

*В. М. Чуна, О. М. Карпаш,  
А. В. Яворський, П. М. Райтер  
Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу*

## ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ СТАЛИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Проведено огляд існуючих технологій утилізації твердих побутових відходів методами термічного знешкодження сміття з перспективою використання теплової енергії для промисловості і комунальних потреб населення. Викладено способи термічної утилізації відходів від звичайного спалювання до найсучаснішої технології утворення стабільного сухого залишку. Здійснено аналіз нормативно-правової бази поводження з відходами в країнах Європейського Союзу та в Україні.

Термічне знешкодження (спалювання) є найбільш ефективним способом боротьби з екологічними загрозами твердих побутових відходів (ТПВ). Він дає можливість знизити обсяги відходів, які складаються на полігонах, у десятки разів. Сміттєспалювальні заводи вирішують декілька завдань, які сприяють нормалізації стану довкілля. По-перше, в них переробляється і знищується та велика кількість сміття, яку щодня залишає після себе сучасне місто. По-друге, вони виробляють теплову енергію. І, по-третє, вони значно знижують обсяг залишків ТПВ, які вивозяться на полігони.

Рекомендовано використовувати термічно оброблені тверді побутові відходи в якості паливної сировини для промислових підприємств, що дозволить скоротити обсяги токсичних відходів та, як наслідок, ступінь їх впливу на навколишнє природне середовище.

Перспективним способом термічної утилізації твердих побутових відходів є технологія утворення сухого стабільного залишку (ССЗ), з подальшим використанням отриманої паливної сировини для потреб промисловості, як альтернатива викопному паливі. За допомогою технології ССЗ виключено утворення найбільш небезпечних побічних продуктів – діоксанів та фуранів, при 100% утилізації ТПВ.

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, термічне знешкодження, сміттєспалювання, методи термічної утилізації

**Постановка проблеми.** Проблема твердих побутових відходів (ТПВ) надзвичайно актуальна, оскільки в Україні спостерігається стала тенденція до збільшення обсягів утворення твердих побутових відходів, що вивозяться і захоронюються на сміттєзвалищах і полігонах. В свою чергу це призводить до утворення величезних звалищ ТПВ поблизу території великих міст.

Основним законом ЄС у сфері управління відходами є «Рамкова директива ЄС про відходи», яка поширюється на всі види відходів та встановлює так звану ієрархію відходів, правила управління з відходами, їх кваліфіковане збирання, утилізацію та переробку [1].

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 [1-3].

**Метою статті** є огляд вітчизняних та закордонних публікацій з питань утилізації твердих побутових відходів методом термічного знешкодження, та отримання теплової енергії під час процесу спалювання, розглянути та оцінити найефективніші методи термічної утилізації твердих побутових відходів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням методів термічної утилізації твердих побутових відходів присвячено чимало робіт українських науковців. Так, питання екологічних та правових аспектів утилізації ТПВ, а також європейського досвіду термічного знешкодження відходів глибоко розкриті в публікаціях Петрука М. П., Козій О. І., Вахули О. М., Яцюк Р. А. Проблемами утилізації відходів, рециклінгу та їх економічними аспектами займаються Ігнатенко О.П., Лимаренко В.О., Міщенко В.С., Гінайло В.О., Виговська В.П. Дослідження питань правового регулювання поводження з побутовими відходами проводилися такими вченими, як Міщенко В.С., Байцар Р.І., Зерук В.А.

**Викладення основного матеріалу.** Одна з гострих проблем сьогодношньої України - утилізація промислових і побутових відходів. Згідно зі статистикою, на кожного жителя країни припадає близько 300 тонн накопичених відходів. Всього функціонує близько 35 тис. полігонів з утилізації відходів (сміттєзвалищ), площа яких перевищує 12 тис. гектарів [15].

Розв'язання проблеми накопичення твердих побутових відходів пов'язане з необхідністю кардинальної зміни підходів до санітарного очищення наших міст і сіл, підвищення відповідальності населення і підприємств у поводженні з відходами, використанням досвіду розвинених країн в їх утилізації.

В Україні в різний час працювало 5 сміттєспалювальних заводів (Київ, Дніпро, Харків, Рівне та окупований сьогодні Севастополь), з яких на даний час діє лише завод «Енергія» в Києві. Сьогодні, на підприємстві гостро стоїть питання впровадження хімічного очищення димових газів [15].

Подібні проблеми притаманні для всіх сміттєспалювальних виробництв. Сучасні технології очищення димових газів дозволяють повністю нейтралізувати негативну дію цих речовин. Тому в розвинених країнах не існує обмежень по розташуванню сміттєспалювальних заводів. Є безліч прикладів розміщення таких підприємств навіть в центрі міст - прикладами є Токіо, Цюрих, або Ліон. Найяскравіший приклад - завод «Шпіттелеау» у Відні, який розміщений в центрі австрійської столиці (рис. 1) [14].



**Рис. 1. Загальний вигляд заводу Шпіттелеау (Відень) [14]**

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

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

Загальноприйнятий метод розміщення як небезпечних, так і твердих побутових відходів (ТПВ) – полігонне поховання. За оцінками фахівців, в європейських країнах щорічно утворюється 24 млн. т. небезпечних відходів, з них 75 % захоронюється. За даних умов полігонне поховання вважається найменш доцільним для відходів, які можна піддавати рециклінгу (переробка відходів для повторного використання), утилізувати чи використати для одержання альтернативних видів палива. У ЄС найпоширенішим є сміттєспалювання, яке виникло як спосіб знешкодження ТПВ і згодом перетворилося на енергетичну індустрію, оскільки за тепловим еквівалентом 1 тонна ТПВ прирівнюється до 0,5 тонни вугілля [4].

Спалювання ТПВ дозволяє значно знизити їх обсяг і вагу; перетворити речовини (у тому числі й небезпечні) в інертні тверді. До недоліків відносяться високі енергозатрати процесу, забруднення довкілля шкідливими газоподібними викидами, а також накопичення продуктів спалювання у виді зол і шлаків. Проблемами утилізації шлаків сміттєспалювання та використання їх для одержання будівельних матеріалів займалися науковці НУ «Львівська політехніка» та Технічного університету Сержі Понтуаза (Франція) [4-6].

Альтернативою спалюванню за температур 700–800°C за кордоном сьогодні інтенсивно ведуться науково-технічні розробки зі створення процесів і агрегатів високотемпературної переробки (1350...1600°C) – піролізу [6].

Для багатьох країн світу гостро стоїть проблема утилізації відходів. Це стосується як економічно розвинених країн, так і країн що розвиваються. Для вирішення питання утилізації відходів в Україні в 2017 р. розроблена Національна стратегія з управління відходами, що передбачає план до 2030 р. Даною Стратегією планувалось зменшення кількості захоронення твердих побутових відходів на сміттєвих полігонах з 95% (у 2016 році) до 50% у 2023 році і до 30% у 2030 році. Проте реальні показники не відповідають заданому плану: ця кількість у 2018 р. скоротилась лише на 1,2% [7].

Теперішній склад ТПВ істотно змінився у порівнянні з минулими роками. У побутових відходах істотно зменшився вміст металу і скляної тари, проте з використанням сучасних видів упаковки до 40-45% зріс обсяг пластику і полімерних матеріалів, а також паперу. А це вуглецева сировина, горіння якої відбувається з виділенням теплової енергії, тому технології сміттєспалювання широко використовуються для знешкодження ТПВ.

Сміттєспалювальні заводи знайшли широке застосування в країнах з високою густотою населення (ФРН, Японія, Швейцарія, Бельгія та ін.), в більшості розвинених країн переважає термічний спосіб знешкодження ТПВ (так, в Японії спалюється 82% сміття, в США – 81%, в Данії – 78%) (рис. 2). Для прикладу можна розглянути сміттєспалювальний завод. Завдяки застосуванню найкращих доступних технологій, якими вважаються спалювання сміття в печах на механічних колошникових решітках і печах з вихровим киплячим шаром з багатоступеневою системою газоочищення, проблеми екологічної безпечної експлуатації сміттєспалювальних заводів практично вирішені [8].

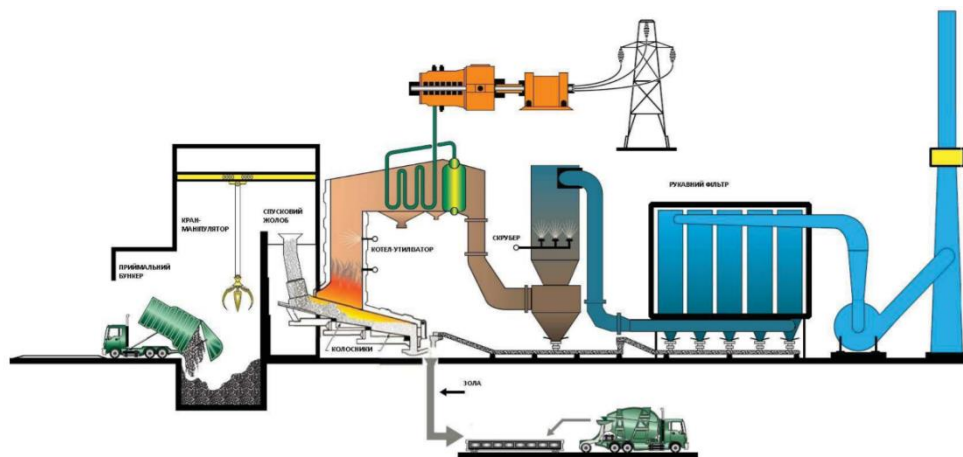


Рис. 2. Загальна принципова схема

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 ( $H_2$  і  $CO$ ), смол і обугленого 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 однастадійне спалювання на похилих або рухомих колошникових решітках [9]. В установці для масового спалювання необхідна мінімальна попередня обробка ТПВ (рис. 3). Як правило, з потоку вилучаються великогабаритні і негорючі матеріали.

При однастадійному спалюванні відходи спалюються без надлишку кисню, що спричиняє їх неповне згоряння і утворення піролітичного газу, який у верхній частині камери згоряння 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 [12].

Двостадійне спалювання полягає в спалюванні на другій стадії відхідних газів в середовищі з надлишком кисню і подаванні тепла в котелутилізатор.

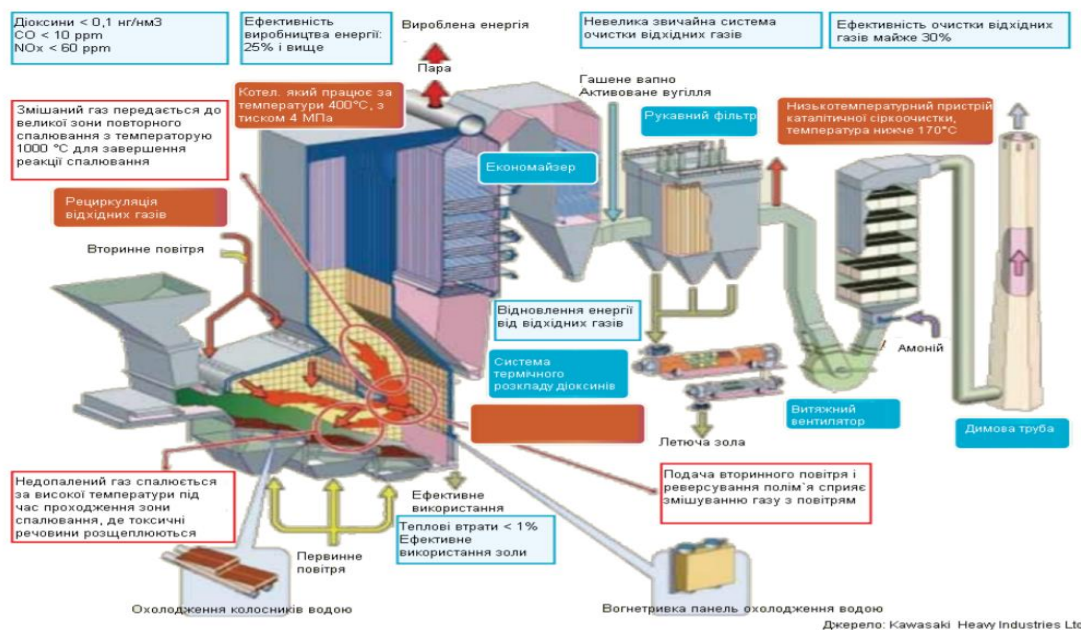


Рис. 3. Технологія однастадійного спалювання із колосниковими решітками [12]

Спалювання в киплячому шарі передбачає подрібнення, сортування відходів та вилучення металу для отримання більш однорідного твердого палива (рис. 4). Це паливо далі подається в камеру згоряння, 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 осаді стічних вод, сортовані органічні відходи та деревну стружку. Одним з недоліків технології є утворення значної кількості леткої золи.

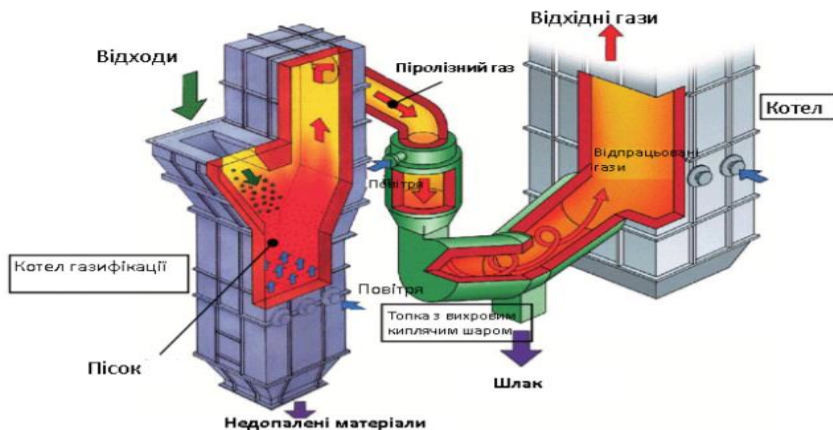


Рис. 4. Технологія спалювання ТПВ у киплячому шарі [12]



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 [12].

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 [10].

Піроліз – це процес розкладання органічних речовин без доступу кисню за порівняно низьких температур 450–800°C. Такий процес є енергетично вигіднішим, ніж просте спалювання. Результатом піролізу є отримання горючого газу і твердого залишку. Потім той та інші продукти без будь-якої додаткової обробки спалюються у печі. Частина піролізних газів після конденсації може бути виведена із системи і конвертована в рідке паливо (рис. 5).

Піроліз має ті самі недоліки, що і пряме спалювання відходів. Піролізний газ необхідно очищувати від кислих газів типу хлористого водню (HCl), внаслідок чого цей процес стає досить дорогим через застосування спеціального устаткування і використання каустичної або кальцинованої соди. При цьому також не можна уникнути забруднення довкілля важкими металами.

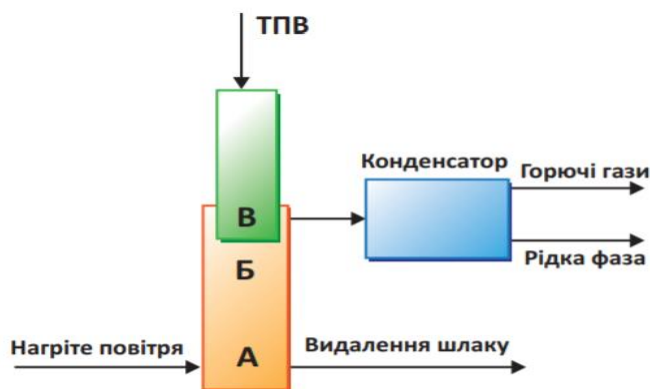


Рис. 5. Технологічна схема піролізу ТПВ [13]

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 (рис. 6). Високотемпературна газифікація дає можливість економічно вигідно і технічно відносно просто переробляти тверді побутові відходи без їх попередньої підготовки, тобто сортування, сушіння та ін. [11].

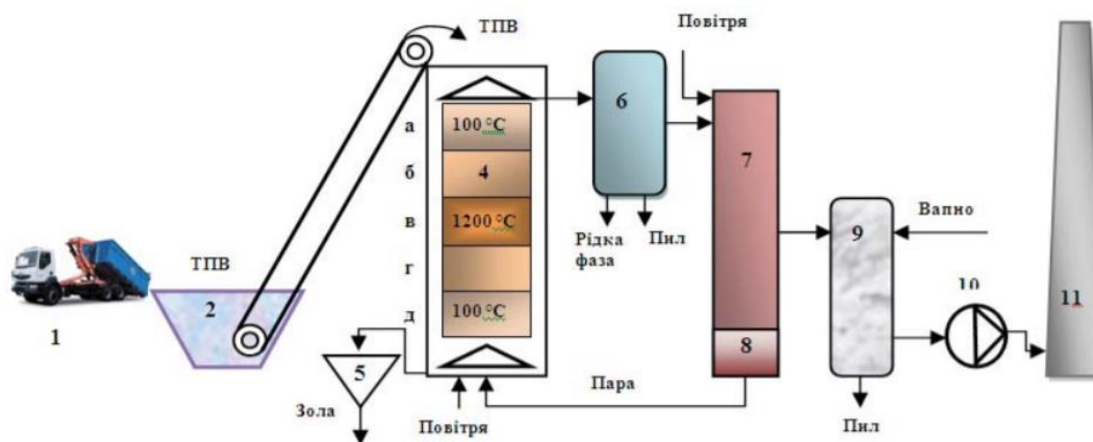


Рис. 6. Технологічна схема утилізації ТПВ методом високотемпературного піролізу [13]

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 теплоотою 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, фурани 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 утилізації 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 сьогодинішньому 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.

Однією з найбільш сучасних способів поводження з відходами є механіко-біологічний спосіб, який дає змогу повної комплексної утилізації ТПВ щоденного утворення, накопичені застарілі відходи полігонів, промислових відходів та ін. Крім того, ця технологія дає можливість повністю утилізувати всі 100% ТПВ, які постачаються, та отримувати наступні продукти [13]:

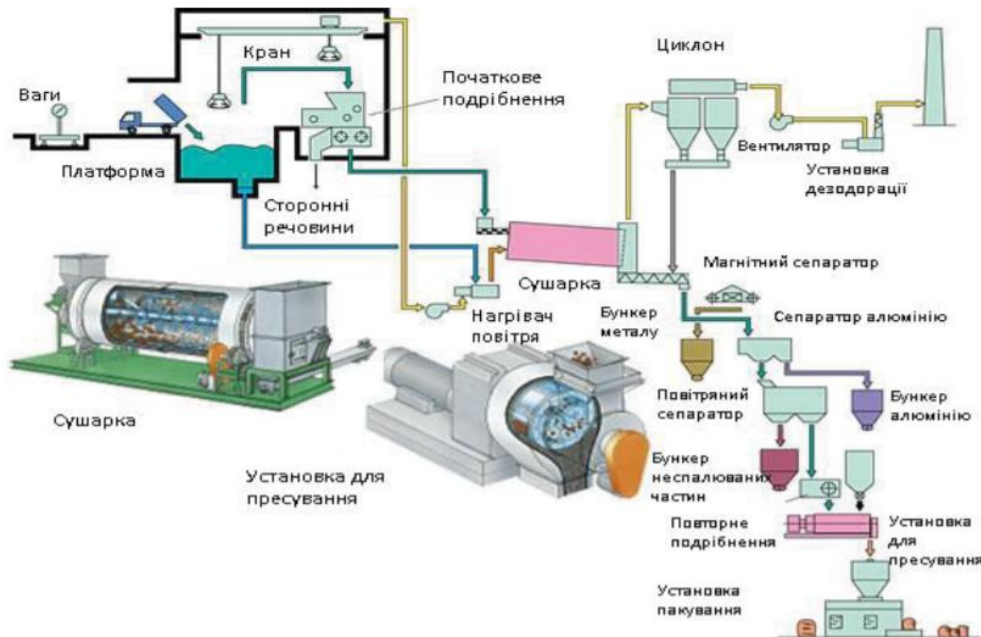
1. RDF (Refuse-Derived Fuel), (CC3 - сухий стабільний залишок) - альтернативне паливо з теплотворною здатністю в три рази більше, ніж бурого вугілля, в кількості не менше 50% від загального обсягу ТПВ;
2. Вода - очищена, придатна для використання в сільському господарстві (зрошення), обслуговуванні потреб заводу тощо, в кількості близько 30% від вступника ТПВ.
3. Вторинна сировина: метали, скло, щєбінь, в кількості близько 20% від вступника ТПВ.

Принципова схема наведена на рис. 7. За цією технологією ТПВ переробляються механіко-біологічним способом.

За технологією виділяється суха фракція ТПВ після біологічної сушки на автоматичній лінії та розділяються матеріали для повторного використання. Більше 50% ТПВ перетворюється таким чином у високоякісне вторинне паливо, так звану суху фракцію, яка використовується на підприємствах, що виробляють цемент, гіпс і інші будівельні матеріали, а також електростанціях для виробництва енергії [13].

ТПВ попередньо подрібнюються, що дозволяє в подальшому спростити процес сортування. Заповнення попереднього подрібнювача виконується автоматично краном з комп'ютерним управлінням. Контроль роботи заводського обладнання здійснюється з єдиного диспетчерського пункту одним черговим диспетчером.

Біологічна сушка ТПВ важлива операція подальшої переробки ТПВ. Для розділення та сортування ТПВ необхідно висушити. Наступним етапом є механічна обробка ТПВ. Висушені відходи транспортуються конвеєром до сепараторних агрегатів. Розподіл матеріалів відбувається для частинок різних розмірів на сортувальних пневматичних столах і повітряних сепараторах. Легкі матеріали, такі як папір, дерево, пластмаси, текстиль відокремлюються потоками повітря від важких інертних речовин, таких як скло, кераміка, каміння, метал. Деякі потоки матеріалів для більш ефективного поділу по щільності сепаруються в ще більш вузькі категорії крупності. Це виконується за допомогою віброгрохота. Конструкція подрібнювачів відрізняється високим ККД, довговічністю, а також низькими витратами на технічне обслуговування.



**Рис. 7. Принципова схема установки для утворення альтернативного палива з ТПВ – сухого стабільного залишку (ССЗ) [13]**

У комплексній комбінації різних матеріалів найчастіше зустрічаються композиційні матеріали, які не піддаються вищенаведеній технології поділу. До них відносяться насамперед використані батарейки і хлорвміщуючі синтетичні матеріали. Як при спалюванні так і розміщенні на звалищі в необробленому вигляді ці матеріали завдають шкоди навколишньому середовищу, тому вони мають бути вилучені вручну і утилізовані за допомогою спеціальних методів. Протягом транспортування сухих відходів виділяється пил. У комплексі з переробки ТПВ цей пил відсмоктується, фільтрується і підмішується до сухої фракції. Після завершення цих біологічних і механічних процесів корисні матеріали, такі як пластмаси, папір і дерево комплектуються в високоякісне паливо ССЗ. У пресах-грануляторах суха фракція переробляється в пухку масу або гранулюється, після чого вантажиться на автомобілі і транспортується для енергетичної утилізації в промислових енергетичних установках. Наприклад, ТЕС на бурому вугіллі. Одержуване паливо ефективно застосовується в печах цементної промисловості [13].

**Висновки.** На основі існуючих технологій та методів термічної утилізації твердих побутових відходів слід зазначити, що найбільш оптимальним методом термічної переробки сміття для умов України є технологія сухого стабільного залишку (ССЗ).

Технологія утворення сухого стабільного залишку є на даний час найбільш екологічно чистим методом термічної утилізації твердих побутових відходів. Це зумовлено тим, що вище зазначена технологія передбачує не пряме спалювання сміття, а утворення із відходів паливної сировини, яка може використовуватись як альтернатива звичайній паливній сировині (нафтопродуктам, бурому вугіллю, і тд).

#### Література

1 Директива 2008/98/ЄС про відходи. Режим доступу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_942#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text)

- 2 Директива 1999/98/ЄС про захоронення відходів. Режим доступу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_942#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text)
- 3 Директива 2000/76/ЄС про спалювання відходів. Режим доступу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_942#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text)
- 4 Козій, О.І. Термічне знешкодження твердих побутових відходів: європейський досвід [Текст] / О.І. Козій, М.П. Петрук, О.М. Вахула // Комунальне господарство міст - Харків, 2015. - 120(1). - С. 122-125.
- 5 Петрук М.П., Козій О.І. Утилізація та економічна безпека шлаків сміттєспалювальних заводів/ Тези Міжнародної конференції «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» – Львів.- 2009. – с.77.
- 6 Petruk M., Lefevre A., Duval R, Luhowiak W., Sobol C. Proprietes physicochimiques des systemes cimentaires composes de chaux et d" additifs mineraux/Revue francaise de genie civil. 2/2003.- 14p.
- 7 Проблема сміття: від Європи до України Режим доступу <https://www.csi.org.ua/news/problema-smitty-a-vid-yevropy-do-ukrayiny/>
- 8 Екологічні та правові аспекти утилізації твердих побутових відходів / М. П. Петрук, О. І. Козій, О. М. Вахула, Р. А. Яцюк // Наше право. - 2017. - № 3. - С. 178. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nashp\\_2017\\_3\\_32](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nashp_2017_3_32)
- 9 Тугов, А.Н. Опыт использования твердых коммунальных отходов в энергетике (обзор) [Текст] / А.Н.Тугов // Теплоэнергетика. - 2015.- № 12.- С. 13–22.
- 10 Потапов Н.И., Юдин А.Г. Наилучшие доступные технологии в области сжигания отходов/ Экологическая экспертиза, 2012,- с. 57-73.
- 11 Падалко О.В. Плазменная газификация отходов – правильный выбор/ ТБО, 2009.- № 6.- с. 38-45.
- 12 Incineration (Heat recovery) Plant Режим доступу. [https://global.kawasaki.com/en/industrial\\_equipment/environment\\_recycling/waste/heat.html](https://global.kawasaki.com/en/industrial_equipment/environment_recycling/waste/heat.html)
- 13 «Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України». Керівництво з відбору технологій/Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 134 с.: іл.
- 14 «Як сміттєспалювальний завод у Відні став туристичною принадою – Україні на замітку» Режим доступу [https://ecotown.com.ua/news/YAk-smittyespalyvalnyy-zavod-u-Vidni-stav-turystychnoyu-prynadoyu-Ukrayini-na-zamitku/-/](https://ecotown.com.ua/news/YAk-smittyespalyvalnyy-zavod-u-Vidni-stav-turystychnoyu-prynadoyu-Ukrayini-na-zamitku/)
- 15 «Чи потрібні Україні сміттєспалювальні заводи?» Режим доступу <https://pay.vn.ua/articles/1114>

*V. Chupa, O. Karpash,*

*A. Yavorskyi, P. Raiter*

*Ivano-Frankivsk National*

*Technical University of Oil and Gas*

## **OVERVIEW OF THE CURRENT STATE OF SUSTAINABLE TECHNOLOGIES FOR ENERGY UTILIZATION OF SOLID WASTE**

The review of existing technologies of solid waste disposal by methods of thermal disposal of garbage with the prospect of using thermal energy for industry and communal needs of the population is carried out. Methods of thermal disposal of waste from conventional incineration to the most modern technology of forming a stable dry residue are described. The regulatory framework for waste management in the European Union and in Ukraine is analyzed.

Thermal disposal (incineration) is the most effective way to combat the environmental threats of solid waste (SW). It makes it possible to reduce the amount of waste stored at landfills by dozens of times. Incinerators solve several problems that contribute to the normalization of the environment. Firstly, they process and destroy the large amount of garbage that the modern city leaves behind every day. Secondly, they produce thermal energy. And, thirdly, they significantly reduce the amount of solid waste that is transported to landfills.



It is recommended to use heat-treated solid waste as a fuel for industrial enterprises, which will reduce the amount of toxic waste and, as a consequence, the degree of their impact on the environment.

A promising method of thermal disposal of solid waste is the technology of formation of dry stable residue (DSR), with the subsequent use of the obtained fuel for industrial needs as an alternative to fossil fuels. With the help of DSR technology the formation of the most dangerous by-products – dioxanes and furans – is excluded with 100% disposal of solid waste.

**Key words:** solid waste, thermal disposal, incineration, methods of thermal disposal

#### References

- 1 Dyrektyva 2008/98/JeS pro vidkhody. Rezhym dostupu: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_942#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text)
- 2 Dyrektyva 1999/98/JeS pro zakhoronennia vidkhodiv. Rezhym dostupu: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_942#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text)
- 3 Dyrektyva 2000/76/ YeS pro spaliuvannia vidkhodiv. Rezhym dostupu: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_942#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text)
- 4 Kozii, O.I. Termichne zneshkodzhennia tverdykh pobutovykh vidkhodiv: yevropeiskyi dosvid [Tekst] / O.I Kozii, M.P. Petruk, O.M. Vakhula // Komunalne hospodarstvo mist - Kharkiv, 2015. - 120(1). - S. 122-125.
- 5 Petruk M.P., Kozii O.I. Utylizatsiia ta ekonomichna bezpeka shlakiv smittiespaliuvalnykh zavodiv/ Tezy Mizhnarodnoi konferentsii «Zakhyst navkolyshnoho seredovyshcha. Enerhooshchadnist. Zbalansovane pryrodokorystuvannia» – Lviv.- 2009. – s.77.
- 6 Petruk M., Lefevre A., Duval R, Luhowiak W., Sobol C. Proprietes physicochimiques des systemes cimentaires composes de chaux et d'additifs mineraux/Revue francaise de qenie civil. 2/2003.- 14 p.
- 7 Problema smittia: vid Yevropy do Ukrainy Rezhym dostupu <https://www.csi.org.ua/news/problema-smittya-vid-yevropy-do-ukrayiny/>
- 8 Ekolohichni ta pravovi aspekty utylizatsii tverdykh pobutovykh vidkhodiv / M. P. Petruk, O. I. Kozii, O. M. Vakhula, R. A. Yatsiuk // Nashe pravo. - 2017. - № 3. - S. 178. - Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nashp\\_2017\\_3\\_32](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nashp_2017_3_32)
- 9 Tuhov, A.N. Opyt ispolzovanyia tverdykh kommunalnykh otkhodov v enerhetike (obzor) [Tekst] / A.N.Tuhov // Teploenerhetika. - 2015.- № 12.- S. 13–22.
- 10 Potapov N.Y., Yudin A.H. Nailuchshyie dostupnyie tekhnologii v oblasti szhyganiia otkhodov/ Ekologicheskaiia ekspertiza, 2012,- s. 57-73.
- 11 Padalko O.V. Plazmennaia gazyfikatsiia otkhodov – pravilnyi vybor/ TBO, 2009.- № 6.- s. 38-45.
- 12 Incineration (Heat recovery) Plant Rezhym dostupu. [https://global.kawasaki.com/en/industrial\\_equipment/environment\\_recycling/waste/heat.html](https://global.kawasaki.com/en/industrial_equipment/environment_recycling/waste/heat.html)
- 13 «Krashchi z dostupnykh tekhnolohii dlia zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy». Kerivnytstvo z vidboru tekhnolohii/Pid redaktsiieiu S. Yermilova. – K.: «Polihraf plius», 2016. – 134 s.: il.
- 14 «Yak smittiespaliuvalnyi zavod u Vidni stav turystychnoiu prynadoiu – Ukraini na zamitku» Rezhym dostupu <https://ecotown.com.ua/news/YAk-smittiespalyuvalnyy-zavod-u-Vidni-stav-turystychnoyu-prynadoyu-Ukrayini-na-zamitku-/>
- 15 «Chy potribni Ukraini smittiespaliuvalni zavody?» Rezhym dostupu <https://pay.vn.ua/articles/1114>

*Надійшла до редакції 4 червня 2021 р.*