

УДК 66.040.27:628.4.032(045)

С.В. Бойченко, д.т.н., проф.  
В.О. Кучеренко, к.т.н., с.н.с.  
І.І. Власюк, бакалавр

## ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

*Проаналізовано методи перероблення твердих побутових відходів. Розроблено ефективну високотехнологічну та екологічну установку, що реалізує спосіб електротермічної переробки твердих побутових відходів.*

*There is the conducted analysis of existent methods of processing of hard domestic wastes in the article, on the basis of what it is developed effective highly technological and ecological setting, that will realize the method of the electro-thermal processing of hard domestic wastes.*

### Постановка 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.

**Мета** роботи – розроблення високотехнологічного екологічного способу переробки твердих побутових відходів.

Економіка України щороку втрачає з відходами 3,3 млн т макулатури, 550 тис. т металів, 660 тис. т полімерів, 770 тис. т скла, 550 тис. т текстилю. Більшу частину цих матеріалів Україна імпортує, і це при тому, що наявні технології дозволяють переробляти майже всі складові компоненти побутових відходів [1].

Використання відходів біомаси в багатьох країнах світу – один з провідних напрямів вироблення енергії з відновлюваних джерел енергії. Загальні річні обсяги ресурсів біомаси в Україні становлять 115,5 млн т [2].

Обсяги можливого енергетичного потенціалу біомаси становлять близько 22 млн т умовного палива на рік, з яких технічно доступний енергетичний потенціал оцінюється у 13,2 млн т умовного палива на рік, що становить близько 7 % від загального споживання первинних енергетичних ресурсів в Україні в 2005 р.

За рік у Києві утворюється близько 800 тис. т, або понад 3 млн м<sup>3</sup> сміття. І кількість відходів постійно зростає.

На одного мешканця міста припадає приблизно 100 відер на рік, тобто 1 м<sup>3</sup>, або 1000 кг твердих побутових відходів. Нині у великих містах України нагромаджується за рік понад 40 млн м<sup>3</sup> тільки побутового сміття, що становить близько 27 млн т твердих побутових відходів, які вивозяться на 770 полігонів ТПВ, а загальний обсяг їх накопичення сягає більш як 3 млрд м<sup>3</sup>.

В Україні утилізують лише близько 4 % відходів. Решта залишаються “сирими” на звалищах. Це призводить до виникнення кислотно-гудронних озер, які отруюють довкілля та мешканців сіл, що розташовані біля сміттєзвалищ.

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.

Найпоширеніші види промислової переробки ТПВ – спалювання, ферментація, сортування та їх різні комбінації.

Використання методу термічної обробки відходів на сміттєспалювальних заводах дозволяє зменшити їх у три рази, але при спалюванні утворюються токсичні викиди в атмосферу, забруднені стічні води, а отримані шлаки та зола стають більш токсичними, ніж ТПВ, і потребують подальшої спеціальної обробки. Так, після дослідження складу твердих відходів сміттєспалювального заводу „Енергія” були зроблені висновки, що зола є багатокомпонентною системою, яка містить екологічні домішки, і її не можна використовувати без попередньої обробки [3].

Найбільш перспективною є комплексна переробка побутових відходів, яка передбачає вилучення корисних компонентів із ТПВ з наступним похованням залишку на полігонах. Це дозволить, поперше, зменшити негативний вплив полігонів із захоронення ТПВ та шлаків, які утворюються в процесі спалювання відходів, на навколишнє природне середовище та здоров'я людини, а подруге, вилучити корисні компоненти з ТПВ.

Дотепер немає єдиної системи регламентуючих документів для ТПВ та прирівняних до них відходів, не визначено ступеня і класу небезпеки ТПВ залежно від компонентів, що містяться в них.

Натепер є п'ять способів поводження з ТПВ:

- вивезення у відвали;
- спалювання сміття;
- переробка в біоферментаторах;
- піроліз за схемою тління/горіння;
- електропіроліз.

Полігонне захоронення побутових відходів, що практикується в Україні, — це не вирішення проблеми, а лише не найбільш вдала спроба її відтермінувати [4]. Сміття, яке вивозиться на міські звалища, розкладається, продукує метан, що як отруйна речовина негативно впливає на здоров'я людей. Директива Єврокомісії забороняє Європі з 2010 р. повністю відмовитися від полігонного захоронення.

У липні 2002 р. Європарламент прийняв рішення розглядати біомасу з ТПВ і промислових відходів як поновлюване джерело енергії [5]. У світовій практиці використовують метод вогневого (полуменевого) спалювання ТПВ.

З п'яти способів перероблення відходів перспективи впровадження мають способи, які використовують технологічні процеси, абсолютно ізольовані від навколишнього середовища, а це переробка в біоферментаторах для незначних обсягів у сільській місцевості та у високоенергетичних електропіролізаторах, які вирізняються високою виробничою потужністю для застосування у мегаполісах з продуктивністю 2–5 тис. т відходів на добу.

Електропіроліз же — безполуменевий спосіб переробки твердих відходів, і його перевага полягає насамперед у запобіганні забрудненню довкілля. Отримані після піролізу продукти легко зберігати й транспортувати, а обладнання для процесу піролізу не потребує великих затрат енергії та й увесь процес у цілому менш затратний.

Тверді побутові відходи — цінна сировина для отримання альтернативних видів палива.

В Україні розвідані запаси природного газу за 2002 – 2003 рр. не змінилися і становили лише 1,11 трлн м<sup>3</sup>, чи в загальносвітовому рівні — 0,6 %. Із врахуванням досягнутого добування цих запасів вистачить на 62,6 року [6]. Тому розробка достойної заміни невідновлюваним джерелам енергії є надзвичайно актуальним завданням.

### Аналіз досліджень і публікацій

На цей час у світі існує велика кількість різноманітних способів термічної переробки ТПВ [7].

Для спалювання твердих відходів використовують печі і топки різних конструкцій.

Спалювання ТПВ у печах з колосниковими решітками не вирішує діоксинової проблеми, бо проводиться за порівняно невисоких температур (873 – 1173 К).

Крім того, утворюються тверді незгорілі шлаки, які потребують окремої переробки чи захоронення з наступними негативними наслідками для навколишнього середовища.

Переробка в реакторі з псевдозрідженим шаром. Основні переваги переробки ТПВ у реакторі з псевдозрідженим шаром:

- інтенсивне перемішування твердої фази, що зумовлює повне вирівнювання температур, концентрацій і інших параметрів за об'ємом псевдозрідженого шару;
- висока питома продуктивність шару;
- відсутність рухомих обертових частин;
- найоптимальніший режим теплопередачі.

Найістотніші недоліки цього методу:

- нерівномірність часу перебування в шарі оброблюваних частинок твердої фази;
- можливість злипання і спікання твердих частинок;
- необхідність установлення потужних пило-вловлювальних пристроїв на виході димових газів з шару;
- необхідність у багатьох випадках підігрівати зріджувальний агент;
- обмеженість робочих швидкостей зріджувального агента.

Печі киплячого шару менш універсальні, ніж барабанні і потребують особливих умов роботи.

Новий метод високотемпературної переробки відходів “піроксел” ґрунтується на комбінації процесів сушіння – піроліз – спалювання – електрометалургійна обробка – хіміко-термічне знешкодження газів і передбачає відповідне апаратне оформлення.

Високі температури і багатостадійність термічної обробки дозволяє досягати повного знешкодження токсичних складових, що містяться у відходах, запобігти їх вторинному утворенню і понизити вміст шкідливих домішок у відхідних газах до рівня європейських стандартів.

Пропонована технологія знешкодження і утилізації відходів має переваги перед іншими способами термічного знищення відходів і забезпечує:

- 1) можливість високотемпературної переробки різних видів відходів з високою вологістю;

- 2) запобігання утворенню токсичних сполук (діоксинів, фуранів та ін.);
- 3) ефективне очищення відхідних газів від пилу, сполук хлору і фтору, оксидів сірки, азоту;
- 4) відсутність побічних продуктів переробки, що підлягають подальшому похованню;
- 5) переведення мінеральної і металевої складових відходів у розплав з подальшим отриманням корисного продукту у вигляді гранульованого шлаку, металу і виробів на їх основі;
- 6) блоковість і комплектність устаткування, можливість його розміщення на промислових майданчиках [8].

Для термічної переробки твердих побутових відходів за температури 1623–1673 К були запропоновані металургійні печі Ванюкова.

Суть технологічного процесу переробки ТПВ у печі Ванюкова полягає у високотемпературному розкладанні (плавленні) компонентів робочої маси в шарі, що міститься у ванні печі, шлакового розплаву, що барботується за температури 1623–1673 К і витримуванні їх протягом двох-трьох секунд.

Екологічна безпека досягається, якщо на виході з печі не буде високотоксичних сполук і в разі застосування системи очищення газу, що має запас пропускну здатності і розрахована на уловлювання майже всіх можливих шкідливих сполук, що трапляються в побутових і промислових відходах і що утворюються у процесі їх перероблення. Недоліком печі є втрата металів у шлаку. Запуск печі досить складний і займає 7–8 діб.

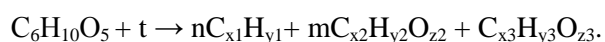
У США розроблено метод високотемпературного піролізу ТПВ – торракс. За допомогою цього методу можна обробляти, окрім побутових, відходи дрібних промислових виробництв, близькі за складом до побутових відходів, а також старі автопокришки, зневоднений осад стічних вод, відходи медичних установ та ін. Експлуатація промислової установки виявила її переваги: безперервність процесу, відсутність рухомих частин в термічно-навантаженій зоні; незначне винесення твердих частинок димовими газами завдяки оплавленню пилоподібних компонентів.

### **Електропіроліз – нова екологічно чиста технологія**

Піроліз – це не просто розкладання органічного матеріалу, але й синтез нових продуктів. Ці стадії процесу взаємно зв'язані і відбуваються одночасно з тим лише розходженням, що кожна з них переважає у визначеному інтервалі температури або часу. Результатом піролізу є рідке і газоподібне паливо.

Піроліз є процесом розкладання органічних сполук під дією високих температур в умовах недо-стачі або відсутності кисню. Характеризується перебігом реакцій взаємодії і ущільнення залишкових фрагментів, початкових молекул, унаслідок чого відбуваються розщеплення органічної маси, рекомбінація продуктів розщеплення з отриманням термодинамічно стабільних речовин: твердого залишку, смоли, газу [9].

Загальну схему піролізу можна подати таким чином:



Слід відрізнити піроліз від близького до нього процесу газифікації. Газифікація є термохімічним високотемпературним процесом взаємодії органічної маси або продуктів її термічної переробки з газифікуючими агентами, внаслідок чого органічна частина або продукти її термічної переробки згортаються у горючі гази. Як газифікуючі агенти застосовують повітря, кисень, водяну пару, діоксид вуглецю, а також їх суміші. Система згорання використовує повітря для спалювання органічних матеріалів. Оскільки 79% повітря – азот, вторинними реагентами згорання є оксиди азоту  $NO_x$ . Реакції газифікації технічно можна також домогтися з урахуванням того, що система часткових окиснювальних процесів згоряє.

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 [10]. Високотемпературна газифікація дає можливість економічно вигідно і технічно відносно просто переробляти тверді побутові відходи без їх попередньої підготовки, тобто сортування, сушки та ін.

Цей метод порівняно з іншими має такі переваги:

- відбувається більш інтенсивне перетворення початкового продукту;
- швидкість реакцій зростає з експоненціальним збільшенням температури, тоді як теплові втрати зростають лінійно;
- збільшується час теплової дії на відходи;
- відбувається більш повний вихід летких продуктів;
- скорочується кількість залишку після закінчення процесу.

Розроблено екологічно чисту технологію, на базі якої створюються економічні модульні установи з перероблення різноманітних відходів і сміття з отриманням водневмісної сировини або синтез-газу, який є цінною сировиною для більшості галузей хімічної промисловості. Використовуючи цю технологію, можна переробляти майже будь-які побутові тверді і рідкі відходи, хімічні речовини, пакувальні матеріали, пластик, шини, резину, фарбу, розчинники, відпрацьовані масла і нафтопродукти, бітуми та асфальтени, будівельні відходи тощо з отриманням енергоносіїв: газу, пари, гарячої води, рідкого та твердого палива, смоли, електроенергії.

Суть технології полягає в комплексній термічній переробці відходів ізольовано від навколишнього середовища без надходження кисню з одночасним отриманням з них дешевої вуглеводневої сировини. Причому відходи переробляються без викиду в навколишнє середовище шкідливих елементів, і водночас виробляються екологічні безпечні продукти для використання в побуті й на виробництві.

Технологія передбачає компактне розміщення обладнання безпосередньо в межах населених пунктів і не потребує великих відстаней для транспортування сміття і відходів.

Установки, що працюють за такою технологією, мають і ряд притаманних лише їм, переваг:

- процес газифікації дозволяє раціонально, поетапно управляти режимами перероблення ТПВ, які характеризуються зміною складу і властивостей в широких межах без застосування додаткових ресурсів;

- у процесі газифікації ефективно руйнуються шкідливі речовини типу діоксинів, що містяться в ТПВ, а в процесі його утилізації не утворюються нові шкідливі речовини;

- процес очищення отриманих водневмісних продуктів газифікації характеризується високою ефективністю і відносно низькою вартістю використовуваного обладнання.

У разі виникнення електричного розряду у газах виникає електропровідна зона між електродами, яка утворена плазмою, що є тим газовим середовищем високої електропровідності та з низьким електричним опором порівняно з газами у звичайному стані. Плазма – це четвертий стан речовини.

Плазма – це іонізований газ, подібний до того, що є на поверхні Сонця і складається з атомарного водню  $H^+$ , атомарного кисню  $O$  і гідроксильної

групи  $OH$ . Це дуже активні хімічні частинки, які корисні в реакції перетворення органічних висхідних матеріалів (наприклад, біомаси) у водень і чадний газ. Цікаво, що якщо плазма не прореагує з яким-небудь матеріалом, вона повертається назад в газоподібний стан. У випадку парової плазми вона знову стає паром і з подальшим охолодженням знову стає водою.

Факельна система індукованої плазми використовує електроенергію і працює постійно за стійкої температури плазми від 3000 до більш ніж 10 000 К залежно від вибраного плазмового газу. Парове перетворення або комбінація пари і сухого  $CO_2$  перетворення найкраще підходить для високоорганічної початкової сировини. Порівняно з типовою камерою згоряння установки для спалювання відходів камера реакції плазмового перетворення в два рази менша за розмірами. Процес перетворення індукованої плазми може обійтися без повітря і тому виробляє дуже чистий водневмісний газ, який альтернативно можна використовувати як початкову хімічну сировину. Одна з причин вибору процесу перетворення індукованої плазми для системи переробки відходів і енергосистеми міської моделі – мінімізація використання й імпорту природного газу. Передбачається, що процес перетворення індукованої плазми буде більш гнучким інструментом переробки для різних органічних відходів, які виробляються в процесі життєдіяльності міста.

У Німеччині розроблено спосіб термічного розкладання ТПВ в електродуговому піролізаторі за високої температури (1773–1973 °С). Електродуговий піролізатор для перероблення відходів, у якому реалізовано технологію електропіролізу, складається з корпусу виконаного з конструкційної сталі та футерованого всередині, шнекового преса для подавання ТПВ, двох вугільних електродів, газової арматури для відведення вуглеводневої сировини, отриманої в результаті електропіролізу, електромагнітної арматури для видалення металевого розплаву, ванни розплавленого металу, шлаку. У результаті інтенсивного розкладання горючих складових утворюються коксівний залишок і газ, що містить в основному водень і оксид вуглецю (II). Мінеральна частина, що складається головним чином із силікатів і металів, плавиться і розділяється на метал і шлак.

Оксид заліза, що міститься в шлаку, вступає в реакцію з коксівним залишком, відновлюється до металу і утворює оксид вуглецю.

Метал, що відновився, безперервно відділяється від шлаку. Отриманий розплав складається переважно із заліза, інших металів і кремнію. Розплав металу безперервно подається з реактора до мідного водоохолодного кристалізатора. Склад цієї маси і кількість електроенергії, необхідної для її отримання, залежать від кількості і складу висхідних матеріалів.

Спосіб розкладання відходів у печі електродуги має ряд переваг порівняно з поширеними способами знешкодження:

- цикл процесу замкнутий;
- процес є безвідходним;
- під час переплавлення відходів повністю руйнуються всі органічні сполуки, знищується хвороботворна мікрофлора.

### Висновки

Результати аналізу способів перероблення ТПВ показали, що найбільш перспективним порівняно із захороненням, спалюванням, піролізом за схемою тління – горіння, перероблення у біоферментаторах є спосіб електропіролізу, який вирізняється високою виробничою потужністю, отриманням якісної хімічної сировини, екологічною чистотою, економічною ефективністю.

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 дозволив повністю вирішити проблему відходів мегаполісів з одночасним отриманням хімічної сировини, що забезпечує прибутковість переробки ТПВ порівняно з іншими способами.

Синтез-газ, отриманий в електродуговому реакторі переробки ТПВ, вільний від домішок сірки, що дає йому як хімічній сировині значні переваги порівняно з викопною хімічною сировиною (нафтою, газом).

Підсумовуючи результати роботи, можна зробити висновки, що наявна натеper технологія переробки ТПВ здатна докорінно змінити міське середовище з насиченого сміттям на екологічно чисте середовище життя мешканців мегаполіса.

### Література

1. *Супруненко О.Н.* Сміттєва ера: від світання до смеркання // Дзеркало тижня. – 2001. – № 34. – С. 54–56.
2. *Кудря С.О., Тучинський Б.Г., Щокін А.Р.* Перспективи зміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використання енергії, виробленої на об'єктах альтернативної енергетики // Энергосбережение. – 2007. – № 1. – С. 14–23.
3. *Макаров А.С., Борсук С.Д., Завгородній В.А.* Переробка золи сміттєспалювальних заводів // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2006. – № 1. – С. 46–47.
4. *Артеменко О.М.* Піроліз проти побутових відходів // Дзеркало тижня. – 2004. – № 21. – С. 42–44.
5. *Стародубцева О.В.* До рішення проблеми знешкодження твердих побутових відходів // Проблемы экологии. – 2004. – № 1-2. – С. 129–133.
6. *Сухін С.* Альтернативні та відновлювальні джерела енергії у регіональних та загальнодержавному паливно-енергетичних балансах України // Энергосбережение. – 2006. – № 12. – С. 4–5.
7. *Рошко А.О.* Перспектива використання відновлюваних джерел енергії в Україні: потенціал та можливості використання // Энергосбережение. – 2007. – № 2. – С. 25–28.
8. *Гречко А.В.* Современные методы термической переработки ТБО // Промышленная энергетика. – 2006. – № 9. – С. 48–50.
9. *Гречко А.В., Денисов В.Ф., Калнин Е.И.* О новой отечественной технологии переработки твердых бытовых отходов в барботируемом расплаве шлака (в печи Ванюкова) // Энергетик. – 1994. – № 9. – С. 46–50.
10. *Железная Т.А., Гелетуха Г.Г.* Современные технологии получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Обзор. Ч. 1 // Промышленная теплотехника. – 2005. – № 5. – С. 91–100.