

Крот О.П.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ТЕРМІЧНОГО ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВІДХОДІВ

Використання термічного знешкодження твердих побутових відходів дозволяє знизити вплив на навколишнє середовище. Це поновлюване джерело енергії, яке не вимагає видобутку та обробки. Для спалювання відходів використовують багато технологій, які залежать від фізико-хімічних, енергетичних та екологічних показників. Вибір способу термічного знешкодження є важливою задачею. У цьому дослідженні пропонується використовувати багатокритеріальний метод прийняття рішень щодо вибору технології. Був застосований метод аналізу ієрархій. Матриці парних порівнянь заповнювались експертами. Розглянуті такі технології спалювання: в барабанних печах, термічна переробка відходів із використанням піролізу, спалювання на механічних колосникових решітках, у шарових топках, спалювання в цементних печах, спалювання в киплячому шарі.

Ключові слова: тверді побутові відходи, термічна обробка, експертна оцінка, багатокритеріальний вибір, метод аналізу ієрархій.

Постановка проблеми. Спалювання відходів – це метод знешкодження відходів, при якому високі температури використовуються для достатнього окиснення горючих компонентів у відходах. У порівнянні з полігонами і компостуванням спалювання є більш ефективним у роботі з муніципальними відходами через декілька переваг, таких як заняття порівняно невеликого простору, значне зменшення обсягу відходів і можливість отримання теплової та електричної енергії. Необхідно забезпечити, щоб процес спалювання відходів був нешкідливий для навколишнього середовища і здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними Євростату [1], країни Європейського Союзу досить широко використовують сміттєспалювальні підприємства, 27% побутового сміття в країнах Європи спалюється. Данія, Франція, Німеччина, Нідерланди, Швеція та Швейцарія мають найбільші встановлені потужності зі спалювання у відсотках від загального обсягу ТПВ. Спалювання також широко використовується за межами Європи. ТПВ є потенційним джерелом енергії як у розвинених, так і в країнах, що розвиваються [2; 3].

Термічне знешкодження відходів може здійснюватися різними методами: спалювання, газифікування і піроліз. Для цього використовуються різні конструкції печей, а саме камерні, барабанні, циклонні, з киплячим шаром та інші [4]. У про-

цесі спалювання відходів у печах існує кілька температурних зон: підсушування; підготовка відходів до спалювання; запалювання; горіння; допалювання. Горіння твердих відходів починається, коли температура шару досягає приблизно 600°C. Для якомога більш повного окиснення органічної частини відходів печі спалювання повинні забезпечити перемішування твердих відходів у процесі горіння для кращого проникнення кисню повітря в масу відходів. Для повного знешкодження токсичних компонентів у печі зберігаються і підтримуються досить високі температури, наприклад, у зоні допалювання температура складає від 1100 до 1500°C в залежності від природи спалюваних відходів. Застосування обертової печі для спалювання сміття дозволяє стабілізувати процес спалювання, забезпечити повне спалювання органічної частини сміття і забезпечити безперервне видалення шлаку. Основною вимогою до проектів по спалюванню відходів є використання високоєфективної системи очистки димових газів.

Для спалювання непідготовлених відходів, неоднорідних твердих побутових відходів застосовуються установки з обертовими барабанними печами або з рухомою колосниковою решіткою. Установки для спалювання в обертових печах більш універсальні, тому що вони можуть бути застосовані до руйнування твердих відходів, шлаків і контейнерних відходів, а також рідин. Через це вони найчастіше зустрічаються в комерційних

проектах. Обертюва піч являє собою горизонтальну циліндричну вогнетривку оболонку, встановлену на невеликому ухилі. Обертання корпусу забезпечує транспортування відходів через піч, а також поліпшує перемішування палаючих твердих відходів. Застосування водяного охолодження в установках з колосниковими печами дозволяє поліпшити управління горінням і переробляти відходи з більш високою теплою згорання. Печі з нерухомою колосниковою решіткою і пристроєм для переміщення відходів (наприклад, штовхачем) мають менше рухомих частин, але вимагають попередньої обробки відходів (наприклад, подрібнення і сортування). Для спалювання порівняно невеликих кількостей відходів добре підходять модульні установки з камерами допалювання. Для спалювання тонко подрібнених відходів зі стабільними властивостями, наприклад сміттевого палива, добре підходять печі з киплячим шаром. Існує досвід використання цементних печей для спалювання відходів.

Відомими є приклади застосування багатокритеріального аналізу для створення системи управління відходами в містах на основі існуючих правових статей та потоку утворених відходів [5] та приклади оцінки майданчика для розташування сміттєспалювальних заводів [6].

Нами запропоновано використати багатокритеріальний аналіз для вибору раціональної технології спалювання для конкретних умов. Зазвичай вибір технології був складною і важливою інженерною задачею. Тому для її розв'язання запропоновано застосувати метод ієрархій [7].

Формулювання цілей статті. За допомогою методу аналізу ієрархій вирішити задачу багатокритеріального вибору технології і обладнання термічного знешкодження відходів.

Виклад основного матеріалу. Установки порівнювалися за такими критеріями: найменший рівень негативного впливу на навколишнє середовище; залежність ефективності спалювання від попереднього сортування сміття, подрібнення і однорідності; можливість реалізації виробленої теплової та/або електричної енергії в загальну мережу за відповідними тарифами; складність обладнання (ремонтпридатність, простота його обслуговування, експлуатаційна надійність, ресурс), питомі капітальні витрати на тонну сміття; використання допоміжного палива; кількість шлаків (золи), що утворюються; характеристики відходів (фізико-хімічні властивості). Порівнювалися п'ять установок: спалювання в барабанних печах, термічна переробка відходів

з використанням піролізу, спалювання на механічних колосникових решітках в шарових топках, спалювання в цементних печах, спалювання в киплячому шарі.

Під час кількісної оцінки критерію діяльності системи за сукупністю параметрів необхідно провести ієрархічне представлення впливаючих факторів. Для цього застосовується метод аналізу ієрархій, який є одним із способів проведення складних експертиз. Метод аналізу ієрархій передбачає декомпозицію проблеми на більш прості складові частини.

Етапи застосування методу аналізу ієрархій. Попереднє ранжування критеріїв, у результаті якого вони розташовуються в порядку убуття важливості (значимості). Попарне порівняння критеріїв за важливістю за дев'ятибальною шкалою зі складанням відповідної матриці (таблиці) розміру $(n \times n)$. Система парних відомостей призводить до результату, який може бути представлений у вигляді обернено симетричної матриці. Елементом матриці $a(i, j)$ є інтенсивність прояву елемента ієрархії i відносно елемента ієрархії j , що оцінюється за шкалою інтенсивності від 1 до 9, де оцінки мають наступне значення: рівна важливість – 1; помірна перевага – 3; суттєва перевага – 5; значна перевага – 7; дуже велика перевага – 9; в проміжних випадках ставляться парні оцінки: 2, 4, 6, 8.

Під час проведення попарних порівнянь в основному ставляться такі питання в процесі порівняння елементів А і Б: який із них важливіший або має більший вплив; який із них більш ймовірний; який із них має більшу перевагу?

У результаті формується матриця парних порівнянь A порядку n . У процесі заповнення матриці якщо елемент i важливіше елемента j , то клітина (i, j) , відповідна рядку i і стовпцю j , заповнюється цілим числом, а клітина (j, i) , відповідна рядку j і одну i , заповнюється зворотним числом (дробом).

Обчислення власних векторів: перемножуючи елементи в кожному рядку, видобути корінь n -го ступеня, де n – число елементів. Отриманий таким чином стовпець чисел нормалізується діленням кожного числа на суму всіх чисел. Інший спосіб полягає в нормалізації елементів кожного стовпця матриці і потім в усередненні кожного рядка. Таким чином, ми можемо визначити не тільки порядок пріоритетів кожного окремого елемента, але і величину його пріоритету [8; 9]. Ранжування елементів, які аналізуються з використанням матриці парних порівнянь, здійснюється на основі обчислення головного власного вектора

даної матриці. Головний власний вектор визначається рівністю $AW = \lambda_{max}W$, де λ_{max} – максимальне власне значення матриці A .

Індекс узгодженості в кожній матриці i для всієї ієрархії може бути розрахований таким чином. Спочатку підсумовується кожен стовпець суджень, потім сума першого стовпця помножується на величину першої компоненти нормалізованого вектора пріоритетів, сума другого стовпця – на другу компоненту і т. д. Потім отримані числа підсумовуються. Таким чином можна отримати величину, що позначається λ_{max} . Для індексу узгодженості маємо $IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, де n – число порівнюваних елементів. Для оберненосиметричної матриці завжди $\lambda_{max} \geq n$.

Матриці парних порівнянь заповнені експертами мають такий вигляд:

– за критерієм найменший рівень негативного впливу:

$$AC1 := \begin{pmatrix} 1 & 7 & 2 & 9 & 2 \\ 0.14 & 1 & 0.5 & 5 & 4 \\ 0.5 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 0.11 & 0.2 & 1 & 1 & 1 \\ 0.5 & 0.25 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм залежність від підготовки сміття:

$$AC2 := \begin{pmatrix} 1 & 9 & 8 & 1 & 3 \\ 0.11 & 1 & 0.5 & 1 & 1 \\ 0.125 & 2 & 1 & 0.14 & 0.33 \\ 1 & 7 & 7 & 1 & 6 \\ 0.33 & 1 & 3 & 0.167 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм можливість реалізації виробленої енергії:

$$AC3 := \begin{pmatrix} 1 & 9 & 3 & 9 & 3 \\ 0.11 & 1 & 0.11 & 5 & 1 \\ 0.33 & 9 & 1 & 7 & 1 \\ 0.11 & 0.2 & 0.14 & 1 & 0.14 \\ 0.33 & 1 & 1 & 7 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм питомі капітальні витрати на тону сміття:

$$AC4 := \begin{pmatrix} 1 & 7 & 3 & 5 & 3 \\ 0.14 & 1 & 0.2 & 5 & 1 \\ 0.33 & 5 & 1 & 7 & 3 \\ 0.2 & 0.2 & 0.14 & 1 & 1 \\ 0.33 & 1 & 0.33 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм використання допоміжного палива:

$$AC5 := \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 & 1 & 3 \\ 0.33 & 1 & 0.33 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 7 \\ 0.33 & 1 & 0.33 & 0.14 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм кількість шлаків (золи), що утворюються:

$$AC6 := \begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 & 1 & 7 \\ 0.33 & 1 & 0.33 & 1 & 5 \\ 0.14 & 3 & 1 & 0.14 & 3 \\ 1 & 5 & 7 & 1 & 7 \\ 0.14 & 0.2 & 0.33 & 0.14 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм характеристики відходів (фізико-хімічні властивості):

$$AC7 := \begin{pmatrix} 1 & 3 & 4 & 1 & 4 \\ 0.33 & 1 & 0.33 & 1 & 5 \\ 0.25 & 3 & 1 & 0.14 & 3 \\ 1 & 5 & 7 & 1 & 7 \\ 0.25 & 0.2 & 0.33 & 0.14 & 1 \end{pmatrix}$$

Матриця парних порівнянь для оцінки рівня критеріїв:

$$K1 := \begin{pmatrix} 1 & 9 & 7 & 7 & 9 & 9 & 7 \\ 0.11 & 1 & 0.2 & 0.14 & 0.33 & 2 & 7 \\ 0.14 & 5 & 1 & 0.2 & 1 & 2 & 4 \\ 0.14 & 7 & 5 & 1 & 8 & 8 & 8 \\ 0.11 & 3 & 1 & 0.125 & 1 & 3 & 5 \\ 0.11 & 0.5 & 0.5 & 0.125 & 0.33 & 1 & 8 \\ 0.14 & 0.14 & 0.25 & 0.125 & 0.2 & 0.125 & 1 \end{pmatrix}$$

Показники однорідності суджень експертів для складених матриць менше 0,1, що свідчить про відсутність суперечності складених матриць парних порівнянь.

Були отримані значення векторів пріоритетів, отримані за результатами обробки експертних матриць парних порівнянь і відповідні ієрархії. Останнім кроком була операція зважування нормованих власних векторів альтернатив вагами критеріїв, які нами були отримані на початку виконання розрахунку і містяться у власному векторі матриці критеріїв.

Висновки. Спалювання в барабанних печах має найвищу оцінку за критеріями: ремонтпридатність, простота обслуговування, експлуатаційна надійність, ресурс (3,632) та найменша залежність ефективності спалювання від попереднього сортування сміття (3,882); термічна переробка відходів із використанням піролізу за критерієм «залежність ефективності спалювання від попереднього сортування сміття» має найнижчий показник (0,702); спалювання на механічних колосникових решітках за критерієм «доцільність отримання теплової та електричної енергії» (3,184); спалювання в цементних печах «найменша залежність ефективності спалювання від

попереднього сортування сміття» (3,926), «кількість відходів, що утворюються» (3,797); спалювання в киплячому шарі за всіма критеріями має низькі значення. Найбільш вагомий критерій – найменший рівень негативного впливу на навколишнє середовище (6,808). Виконані розрахунки

є прикладом реалізації методу аналізу ієрархій, виконаний з залученням експертів. Для кожного окремого конкретного випадку результати можуть відрізнитись від результатів, отриманих у цьому прикладі. Результати будуть залежати від оцінок, наданих експертами.

Список літератури:

1. Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method. Eurostat, 2017. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/browse-statistics-by-theme> (дата звернення 16.03.2018).
2. Diego Moya, Clay Aldás, Germánico López, Prasad Kaparaju. Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using. Waste-To-Energy Technologies. Energy Procedia. 2017. No. 134. P. 286–295. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.618.
3. Diego Moya, Clay Aldás, David Jaramillo, Esteban Játiva, Prasad Kaparaju. Waste-To-Energy Technologies: an opportunity of energy recovery from Municipal Solid Waste, using Quito – Ecuador as case study. Energy Procedia. 2017. No. 134. P. 327–336. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.537.
4. Niessen W.R. Combustion and incineration processes. New York: Basel Dekker, 2002. 715 p.
5. Generowicz A., Kowalski Z., Kulczycka J. Planning of waste management systems in urban area using multi-criteria analysis. Journal of Environmental Protection. 2011. № 2. P. 736-743 doi:10.4236/jep.2011.26085.
6. Hui Hu, Xiang Li, Anh Dung Nguyen and Philip Kavan. A critical evaluation of waste incineration plants in wuhan (china) based on site selection, environmental influence, public health and public participation. International journal of environmental research and public health. 2015. № 12. P. 7593-7614. doi:10.3390/ijerph120707593.
7. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 316 с.
8. 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.
9. 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. Vol.05, № 09. С. 581–589.

МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ

Использование термического обезвреживания твердых бытовых отходов позволяет снизить влияние на окружающую среду. Это возобновляемый источник энергии, который не требует добычи и обработки. Для сжигания отходов используют многие технологии, которые зависят от физико-химических, энергетических и экологических показателей. Выбор способа термического обезвреживания является важной задачей. В этом исследовании предлагается использовать многокритериальный метод принятия решений по выбору технологии. Был применен метод анализа иерархий. Матрицы парных сравнений заполнялись экспертами. Рассмотрены такие технологии сжигания: в барабанных печах, термическая переработка отходов с использованием пиролиза, сжигание на механических колосниковых решетках, в слоевых топках, сжигание в цементных печах, сжигание в кипящем слое.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, термическая обработка, экспертная оценка, многокритериальный выбор, метод анализа иерархий.

A METHOD FOR THE ANALYSIS OF HIERARCHIES FOR SELECTION OF RATIONAL EQUIPMENT A WASTE INCINERATION

The use of thermal neutralization of solid household waste can reduce the impact on the environment. It is a renewable energy source that does not require extraction and processing. For the incineration of waste, many technologies are used, which depend on physical, chemical, energy and environmental indicators. The choice of the method of thermal neutralization is an important task. In this study, it is proposed to use a multi-criterion method of decision-making on the choice of technology. The method analysis of hierarchies was applied. Matrices of paired comparisons were filled with experts. Such combustion technologies are considered: in rotary kilns, thermal processing of waste using pyrolysis, combustion on grate furnace, in layer furnaces, combustion in cement kilns, incineration in fluidized beds.

Key words: solid household waste, incineration, expert evaluation, multi-criteria choice, method analysis of hierarchies.