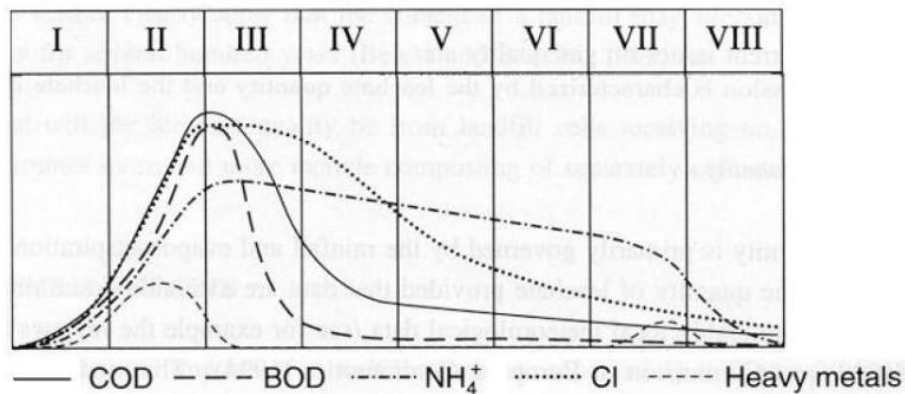


Рисунок 2.2 – Загальні тенденції складу вилугових вод протягом різних фаз життя сміттєзвалища

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.

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.

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 (nхn). Елементом матриці а (i, j) є інтенсивність прояву елемента ієрархії і щодо елемента ієрархії j, яка оцінюється за шкалою інтенсивності від 1 до 9, де оцінки мають значення, наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – 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 А. В процесі заповнення матриці, якщо елемент і важливіше елемента j, клітинка (i, j), відповідна рядку і і стовпцю j, заповнюється цілим числом, а якщо елемент j важливіше елемента і, 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 $AW = \lambda_{\max} W$, де λ_{\max} - максимальне власне значення матриці А.

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 $IY = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$, 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.

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:

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

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].

$$\text{Власний вектор матриці позначається: } AC_{11} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} \quad (3)$$

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:

$$AC_{11} := \begin{pmatrix} \sqrt[5]{AC_{100} \cdot AC_{101} \cdot AC_{102} \cdot AC_{103} \cdot AC_{104}} \\ \sqrt[5]{AC_{110} \cdot AC_{111} \cdot AC_{112} \cdot AC_{113} \cdot AC_{114}} \\ \sqrt[5]{AC_{120} \cdot AC_{121} \cdot AC_{122} \cdot AC_{123} \cdot AC_{124}} \\ \sqrt[5]{AC_{130} \cdot AC_{131} \cdot AC_{132} \cdot AC_{133} \cdot AC_{134}} \\ \sqrt[5]{AC_{140} \cdot AC_{141} \cdot AC_{142} \cdot AC_{143} \cdot AC_{144}} \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\text{Визначається сума елементів цього стовпчика: } \sum AC_{11} \quad (5)$$

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:

$$AC_{111} := \begin{pmatrix} \frac{AC_{110}}{\sum AC_{11}} \\ \frac{AC_{111}}{\sum AC_{11}} \\ \frac{AC_{112}}{\sum AC_{11}} \\ \frac{AC_{113}}{\sum AC_{11}} \\ \frac{AC_{114}}{\sum AC_{11}} \end{pmatrix} \quad (6)$$

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

$$ВУ = \frac{IУ}{СУ} \leq 0,2 \quad (7)$$

де ВУ – відношення узгодженості,

IУ – індекс узгодженості,

СУ – значення, що відповідає середній випадковій узгодженості матриці даного порядку.

Значення СУ наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – 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:

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

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.

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

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

$w(i)$ – значення i -го критерію.

Глобальні пріоритети розраховуються:

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

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.

Згідно даних формул було проведено аналіз по восьми критеріях. Результати такого аналізу наведено далі.

$$P_0 := (AC111_0 \cdot W1) + (AC222_0 \cdot W2) + (AC333_0 \cdot W3) + (AC444_0 \cdot W4) + (AC555_0 \cdot W5) + (AC666_0 \cdot W6) + (AC777_0 \cdot W7) + (AC888_0 \cdot W8) = 3,137$$

$$P_1 := (AC111_1 \cdot W1) + (AC222_1 \cdot W2) + (AC333_1 \cdot W3) + (AC444_1 \cdot W4) + (AC555_1 \cdot W5) + (AC666_1 \cdot W6) + (AC777_1 \cdot W7) + (AC888_1 \cdot W8) = 0,758$$

$$P_2 := (AC111_2 \cdot W1) + (AC222_2 \cdot W2) + (AC333_2 \cdot W3) + (AC444_2 \cdot W4) + (AC555_2 \cdot W5) + (AC666_2 \cdot W6) + (AC777_2 \cdot W7) + (AC888_2 \cdot W8) = 0,932$$

$$P_3 := (AC111_3 \cdot W1) + (AC222_3 \cdot W2) + (AC333_3 \cdot W3) + (AC444_3 \cdot W4) + (AC555_3 \cdot W5) + (AC666_3 \cdot W6) + (AC777_3 \cdot W7) + (AC888_3 \cdot W8) = 1,393$$

$$P_4 := (AC111_4 \cdot W1) + (AC222_4 \cdot W2) + (AC333_4 \cdot W3) + (AC444_4 \cdot W4) + (AC555_4 \cdot W5) + (AC666_4 \cdot W6) + (AC777_4 \cdot W7) + (AC888_4 \cdot W8) = 1,821$$

Вектор глобальних пріоритетів:

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

Узагальнені дані наведено в табл. 2.3, де вказано найменування критерію, за яким була оцінена технологія, значення вектору локального пріоритету, відношення узгодженості та значимість критерію для кожного варіанту. 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 новій технології – обробка з використанням піролізу чи газифікації.

Таблиця 2.3 – 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	$AC_{111} := \begin{pmatrix} AC_{111_0} \\ AC_{111_1} \\ AC_{111_2} \\ AC_{111_3} \\ AC_{111_4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.515 \\ 0.15 \\ 0.146 \\ 0.092 \\ 0.096 \end{pmatrix}$	0,044	1,0
С ₂ – незалежність ефективності спалювання від попередньої підготовки чи сортування сміття (необхідність подрібнення і підвищення однорідності)	$AC_{222} := \begin{pmatrix} AC_{222_0} \\ AC_{222_1} \\ AC_{222_2} \\ AC_{222_3} \\ AC_{222_4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.436 \\ 0.07 \\ 0.081 \\ 0.109 \\ 0.305 \end{pmatrix}$	0,046	1,0
С ₃ – здатність генерувати тепло і електрику для різних систем використання	$AC_{333} := \begin{pmatrix} AC_{333_0} \\ AC_{333_1} \\ AC_{333_2} \\ AC_{333_3} \\ AC_{333_4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.535 \\ 0.078 \\ 0.183 \\ 0.163 \\ 0.041 \end{pmatrix}$	0,046	1,0
С ₄ – складність обладнання (простота обслуговування, надійна експлуатація)	$AC_{444} := \begin{pmatrix} AC_{444_0} \\ AC_{444_1} \\ AC_{444_2} \\ AC_{444_3} \\ AC_{444_4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.498 \\ 0.067 \\ 0.087 \\ 0.245 \\ 0.104 \end{pmatrix}$	0,066	1,0
С ₅ – кількість утворених відходів, обсяг димових газів (спалювання твердих відходів; ступінь концентрації)	$AC_{555} := \begin{pmatrix} AC_{555_0} \\ AC_{555_1} \\ AC_{555_2} \\ AC_{555_3} \\ AC_{555_4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.331 \\ 0.071 \\ 0.093 \\ 0.129 \\ 0.377 \end{pmatrix}$	0,052	1,0

Продовження табл. 2.3

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

У третьому розділі проаналізовано вплив забруднюючих речовин, що виділяються при спалюванні відходів. Досліджено типові вологості для різних груп відходів. Встановлено залежності для кожного з викидів, наведено їх графічний вигляд. У програмному забезпеченні MathCad для кожного викиду розраховано його кількість при заданих значеннях вологості суміші. Визначено оптимальне значення вологості для спалювання суміші. Розроблено алгоритм, за яким можна визначити сумарну кількість забруднюючих речовин що надходить у доквілля в процесі термічної утилізації відходів.

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

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

При різних кількостях вологи у суміші ТПВ під час спалювання у довкілля надходять забруднюючі речовини з різною концентрацією. Дані речовин та їх концентрацій наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – 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

Далі створюються графічні залежності для кожного з відходів.

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:

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

Після цього для кожної речовин знаходиться значення викидів в залежності від зміни вологості.

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. 3.2. Для подальших розрахунків речовинам надається коефіцієнт, який залежатиме від класу небезпечності речовини і показуватиме рівень впливу.

Таблиця 3.2 – 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 розраховується загальна 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.

Далі в програмі необхідно ввести морфологічний та відсотковий склад даних відходів. Після цього програма автоматично рахує вологість (WW) даної суміші.

$$W := \begin{pmatrix} 70 \\ 6 \\ 5 \\ 2 \\ 10 \\ 2 \\ 10 \\ 60 \\ 20 \\ 2 \\ 3 \\ 2 \\ 3 \\ 8 \\ 6 \\ 15 \end{pmatrix} \quad WW := I \cdot W = 22.4$$

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.3.1).

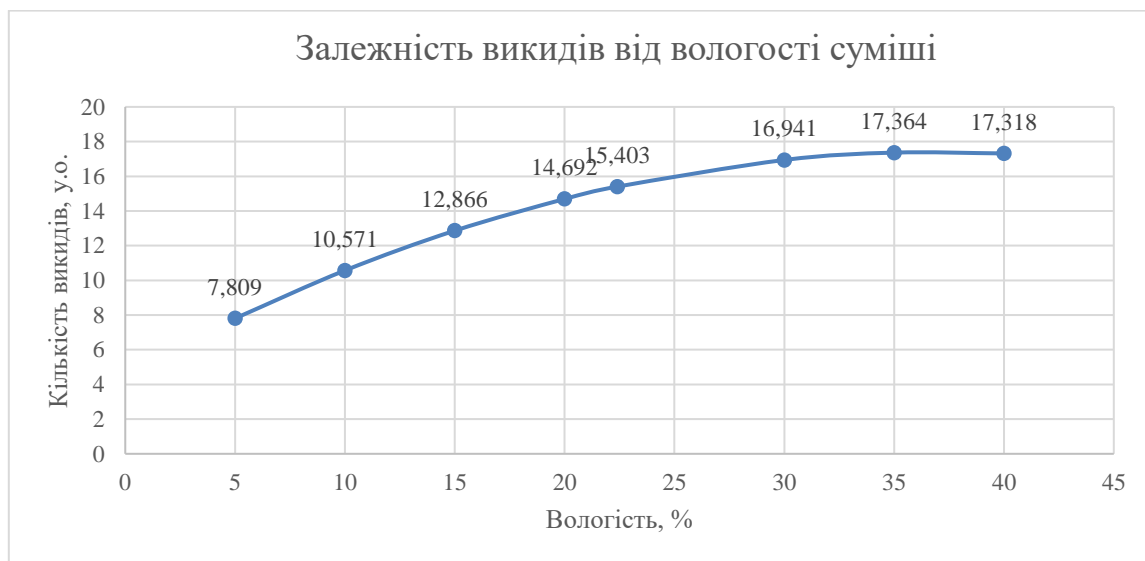


Рисунок 3.1 – Залежність викидів від вологості випадкової суміші

В четвертому розділі було розроблено стартап-проект для вирішення проблеми забруднення навколишнього середовища викидами від спалювання відходів шляхом застосування алгоритму розрахунку, який вказуватиме на кількість викидів, що виділятимуться при певних вологостях спалюваної суміші.

Основною ідеєю стартап проекту є створення алгоритму в програмному забезпеченні, який розраховуватиме кількість забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу в процесі спалювання відходів.

Опис ідеї наведено в таблиці 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	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сільське господарство. 2. Енергетична промисловість. 3. Комунальні підприємства. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Прогнозування кількості викидів при спалюванні відходів. 2. Підбір оптимального морфологічного складу ТПВ. 3. Підвищення ефективності установок. 4. Простота розрахунків.

Важливим етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, який виділяє сильні і слабкі сторони, загрози і можливості впровадження проекту на ринок (табл. 4.2):

Таблиця 4.2 – 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;

Наступним кроком є створення бізнес моделі.

Схематичне зображення бізнес моделі наведено в табл. 4.3.

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

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.
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.
4. Здійснено багатокритеріальний аналіз технологій термічної обробки з використанням парних порівнянь. 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.

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.

8. Створено алгоритм розрахунку, за яким можна визначити кількість викидів, що утвориться при спалюванні конкретної суміші ТПВ.

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.

АНОТАЦІЯ

Попач М.В. Оцінка впливу забруднюючих речовин в місцях спалювання побутового сміття.– Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістр за спеціальністю 101 – «Екологія». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Міністерство освіти та науки України, Київ, 2019.

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.

Термічна обробка ТПВ є найбільш ефективним методом скорочення відходів і необхідності їх видалення. Недоліком даного методу є значний вплив викидів, що потрапляють в атмосферу.

В роботі проаналізовано ситуацію поводження з твердими побутовими відходами. Вивчено ієрархію пріоритетів: зменшення відходів, повторне використання, переробка, утилізація, захоронення. Досліджено вплив сміттєзвалищ на довкілля – атмосферу, ґрунти та води. 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. Здійснено багатокритеріальний аналіз технологій термічної обробки з використанням парних порівнянь. Проведено огляд впливів забруднюючих речовин, що виділяються в процесі спалювання побутових відходів. Розраховано показник оптимальної вологості для спалювання відходів, при якому кількість викидів буде мінімальною. Створено алгоритм розрахунку, за яким можна визначити кількість викидів, що утвориться при спалюванні конкретної суміші ТПВ. 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.

Ключові слова: тверді побутові відходи, викиди, вологість, утилізація.

АНОТАЦИЯ

Попач М.В. Оценка воздействия загрязняющих веществ в местах сжигания бытового мусора.–Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени магистр по специальности 101–«Экология».– Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Министерство образования и науки Украины, Киев, 2019.

Рост количества бытового мусора, ведет к повышению уровня загрязнения окружающей среды, вызывает необходимость исследования оптимальных методов и параметров утилизации отходов, которые в свою очередь будут обеспечивать уменьшение негативного воздействия на окружающую среду.

Термическая обработка ТБО является наиболее эффективным методом сокращения отходов и необходимости их удаления. Недостатком данного метода является значительное влияние выбросов, попадающих в атмосферу.

В работе проанализирована ситуация обращения с твердыми бытовыми отходами. Изучено иерархию приоритетов: уменьшение отходов, повторное использование, переработка, утилизация, захоронение. Исследовано влияние свалок на окружающую среду - атмосферу, почвы и воды. Рассмотрены технологии утилизации бытовых отходов, выделено три вида энергетической (получение энергии из отходов) утилизации: сбор биогаза на полигонах, механико-биологическая обработка, термическая обработка смешанных ТБО. Осуществлено многокритериальный анализ технологий термической обработки с использованием парных сравнений. Проведен обзор воздействий загрязняющих веществ, выделяющихся в процессе сжигания бытовых отходов. Рассчитан показатель оптимальной влажности для сжигания отходов, при котором количество выбросов будет минимальной. Создан алгоритм расчета, по которому можно определить количество выбросов, образующегося при сжигании конкретной смеси ТБО. Разработан стартап-проект программного обеспечения для определения выбросов при сжигании отходов. Проведен технологический аудит идеи проекта, определены потенциальные угрозы и возможности в ходе реализации проекта. Определено, что полная стоимость проекта составляет 100 тыс. Грн. Установлено, что на товары данного типа существует спрос, кроме того динамика рынка растет.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, выбросы, влажность, утилизация.

ANNOTATION

Popach M.V. Assessment of the impact of pollutants on the incineration site.– Manuscript.

Thesis for a Master's Degree in the specialty 101–"Ecology".–National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The increase in the amount of household garbage, 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 a reduction of negative impact on the environment.

MSW heat treatment is the most effective method of waste reduction and the need to dispose of it. The disadvantage of this method is the significant impact of emissions into the atmosphere.

The paper analyzes the situation of solid waste management. The hierarchy of priorities has been studied: waste reduction, reuse, recycling, disposal, disposal. The effect of landfills on the environment - the atmosphere, soil and water - has been investigated. The technologies of household waste utilization are considered, three types of energy (energy recovery from waste) utilization are distinguished: biogas collection at landfills, mechanical and biological treatment, thermal treatment of mixed MSW. Multicriteria analysis of heat treatment technologies using paired comparisons was performed. The influence of pollutants released during the incineration of household waste is reviewed. The optimal humidity for waste incineration is calculated, at which the amount of emissions will be minimal. A calculation algorithm has been developed to determine the amount of emissions generated by the burning of a particular MSW mixture. A startup project for software for the determination of emissions from waste incineration has been developed. A technological audit of the project idea was carried out, potential threats and opportunities were identified during the project implementation. It is determined that the total cost of the project is 100 thousand UAH. It is established that there is a demand for this type of goods, in addition, the dynamics of the market is increasing.

Keywords: municipal solid waste, emissions, humidity, recycling.

Попач Марія Валеріївна

Оцінка впливу забруднюючих речовин в місцях спалювання побутового сміття

(Автореферат)