

УДК 504

О.І. Козій, М.П. Петрук, О.М. Вахула

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

**ТЕРМІЧНЕ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ:  
ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД**

Альтернативою полігонному захороненню є термічне знешкодження твердих побутових відходів (ТПВ), що дозволяє суттєво знизити їх обсяги і отримати енергію для комунальних потреб. Перспективним способом термічного знешкодження в Європі є високотемпературний піроліз (газифікація) з утворенням синтез-газу і рідкого палива. При цьому практично виключено утворення найбільш небезпечних побічних продуктів – діоксанів та фуранів. Найбільш перспективним і екологічно чистим вважається електропіроліз ТПВ.

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, термічне знешкодження, піроліз

**Стан проблеми**

Проблема твердих побутових відходів (ТПВ) надзвичайно актуальна, оскільки її розв'язання потребує забезпечення нормальної життєдіяльності населення, санітарного очищення міст, охорони навколишнього середовища і ресурсозбереження. Сьогодні в Україні спостерігається стійка тенденція до збільшення обсягів утворення твердих побутових відходів, що вивозяться і захоронюються на сміттєзвалищах і полігонах. Час від часу в пресі з'являються анонси про будівництво в Україні заводів з сортування і утилізації сміття, але в більшості випадків все залишається на рівні розмов. Тим часом території поблизу великих міст все більше перетворюються на величезні звалища.

Базовим законом ЄС у сфері управління відходами є «Рамкова директива ЄС про відходи», яка поширюється на всі потоки відходів та встановлює так звану ієрархію відходів, правила планування управління відходами, їх кваліфіковане збирання і перероблення.

Світовий досвід пропонує три основні шляхи у сфері поводження з твердими побутовими відходами, а саме:

- полігонне захоронення (з метою запобігання шкідливого впливу на довкілля);
- знищення твердих побутових відходів шляхом їх термічного знешкодження (спалювання);
- очищення твердих побутових відходів від шкідливих компонентів та їх утилізація з метою добування ресурсоцінних компонентів.

В останні роки у всіх країнах спостерігається інтерес до нових екологічно безпечних і безвідходних технологій термічного знешкодження побутових відходів з утворенням горючих газів. Універсального методу поводження з ТПВ, який би

задовольняв сучасні екологічні та економічні вимоги, немає. Найбільш прийнятним є комбінований метод, який передбачає використання відходів як джерела енергії та вторинної сировини.

В найближчі 10-15 років очікується розширення сектора термічного знешкодження ТПВ в Європі як альтернативи переадресації відходів з полігонів відповідно до Директиви ЄС (заборона складування на полігонах з 2014 року) [1-3].

Провідні країни з використання нових технологій сміттєспалювальних заводів (ССЗ) – Франція, Німеччина, Швеція, Данія, Бельгія, Канада.

Мета термічного знешкодження ТПВ – зниження їх об'єму і ступеня небезпеки, а також підвищення ступеня вловлювання небезпечних речовин. Такий процес дає можливість використовувати енергію, мінерали та хімічні компоненти відходів.

ТПВ є гетерогенним матеріалом, що складається з органічних речовин, мінералів, металів і води. В процесі спалювання утворюються димові гази, в яких міститься в основному енергія палива як тепло. Органічні речовини вигорять, а коли вони досягнуть необхідної температури займання, вступають в реакцію з киснем з виділенням тепла. Коли теплотворна здатність і кількість кисню достатня, виникає термічна ланцюгова реакція і самопідтримуюче горіння.

**Переваги термічного знешкодження:** зменшення об'єму відходів в 10 разів; зниження ризику забруднення ґрунту і води; можливість рекуперації тепла.

**Недоліки:** небезпека забруднення атмосфери; знищення цінних компонентів ТПВ; високий вихід золи і шлаків (близько 30% за масою); складність стабілізації процесу спалювання.

Ключові ризики:

високі рівні забруднюючих речовин – ртуті, йоду, бром, хлору, сірки; високий рівень вологи, що спричиняє нерівномірність горіння; великі розміри об'єктів; швидка зміна в хімії димових газів; надмірне шлакування (нагар) котлів-утилізаторів.

Стадії знешкодження ТПВ (досвід Європи та Канади): підготовка ТПВ; термічне знешкодження (спалювання); утилізація енергії; очищення димових газів; очищення і контроль стічних вод; перероблення твердого залишку.

### Методи термічного знешкодження

Нові технології термічного знешкодження включають газифікацію, піроліз і плазмову газифікацію. Ці технології відрізняються ускладненими технологічними процесами і меншою мірою перевірені в промисловому масштабі.

Для будь-якого процесу термічного знешкодження відходів характерні три стадії, які перекриваються, але можуть бути розділені в просторі і часі [4].

- сушіння і дегазація (видалення летких речовин при 100-300°C);
- піроліз і газифікація (розклад органічних речовин без доступу кисню при 250-700°C з утворенням синтез-газу (H<sub>2</sub> і CO), смол і обвугленого залишку);
- окислення горючих газів (синтез-газу) при 800-1450°C.

Ці технології поділяються на дві основні категорії: звичайне спалювання і нові методи термічного знешкодження. Звичайне спалювання включає масове спалювання та спалювання в киплячому шарі, що використовують тепер у всьому світі.

Найбільш поширеним масовим спалюванням є одностадійне спалювання на похилих або рухомих колошникових решітках [5]. В установці для масового спалювання необхідна мінімальна попередня обробка ТПВ. Як правило, з потоку вилучаються великогабаритні і негорючі матеріали. При одностадійному спалюванні відходи спалюються без надлишку кисню, що спричиняє їх неповне згорання і утворення піролітичного газу, який у верхній частині камери згорання сполучається з надлишковим повітрям і згоряє повністю. За цією технологією відходи довгий час перебувають на решітках, що спричиняє хорошу якість шлаку (з меншою кількістю незгорілого вуглецю). Звичайні установки мають енергоефективність 14-27%, якщо енергія перетворюється в електроенергію, вони складаються з кількох модулів зі спільною інфраструктурою.

Двостадійне спалювання полягає в спалюванні на другій стадії відхідних газів в середовищі з

надлишком кисню і подаванні тепла в котел-утилізатор.

Спалювання в киплячому шарі передбачає подрібнення, сортування відходів та вилучення металу для отримання більш однорідного твердого палива. Це паливо далі подається в камеру згорання, де шар інертного матеріалу (піску) підтримується у зваженому стані на колошниковій решітці за рахунок продування повітря знизу. З 450 установок в Європі в 30 використовується технологія киплячого шару, причому разом з ТПВ спалюють осадки стічних вод, сортовані органічні відходи та деревну стружку. Одним з недоліків технології є утворення значної кількості легкої золи.

Таким чином, установки для звичайного спалювання ТПВ характеризуються утворенням шкідливих викидів, кількість яких з кожним роком поступово зменшується за рахунок використання систем знешкодження атмосферних викидів. Ці системи базуються на сухому, напівсхому та мокрому очищенні відхідних газів.

В розвинених країнах практично відмовились від звичайного одностадійного спалювання – на заміну йому прийшли двостадійні процеси, один з яких виключає утворення діоксинів та фуранів і забезпечує гарантоване знешкодження небезпечних відходів при високих температурах [7].

### Високотемпературний піроліз (газифікація)

Незаперечні переваги спалювання (швидкість, компактність) ставлять завдання пошуків екологічно безпечних засобів знешкодження ТПВ. Проведений аналіз сучасних підходів дозволив установити, що одним з перспективних методів є метод термохімічного розкладання (деструкції) ТПВ – піроліз. Він здійснюється без доступу повітря в спеціальних реакторах.

У той же час піроліз – це не просте розкладання органічного матеріалу, але і синтез нових продуктів. Ці стадії процесу взаємно зв'язані і протікають одночасно з тим лише розходженням, що кожна з них переважає у визначеному інтервалі температури або часу. Результатом піролізу є рідке і газоподібне паливо.

Високотемпературний піроліз – один з найперспективніших напрямів перероблення твердих побутових відходів з погляду як екологічної безпеки, так і отримання вторинних корисних продуктів: синтез-газу, рідкого палива, металів та інших матеріалів, які можна широко застосовувати в народному господарстві. Високотемпературна газифікація дає можливість економічно вигідно і технічно відносно просто переробляти тверді побутові відходи без їх попередньої підготовки, тобто сортування, сушіння та ін. [6].

Основними компонентами піролізного газу є

водень, оксид вуглецю, метан. Теплота згоряння цієї суміші в залежності складу відходів і організації процесу складає 6680-10450 кДж/м<sup>3</sup>. Частина енергії одержуваного газу використовується для підігріву повітря, що подається в зону згоряння реактора. Інша енергія передається споживачеві у вигляді газоподібного палива або у вигляді теплоносіїв. Піролізний газ має переваги над природним, тому що не містить сполук сірки й азоту. Однак у зв'язку з низькою теплою згоряння, труднощами акумуляції і збереження піролізного газу його неможливо збирати і транспортувати на значну відстань, внаслідок чого споживач газу повинний знаходитися не далі 3 км від піролізної установки.

На перспективу такий комплекс зможе вирішити проблему утилізації відходів обласного центру та області. Реалізація таких проектів дає змогу покращити не лише ситуацію в сфері поводження з відходами, але й створити додаткові робочі місця.

Звичайним елементом таких заводів стають парогазові установки або газові турбіни для високоефективного виробництва електро- та теплової енергії.

Піролізна установка в єдиному комплексі з підприємством промислового сортування дозволяє добитись безвідходної переробки сміття (залишок складає 3-5% від початкового обсягу сміття). При цьому виробляється технічний вуглець і рідке паливо. Енергія використовується для роботи того ж підприємства.

Складним завданням при експлуатації таких заводів є, поряд з очищенням газів, що відходять, утилізація або захоронення токсичної золи (до 30% від сухої маси ТПВ), що залишаються після спалювання.

Найбільш повна деструкція продуктів, що містяться в ТПВ, відбувається в процесі високотемпературного піролізу або газифікування за температури 1650 – 1930°C в розплаві мінеральної суміші з добавками металів або за температури до 1700 °C в розплаві солей чи лугів за наявності каталізаторів (MSOP-технологія). Зазначені способи забезпечують перероблення ТПВ практично будь-якого складу, тому що за такої температури повністю руйнуються всі діоксини, фурані і біфеніли. У результаті отримують синтез-газ — суміш водню, метану, чадного газу, діоксиду вуглецю, водяної пари, оксидів азоту і сірки та твердий залишок, що його видаляють з реактора через спеціальну витіснювальну систему. Синтез-газ після очищення від домішок можна використовувати безпосередньо як паливо, як сировину у хімічній промисловості або для синтезу рідких вуглеводнів (метанол, бензин).

Цей метод утилізування ТПВ є найбільш

перспективним для України, оскільки дозволяє одночасно вирішувати три важливих проблеми сьогодення, що стосуються:

1) екологічної безпеки, оскільки у перспективі дозволить відмовитися від звалищ та полігонів ТПВ у їх сьогоdnішньому вигляді;

2) енергетичної безпеки, оскільки дозволить частково покривати дефіцит рідких та газоподібних вуглеводнів в енергетиці;

3) часткового покриття дефіциту вуглеводневої сировини, що очікується невдовзі у хімічній промисловості.

### Електропіроліз

Найбільш перспективним є спосіб електропіролізу, який вирізняється високою виробничою потужністю, отриманням якісної хімічної сировини, екологічною чистотою, економічною ефективністю [7]. Отриманий синтез-газ після електропіролізу доцільно спрямовувати в установки органічного синтезу для виробництва хімічних продуктів, які широко використовують у народному господарстві, або на установки прямого отримання електроенергії у паливних елементах. Застосування способу переробки ТПВ у електропіролізаторах дозволяє повністю вирішити проблему відходів мегаполісів з одночасним отриманням хімічної сировини, що забезпечує прибутковість переробки ТПВ порівняно з іншими способами.

### Інтенсифікація очищення димових газів

Основне завдання сучасних технологій в поводженні з ТПВ — інтенсифікація очищення димових газів, що утворюються в результаті високотемпературного знешкодження.

Базові системи знешкодження атмосферних викидів базуються на сухому (циклони та рукавні фільтри), напівсхому (електрофільтри) та мокрому очищенні (скрубери) відхідних газів.

Додаткове очищення [8] від важких металів, ртуті, кислих газів включає: подвійне фільтрування (два послідовних рукавних фільтри); застосування ефективних фільтрувальних матеріалів, стійких до високих температур; напівсухе фільтрування для очищення від кислих газів; мокре очищення газів лужними розчинами (мокрі скрубери для вловлювання кислих газів); швидке очищення (рециркуляція води) від важких металів і ртуті; сухе очищення порошкоподібними реагентами (гашене вапно, сода, активоване вугілля); пряме додавання лужних реагентів до відходів (пряма десульфуріяція); зниження викидів оксидів азоту шляхом введення каталізаторів до утворення вільного азоту; селективне некаталітичне відновлення азоту; зниження викидів діоксинів за рахунок вторинних заходів їх пригнічення;

зниження викидів ртуті додаванням в скруббер сполук сірки, активованого вугілля, окисників.

### Поводження з ТПВ в Україні

За своїм складом українські ТПВ відповідають категорії перехідних країн. У нас практичне використання технологій знешкодження ТПВ перебуває на початковій стадії і потребує часу та капіталовкладень.

Спалювання ТПВ у печах з колосниковими решітками, що застосовувалось в Україні до цього часу не вирішує діоксинової проблеми, бо проводиться за порівняно невисоких температур (600-900°C).

Високотемпературне спалювання в обертових печах при 1100-1400°C має переваги порівняно зі спалюванням при нижчих температурах: всі органічні матеріали повністю згорають, виділяючи теплову енергію; нижчий вміст вуглеводнів і СО в димових газах; підвищений рівень руйнування молекул; утворення розтопленого шлаку, який після охолодження у воді гранулюється, обтоплюється (стає тонкодисперсним з низьким вилуговуванням).

Об'єм шлаку менший, ніж при звичайному спалюванні, це безпечний матеріал, який може бути використаний в дорожньому будівництві або захоронений на полігоні.

Два сміттєспалювальні заводи, що працюють зараз в Україні і то не на повну потужність (Київ та Дніпропетровськ), утилізують близько 1% від всього обсягу ТПВ. Згідно внесених в 2010 році змін до Закону України «Про відходи» у нас заборонена експлуатація сміттєспалювальних заводів, що не виробляють теплову або електроенергію. Крім того, полігонне захоронення не перероблених ТПВ дозволено до 2018 року. Затверджена Кабміном національна програма «Чисте місто» передбачала в 2012-2013 рр. будівництво в 10 найбільших містах України сучасних комплексів для переробки попередньо відсортованого сміття за кошти від продажу квот в рамках Кіотського протоколу. Проте реалізація цієї програми наразі призупинена.

Оскільки в Європі тепер встановлено більш жорсткі вимоги для сміттєспалювальних установок, є небезпека, що ті заводи, які застаріли в Європі і не відповідають сучасним нормам, можуть потрапити в країни, де таких обмежень немає.

Проте, слід зазначити, що єдиним цивілізованим та безпечним шляхом поводження з твердими побутовими відходами є рециклінг, адже майже всі компоненти твердих побутових відходів можуть бути повторно використані.

Зараз в Україні на фоні політичних і соціальних проблем питання поводження з ТПВ – відкладена проблема, пов'язана з необхідністю додаткових капіталовкладень. І якщо зараз не вирішити її малою ціною, то через неправильне поводження з ТПВ нашим дітям доведеться затрачати величезні зусилля для виправлення ситуації в майбутньому.

### Література

1. Директива 2008/98/ЄС про відходи.
2. Директива 1999/98/ЄС про захоронення відходів.
3. Директива 2000/76/ЄС про спалювання відходів.
4. Waste to energy. A technical review of municipal solid waste thermal treatment practices. 2011.
5. МакКиннон-Резерфорд К.Д. Сжигание отходов сегодня и завтра/ ТБО, 2009.- № 5.- с. 55-58.
6. Падалко О.В. Плазменная газификация отходов – правильный выбор/ ТБО, 2009.- № 6.- с. 38-45.
7. Потапов Н.И., Юдин А.Г. Наилучшие доступные технологии в области сжигания отходов/ Экологическая экспертиза, 2012,- с. 57-73.
8. Отходы – в энергию. Технический обзор технологий в области обращения с муниципальными твердыми отходами / Обзорная инф. «Научные и технические аспекты охраны окружающей среды». 2012. - №3.- с.2-185.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Петрушка. І.М. Національний університет "Львівська політехніка", Львів

**Автор:** КОЗІЙ Оксана Іванівна, Національний університет "Львівська політехніка" кандидат технічних наук, доцент.

**Автор:** ПЕТРУК Марія Петрівна, Національний університет "Львівська політехніка", Львів

**Автор:** ВАХУЛА Орест Миронович Національний університет "Львівська політехніка" кандидат технічних наук, асистент. E-mail – orest\_diser@ukr.net

### THERMAL NEUTRALIZATION SOLID WASTE: EUROPEAN EXPERIENCE

O.Kozyi, M.Petruk, O.Vakhula

*An alternative to landfill disposal is the thermal disposal of solid waste (MSW), which significantly reduce their volume and gain energy to community needs. A promising method of thermal disposal in Europe is a high-temperature pyrolysis (gasification) to form synthesis gas and liquid fuels. This practically possible formation of the most dangerous byproducts - dioxane and furans. The most promising and environmentally friendly elektropirolyz considered garbage.*

*Keywords: municipal solid waste, thermal disposal, pyrolysis*