

УДК 628.474

Крот Ольга Петрівна*Кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та інженерної екології, докторант, ORCID: 0000-0002-2376-4981**Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків*

ДО АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ

***Анотація.** Технологія спалювання муніципальних відходів широко використовується в багатьох країнах. В умовах дефіциту енергоресурсів і високих цін на природний газ і нафтопродукти спалювання відходів є ефективним способом отримання енергії. Сучасні способи очищення викидів дозволяють звести до мінімуму надходження в навколишнє середовище небезпечних викидів. Успішне функціонування процесу спалювання відходів тісно пов'язане з неоднорідністю фізичного складу та хімічними властивостями муніципальних відходів, а також з особливостями механізму горіння. Стаття ілюструє потенціал застосування барабанних обертових печей для спалювання муніципальних відходів. Розглянуто основні джерела втрат тепла. Наведено розрахунок витоку теплоти з печі і запропоновані рішення щодо зниження витрат тепла.*

***Ключові слова:** спалювання; обертова піч; тепловий та масовий баланс; відходи в енергію*

Постановка проблеми

Тверді побутові відходи (ТПВ) – це джерело енергії яке постійно поновлюється і економічно доступне. Сучасні побутові відходи по теплоті згорання можна порівняти з торфом і деякими марками бурого вугілля. Вони утворюються в місцях, де електроенергія найбільш затребувана – в урбанізованих територіях, в яких зростання споживання викликає все більше і більше відходів. Отримання енергії з ТПВ не залежить від природних умов і географічного розташування (на відміну, наприклад, від сонячних, вітрових, приливних або геотермальних установок) і в результаті її експлуатації, крім вироблення енергії, вирішується важливе соціальне завдання – утилізуються відходи, утворені в процесі життєдіяльності людини.

Склад і обсяг ТПВ залежать від багатьох факторів: місцевості, пори року, рівня життя населення країни, тощо. За даними досліджень морфологічного складу, тверді побутові відходи, що утворюються в Харкові, в середньому містять (у відсотках за масою) – в житловій забудові: харчові відходи – 54,07 %, папір та картон – 7,61 %, пластмаса – 7,7 %, скло – 6,3 %, чорні метали – 2,18 %, кольорові метали – 0,23 %; на підприємствах невиробничої сфери: харчові відходи – 22,68 %, папір та картон – 29,84 %, пластмаса – 11,91 %, скло – 10,72 %, чорні метали – 2,7 %, кольорові метали – 2,165 % [1]. З усіх існуючих методів утилізації сміття спалювання забезпечує найвищий ступень

руйнування, а при використанні сучасних технологій очищення викидів оказує мінімальний вплив на навколишнє середовища. При впровадженні технології спалювання муніципальних відходів повинні виконуватися такі рекомендації: використання нових, сучасних методів при проектуванні і експлуатації установок для спалювання відходів (наприклад, попередній підігрів, розрахунок продуктивності для виключення перевантаження, спалювання при температурі не нижче 800 °С і т.д.); використання сортування відходів для максимального зменшення утворення і виділення токсичних речовин в процесі спалювання відходів; постійний контроль і навчання операторів, що здійснюють управління установками для уникнення недоліків, які можуть призвести до погіршення роботи установок для спалювання відходів; застосуванням багатоступінчастої системи очистки газових викидів [2, 3].

Успішне спалювання відходів дозволяє досягти значного зменшення обсягу відходів, отримати компактний і стерильний залишок, усунути широкий спектр забруднюючих речовин, ліквідувати або покращити санітарний стан звалищ.

Аналіз основних досліджень та публікацій

На сьогоднішній день, багато досліджень проведено у напрямку аналізу методів спалювання ТПВ, в яких відзначено, що однією з причин незадовільного управління твердими відходами є

недостатнє і неправильне функціонування обладнання, що використовується для спалювання сміття [4]. Дослідження процесів спалювання відходів різної категорії небезпеки [5] полягають у вивченні поточного стану питання, з метою розв'язання технологічних і екологічних проблем в перспективі. У роботі [6] була проаналізована перспективність комбінованого використання теплової та електричної енергії на існуючих сміттєспалювальних заводах в Мальме і Гетеборзі (Швеція). Також автор [6] провів критичний аналіз впливу ефективності рекуперації енергії на викиди парникових газів. Приведений баланс на основі даних існуючих заводів, а не модель заводу. Авторами [7] була використана модель барабанної печі для виконання аналізу поведінки печі при різних експлуатаційних і конструктивних параметрах, а саме: швидкості потоку відходів, коефіцієнту надлишку повітря, властивостей та товщини вогнетривких матеріалів і ізоляторів.

Розрахунок балансу енергії і маси в печі для спалювання відходів є дуже важливою частиною розробки і оцінки процесу спалювання. Авторами [8] описується комп'ютерна модель, яка використовується для розрахунку балансу енергії і маси обертової печі для спалювання відходів. Розрахунок заснований на припущенні, що існує термодинамічна умова рівноваги в камері згоряння. Були враховані такі основні параметри моделі: теоретична витрата повітря для горіння, кількість надлишкового повітря, необхідного для конкретних випадків горіння, швидкість потоку димового газу і температури на виході.

На сьогоднішній день один із пріоритетних напрямком є енергозбереження – низьке споживання енергії і мінімальні теплові втрати. У роботі [9] були розглянуті втрати тепла і енергії печі через димові гази, дверні отвори, крізь стіни тощо (рис.1). Оптимізація енергоспоживання була розглянута при прокатці сталі необхідною для зниження вартості продукту і конкурентоспроможності ціни, а скорочення питомого споживання енергії є найбільш важливим і найменш витратним підходом до енергозбереження.

Підвищення енергоефективності може бути досягнуто при використанні існуючих промислових печей, за рахунок зниження втрат тепла через викиди димових газів, інфільтрації повітря, екранування стін і випромінювання.

Формулювання мети статті

Метою статті є організація енергоефективного застосування барабаних обертових печей для спалювання сміття. Зниження втрат тепла від обертової печі до мінімально можливих.

Основна частина

Аналізуючи результати проведених досліджень можна зробити такі висновки. По-перше, зміна морфологічного складу ТПВ відображає світову тенденцію, а саме зростання складової полімерів в муніципальних відходах, за рахунок збільшення частки пакувальних матеріалів і зменшення частки харчових відходів.

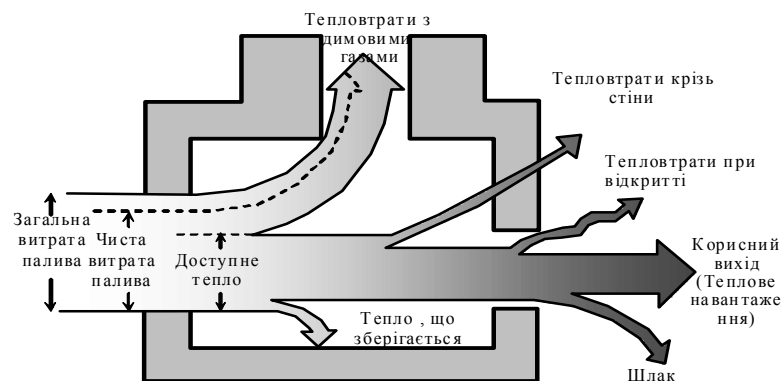


Рисунок 1 – Витрати тепла в стандартному промисловому процесі нагрівання

По-друге, як наслідок – зростання теплотворної здатності ТПВ майже в 2,5 рази порівнює їх до традиційних видів палива. По-третє, навіть муніципальні відходи з максимальним баластом (зола і волога) придатні для самостійного, без використання додаткового палива, спалювання

(наприклад, отримання палива у піролізній печі). Однак практично всі сміттєспалювальні підприємства використовують додаткове паливо. Це пов'язано з необхідністю підігріву камер спалювання до температури 750–850 °С, під час пуску з холодного стану. Сміттєпереробні

підприємства часто є джерелами теплової енергії, і при пікових навантаженнях неможливо покрити всю потужність, використовуючи відходи в якості палива, і доводиться використовувати традиційне висококалорійне паливо (газ або мазут). Для підвищення ефективності спалювання відходів доцільно використовувати сортування. В процесі сортування з маси відходів є можливість видалити негорючу складову: ґрунт і склобій шляхом просіювання; склотару і метал – шляхом ручного відбору. Для зниження вологості відходів їх необхідно підсушувати перед подачею на спалювання. Підсушування відходів можна організувати безпосередньо в камері спалювання, застосовуючи двокамерні печі або печі з ступінчастими колосниковими решітками. При

використанні двокамерної печі в першій камері йде підсушування відходів газами з подальшою їх подачею в другу камеру, де йде безпосередньо процес спалювання. Але найбільш ефективним в даній ситуації є застосування барабаних оборотних печей. У них по довжині барабана йде «самоорганізація» процесу сушіння і спалювання. Крім сортування і підсушування при підготовці відходів до спалювання доцільно застосовувати їх дроблення, це дозволить збільшити площу контакту горючих речовин з повітрям горіння.

Установки для спалювання в оборотних печах (рис. 2) є більш універсальними в тому сенсі, що вони можуть бути застосовані для знищення твердих відходів, шламів і відходів в контейнерах, а також рідин.

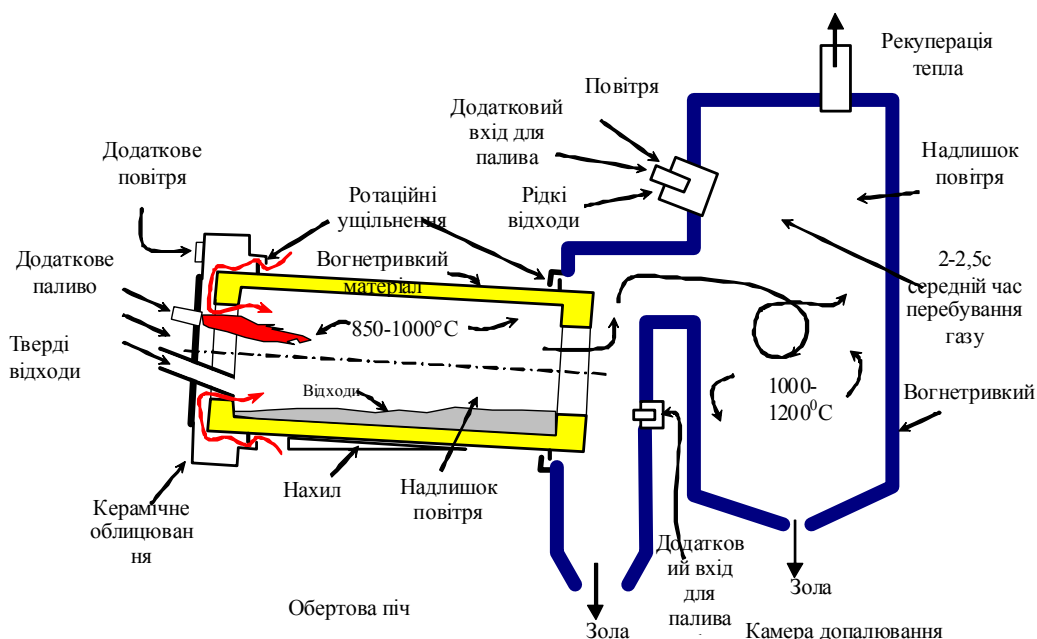


Рисунок 2 – Установки для спалювання муніципальних відходів в оборотних печах

Ці пристрої найчастіше включаються в комерційні проекти по спалюванню відходів [10]. Обортова піч являє собою горизонтальну циліндричну оболонку з вогнетривкої футеровкою, встановлену на невеликому схилі, який дозволяє регулювати час перебування відходів у реакційній масі, також передбачено частотне регулювання швидкості обертання барабана. Такі особливості дозволяють знешкоджувати відходи різних механічних фракцій і різноманітного хімічного складу. Обертання корпусу забезпечує транспортування відходів крізь піч, а також поліпшує перемішування спалюваних ТПВ. Час перебування твердих відходів в печі зазвичай становить від 0,5 до 1,5 годин. Це контролюється швидкістю обертання печі (зазвичай від 0,5 до 1,0

оборотів в хвилину), швидкістю подачі відходів і, в деяких випадках, включенням внутрішніх уповільнювачів для зменшення швидкості переміщення відходів крізь піч. Швидкість подачі також, як правило, регулюється, щоб обмежити кількість відходів, що обробляються в печі, до максимально 20 відсотків від обсягу печі. Основна функція печі - перетворювати тверді відходи в гази, що відбувається в результаті серії летючих процесів, реакцій деструктивної дистиляції та часткового спалювання. Однак для завершення газозафазових реакцій горіння необхідно допалювання. Допалювач з'єднаний безпосередньо з випускним кінцем печі.

Димові гази знаходяться в камері допалювання при температурі 1000÷1200 °C протягом 2÷2,5 с, що забезпечує розкладання і спалювання важких

вуглеводнів, а також СО не менш, ніж на 98 %. Камера допалювання також обладнана дизельним пальником для підтримки заданої температури.

Далі димові гази проходять рекуператор, у якому зовнішнє повітря, подається дуттєвим вентилятором, нагрівається до температури 300÷350 °С. Нагріте повітря подається в барабан печі й у камеру допалювання з регулюванням витрати повітря по вузлах подачі для інтенсифікації процесу горіння й економії дизельного палива.

Найбільший можливий напрямок економії енергії при спалюванні – використання підігрітого повітря. Підігрівання при цьому здійснюються гарячими газами, що відходять від печі з використанням теплообмінників чи рекуператорів. У випадку, коли для спалювання використовується повітря з атмосферною температурою, і навіть коли є нещільності у сполученнях обертової печі з нерухомими частинами, витрати енергії на підігрів повітря перед спалюванням є досить суттєвими. Нижче наведено приклад додаткових втрат енергії для випадку коли між обертовою піччю та нерухомою частиною є зазор 1 см.

Розглянемо обертову піч діаметром 1,2 м; між корпусом і голівкою печі є зазор 1 см, через який у піч всмоктується зовнішнє повітря. Площу кільцевого зазору визначимо як різницю між площами кіл діаметром 1,2 м і 1,18 м ($\approx 0,15 \text{ м}^2$). При звичайному рівні розрідження швидкість всмоктування зовнішнього повітря через такий зазор дорівнює 5 м/с; його витрата $0,15 \text{ м}^2 \cdot 5 \text{ м/с} = 0,75 \text{ м}^3/\text{с}$ (або $45 \text{ м}^3/\text{хв}$). При щільності повітря близько $1,3 \text{ кг/м}^3$ масова витрата складатиме $45 \cdot 1,3 = 58,5 \text{ кг/хв}$.

Якщо температура в зоні спалювання $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, то втрати тепла на нагрівання повітря з $10 \text{ }^\circ\text{C}$ до

$1200 \text{ }^\circ\text{C}$ складе:

$$58,5 \text{ кг} \cdot 0,26 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} (1200-10) = 18099,9 \text{ ккал/хв.}$$

Тут $0,26 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ – масова питома теплоємність сухого

повітря. Якщо калорійність природного газу 8000 ккал/м^3 , то надлишкова витрата газу на нагрівання повітря "підсосу" складе:

$$\frac{18099,9 \text{ ккал/хв}}{8000 \text{ ккал/м}^3} = 2,26 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}},$$

або близько $3258 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Таким чином, нещільності у голівки печі є причиною щодобових втрат палива, в даному прикладі близько 3258 м^3 .

$$3258 \text{ м}^3 \cdot 6,879 \text{ грн/м}^3 = 22412 \text{ грн.}$$

Висновки

1. Найбільш перспективними для України можна вважати обертові печі для спалювання сміття, оскільки дозволяють знешкоджувати відходи різних фракцій і різноманітного хімічного складу.

2. Технологія допалювання відпрацьованих газів дозволяє: по-перше мінімізувати викид у повітря найбільш шкідливих газоподібних речовин, а по-друге задіяти в технології ефективні теплообмінники та рекуператори для підігріву повітря, що подається на спалювання.

3. Використання не підігрітого повітря та наявність нещільностей у стикуванні обертової печі істотно підвищує енергоємність.

Література

1. Горюх Н.П. Экологическая оценка вредных веществ при комплексной утилизации муниципальных отходов / Н.П. Горюх // Коммунальное хозяйство городов – 2005. – №63. – С. 172 – 181.
2. Крот О.П. Експериментальні дослідження методів зменшення викидів від процесів термічного знешкодження побутових відходів / О.П. Крот, В.В. Конев, О.І. Ровенський // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Х.: «УкрДУЗТ». – 2016. – №166 – С. 78-86.
3. Крот О.П. Обоснование экологических аспектов сжигания отходов в различных отраслях / О.П. Крот, А.И. Ровенский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: БРУ, 2016. – С. 261–263.
4. Rigassa N. Challenges and opportunities in municipal solid waste management / N. Rigassa., R.D. Sundaraa, B.B. Seboka // Journal of Human Ecology. – 2011. – № 33(3). – P. 179-190.
5. Dempsey C.R. Incineration of Hazardous Waste: A Critical Review Update / C.R. Dempsey, E.T. Oppelt. // Air & Waste, 1993. – Vol.43. – P. 25-73.
6. Gohlke O. Efficiency of energy recovery from municipal solid waste and the resultant effect on the greenhouse gas balance / O. Gohlke // Waste Management & Research, 2009. – № 27. – P.894–906. DOI: 10.1177/0734242X09349857.
7. Lombardi F. Waste incineration in rotary kilns: a new simulation combustion tool to support design and technical change / F. Lombardi, E. Lategano, S. Cordiner // Waste Management & Research. – 2013. – № 31, 7. – P. 739 – 750.

-
8. Lee C.C. *Energy and mass balance calculations for incinerators* / C.C. Lee, G.L. Huffman // *Energy Sources*. – 1998. – № 20(1). – P. 990-1000.
9. Shri Thakur P.K. *A Review On: Efficient Energy Optimization In Reheating Furnaces* / Shri P.K. Thakur, Shri K. Prakash, Shri K.G.Muralidharan, V.Bahl, Shri S.Das // *International Journal of Mechanical And Production Engineering* . – 2015. – Volume- 3, Issue-2. – P. 18 – 24.
10. Kong W.M. *Implementation of Incineration for Efficient Waste Reduction* / Wing Man Kong // *International Conference on Advances in Environment Research*. – 2015. – V87. 14 . – P. 77 – 80. DOI: 10.7763/IPCBE. 2015.

Стаття надійшла до редколегії 30.03.2017 р.

Рецензент: д.т.н.,проф. О.Ф. Редько, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

Крот Ольга Петровна

Кандидат технических наук, доцент кафедры безопасной жизнедеятельности и инженерной экологии, докторант, ORCID: 0000-0002-2376-4981

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков

К АНАЛИЗУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ СЖИГАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Аннотация. *Технология сжигания муниципальных отходов широко используется во многих странах. В условиях дефицита энергоресурсов и высоких цен на природный газ и нефтепродукты сжигание отходов является эффективным способом получения энергии. Современные способы очистки выбросов позволяют свести к минимуму поступление в окружающую среду опасных выбросов. Успешное функционирование процесса сжигания отходов тесно связано с неоднородностью физического состава и химическими свойствами муниципальных отходов, а также с особенностями механизма горения. Статья иллюстрирует потенциал применения барабанных вращающихся печей для сжигания муниципальных отходов. Рассмотрены основные источники потерь тепла. Приведен расчет утечки теплоты из печи и предложены решения по снижению затрат тепла.*

Ключевые слова: *сжигание; вращающаяся печь; тепловой и массовый баланс; отходы в энергию*

Krot Olga

Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of safety life and environmental engineering,

ORCID: 0000-0002-2376-4981

Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov

TO THE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ROTARY KILNS FOR THE INCINERATION OF MUNICIPAL WASTE

Abstract. *The technology of incineration of municipal waste is widely used in many countries. In conditions of a shortage of energy resources and high prices for natural gas and oil products, incineration of waste is an effective way of obtaining energy. Modern methods of emission cleaning allow to minimize the release of hazardous emissions into the environment. The successful operation of the incineration process is closely related to the heterogeneity of the physical composition and the chemical properties of municipal waste, as well as to the features of the combustion mechanism. The article illustrates the potential of using rotary kilns for burning municipal waste. The main sources of heat loss are considered. The calculation of heat leakage from the furnace is given and solutions for reducing heat costs are proposed.*

Keywords: *incineration; rotary kiln; thermal and mass balances; waste-to-energy*