

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2019, 3(58): 45–54
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2019.03.045>

УДК 628.4.032+628.474.3

Л.С. ГАПОНІЧ, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ORCID 0000-0003-4611-3193,
І.Л. ГОЛЕНКО, канд. техн. наук, ORCID 0000-0003-3487-8025,
О.І. ТОПАЛ, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ResearcherID: I-9711-2016,
Інститут вугільних енерготехнологій НАН України,
вул. Андріївська, 19, м. Київ, 04070, Україна

НОРМАТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, СУЧАСНИЙ СТАН ПОВОДЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ

Розглянуто діюче законодавство щодо управління відходами в Європейському Союзі (ЄС) та в Україні. Визначено зобов'язання України в сфері поводження відходами відповідно до Угоди про асоціацію між Україною та ЄС. Узагальнено інформацію для країн Європи та України з обсягів твердих побутових відходів (ТПВ), що утворюються та піддаються обробці. Проаналізовано сучасний стан поводження з ТПВ у світі та в Україні. Коротко проаналізовано різні технології термічної переробки відходів, в тому числі інсінерації. Наведено дані щодо термічної утилізації ТПВ, кількості та продуктивності сміттєспалювальних заводів в Європі та Україні. Узагальнено інформацію щодо досвіду виробництва і використання в Європі палив з твердих побутових відходів – RDF та SRF. Оцінено фактори, що впливають на вибір технологій термічної переробки ТПВ для будівництва нових сміттєспалювальних заводів в Україні з урахуванням європейських підходів з питань управління відходами.

Ключові слова: поводження з відходами, тверді побутові відходи, інсінерація, паливо з твердих побутових відходів, найкраща доступна технологія, відходи в енергію.

ВСТУП

Верховна Рада України та Європейський Парламент 16 вересня 2014 р. синхронно ратифікували Угоду про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом (ЄС), Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами, з іншої сторони (надалі Угода про асоціацію) [1]. Угодою про асоціацію передбачено поступове наближення законодавства України до політики і законодавства ЄС у сфері охорони навколишнього середовища у 8 секторах: управління довкіллям та інтеграція екологічної політики в інші галузеві політики, якість атмосферного повітря, управління відходами та ресурсами, якість води та управління водними ресурсами, включаючи морське середовище, охорона природи, промислове забруднення та техногенні загрози, зміна клімату та

захист озонового шару, генетично модифіковані організми.

Політика у сфері управління відходами в ЄС визначається вісьмома директивами, з них у список Угоди про асоціацію увійшли три: Рамкова Директива № 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 р. про відходи та скасування деяких директив [2]; Директива № 1999/31/ЄС від 26 квітня 1999 р. про захоронення відходів [3]; Директива № 2006/21/ЄС від 15 березня 2006 р. про управління відходами видобувних підприємств [4]. Впровадження цих директив пов'язано із значними змінами у вітчизняному законодавстві в сфері управління відходами. Термін впровадження директив в Україні становить від 2 до 5 років, з 2019 до 2022 р.

У зв'язку з цим метою даної роботи було вивчення законодавства ЄС у сфері управління відходами, визначення зобов'язань України в цій сфері відповідно до Угоди про асоціацію, аналіз відповідних змін у національному за-

© Л.С. ГАПОНІЧ, І.Л. ГОЛЕНКО, О.І. ТОПАЛ, 2019

конодавстві та сучасного стану поводження з ТПВ, оцінка перспектив їх енергетичного використання в Україні.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Законодавство у сфері управління відходами в Європейському Союзі. Рамкова Директива № 2008/98/ЄС про відходи [2] встановлює законодавчу базу та основні правила поводження з відходами, які не тільки дозволять зменшити об'єми складування відходів, а ще й забезпечать економію ресурсів завдяки повторному використанню, рециклінгу та переробленню вторинної сировини. При рециклінгу відбувається переробка органічного матеріалу, яка може супроводжуватися або відновленням енергії або переробленням в матеріали, які використовуються як паливо [2].

Директива про відходи передбачає запровадження ієрархії пріоритетів поводження з відходами: запобігання і мінімізація утворення (економічні стимули – пільги, спеціальне оподаткування, проведення освітніх кампаній тощо); підготовка до повторного використання; рециклінг, в тому числі компостування; інша утилізація, в тому числі відновлення енергії; екологічно безпечне видалення на звалища (полігони). Для забезпечення високої якості перероблення відходів Директива зобов'язує запровадити роздільне збирання відходів, принаймні, паперу, металу, пластику та скла. Утилізація відходів – це використання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів. Визначення «відновлення», окрім виробництва електроенергії з відходів, охоплює і виробництво альтернативного палива з безпечних відходів, в тому числі твердих побутових відходів. Паливо, отримане з твердих побутових відходів (Refuse derived fuel, RDF) та промислових відходів, може використовуватися як у енергетичних установках спалювання або спільного спалювання відходів, так і як заміник палива в промислових процесах. Тверде відновлене паливо є цінною альтернативою для управління тими фракціями безпечних відходів, які не можуть бути перероблені. RDF в англійських країнах зазвичай відноситься до виділеної висококалорійної фракції оброблених ТПВ.

Директивою № 2008/98/ЄС визначено 16 категорій відходів, в тому числі небезпечних. На їх основі запроваджено єдиний для країн ЄС перелік відходів та порядок віднесення відходів до категорії небезпечних, контроль за небезпечними відходами. Перелік відходів встановлено Рішенням Комісії 2000/532/ЄС від 3 квітня 2000 р., він періодично перегляда-

ється та оновлюється [5]. Директива вимагає впровадження принципу «забруднювач платить» шляхом розширеної відповідальності. Це означає, що виробник несе відповідальність за переробку та утилізацію своєї продукції після її споживання. Директива також вимагає дотримання обов'язкових дозвільних процедур для виробника. Необхідною умовою для отримання дозволу на спалювання або сумісне спалювання відходів з утилізацією енергії є вимога, щоб відновлення енергії відбувалося на високому рівні енергоефективності.

Метою Директиви № 1999/31/ЄС від 26 квітня 1999 р. про захоронення відходів [3] є запобігання або зменшення негативного впливу на довкілля та здоров'я людини від захоронення відходів протягом усього часу існування місць захоронення. Директивою № 1999/31/ЄС встановлюються технічні та експлуатаційні вимоги, що стосуються і властивостей та об'ємів відходів, і місць їх захоронення – полігонів. Кожна країна зобов'язана зменшувати кількість відходів, що видаляються на полігони, самостійно визначаючи методи зменшення. Визначено, що тільки відходи після оброблення можуть спрямовуватись на полігони. Оброблення відходів – це фізичні, термічні, хімічні або біологічні процеси, включаючи спалювання, застосування яких призводить до зменшення обсягів та/або небезпечних властивостей відходів, полегшує поводження з ними або сприяє утилізації. Згідно з положеннями Директиви № 1999/31/ЄС не дозволяється складування на полігонах тих фракцій ТПВ, що біологічно розкладаються. Для виконання цієї вимоги необхідно здійснювати сортування відходів для відокремлення фракції ТПВ, що біологічно розкладається, або переробляти відходи іншими методами, в тому числі спалюванням. Фракції, що залишилися після роздільного збирання та/або сортування, можуть бути перетворені в RDF, оскільки вони є сухими твердими фракціями з високою теплою згоряння. Саме тому виробництво RDF може розглядатися як компонент інтегрованої політики у сфері поводження з відходами.

Основним документом ЄС у сфері охорони навколишнього природного середовища, що регулює викиди забруднюючих речовин від промислових установок, є Директива № 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 р. про промислові викиди (Industrial Emissions Directive або IED) [6]. Директива має на меті досягнення високого рівня захисту навколишнього середовища за рахунок зменшення шкідливих викидів, зокрема, шляхом застосування

найкращих доступних методів (Best Available Techniques, BAT). Термін «найкращі» означає найбільш ефективні для досягнення високого загального рівня захисту навколишнього середовища, при цьому їх використання не пов'язане з непропорційно великими економічними витратами. Директива № 2010/75/ЄС містить критерії для визначення найкращих доступних методів (Додаток III). Дія Директиви поширюється і на поводження з відходами – спалювання відходів, видалення на полігони тощо. Згідно Директиви № 2010/75/ЄС, функціонування заводів зі спалювання і спільного спалювання відходів може здійснюватися тільки при наявності інтегрованого дозволу. Умови дозволу формуються на підставі довідкових документів з найкращих доступних методів для спалювання відходів (Reference Document on the Best Available Techniques (BREFs) for Waste Incineration, WI BREF) 2006 р. [7, 8]. У 2019 р. планується опублікувати нові WI BREF. В Україні затвердження довідкових документів з BAT щодо відходів планується здійснити у 2022–2023 рр.

Законодавство у сфері управління твердими побутовими відходами в Україні. 28 березня 2019 р. президент України П. Порошенко підписав Закон «Про Основні засади (Стратегію) екологічної політики України на період до 2030 року». Закон передбачає зменшення обсягу захоронення відходів на полігонах у 2030 р. до 35%. Важливим етапом імплементації вимог директив ЄС у сфері поводження з відходами є розробка та схвалення розпорядженням Кабінету Міністрів України № 820-р 8 листопада 2017 р. Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. (далі Стратегія). Стратегія визначає урядову політику в сфері управління відходами. Її завдання – очищення навколишнього середовища та зменшення відходів, в тому числі твердих побутових відходів, що надходять до полігонів. Пріоритетний напрямок – це перетворення відходів на ресурси та зниження обсягів їх утворення. Стратегією передбачено досягнення до 2023 р. перероблення 15% ТПВ та охоплення роздільним збиранням ТПВ 23% населення, а до 2030 р. – відповідно 50% ТПВ та 48% населення.

Інструментом реалізації Стратегії є Національний план управління відходами, схвалений Кабінетом Міністрів України 20 лютого 2019 р., який визначає завдання і практичні заходи, впровадження яких дозволить Україні перейти на нову модель поводження з відходами на зразок діючої в країнах ЄС. Національним планом управління відходами, зокрема,

передбачено формування державної політики у сфері управління ТПВ, а саме, створення ефективної системи їх збирання та вивезення, будівництва потужностей для відновлення, в тому числі з отриманням енергії.

Рамковий Закон України «Про управління відходами» проходить останні етапи погодження, 22 травня 2019 р. його було схвалено на засіданні Кабінету Міністрів України. Відходи – це будь-які речовини, предмети, яких їх власник позбувається, має намір або зобов'язаний позбутися. ТПВ класифікуються як відходи, що збираються муніципалітетами або іншими органами місцевого самоврядування, це господарсько-побутові відходи та відходи інфраструктури населеного пункту. Вони включають папір, картон, скло, метали, пластик, біовідходи, деревину, текстиль, упаковку, відходи електричного та електронного обладнання, відпрацьовані батарейки, батареї та акумулятори, а також великогабаритні відходи. З 1 вересня 2018 р. вступила в дію поправка до Закону України «Про відходи» (ст. 32), згідно з якою на полігонах забороняється захоронення неперероблених (необроблених) побутових відходів [9].

Сучасний стан поводження з твердими побутовими відходами в світі. В останні роки в світі щорічно утворюється близько 2,5 млрд т ТПВ, 85% яких відправляється на полігони та сміттєзвалища. В країнах-членах ЄС та країнах-кандидатах до вступу в ЄС щорічно утворюється близько 300 млн т ТПВ (Джерело: Євростат (Statistical Office of the European Union, EUROSTAT)). Більше 100 млн т (34–35%) цих відходів видалається на полігони та сміттєзвалища, площа яких сягає тисячі квадратних кілометрів. Одна з проблем, пов'язаних із складуванням ТПВ на полігонах, – біохімічне розкладання з утворенням звалищного газу, компонентами якого є парникові гази – CH_4 (до 60%) та CO_2 [10, 11]. Згідно з Міжурядовою групою експертів з питань зміни клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC. ch), МГЕК), викиди з сміттєзвалищ становлять 18% від загального обсягу викидів метану в атмосферу, що в останні роки становить до 70 млн т щорічно [12, 13]. В Україні викиди CH_4 з полігонів ТПВ у 2017 р. склали 325,7 тис. т [14]. Треба підкреслити, що CH_4 має потенціал глобального потепління в 21 раз більше, ніж CO_2 . Накопичення CH_4 у товщі полігону може призвести до самозаймання ТПВ. Некероване горіння супроводжується утворенням токсичних речовин, зокрема діоксинів.

На сьогодні в світі найбільш широко застосовують три основні види термічної обробки відходів: інсінерація (найбільш поширений процес); піроліз – термічна деструкція органічного матеріалу при відсутності кисню; газифікація – часткове окиснення [7, 13]. Інсінерація – це спалювання відходів або RDF у контрольованому процесі на установках спалювання відходів. Температура в цих установках спалювання коливається від 800 до 1450 °С [7]. Для інсінерації можна використовувати тільки ТПВ та RDF з теплою згоряння більше ніж 6,0 МДж/кг. Інсінерація дозволяє суттєво зменшити об'єм (на 90%) та масу (на 75%) ТПВ [7, 13]. При спалюванні ТПВ утворюється зола (близько 3,5–4% від початкової маси ТПВ), яка потребує особливого методу утилізації, оскільки містить небезпечні компоненти. Інсінерація дозволяє вловлювати шкідливі речовини, які утворюються при спалюванні ТПВ, та/або зменшувати їх викид. Крім того, інсінерація дає можливість отримання мінералів і металів із відходів [7]. Для різних видів відходів застосовуються різні види термічної обробки. При спалюванні ТПВ утворюється енергія, яка може бути використана для виробництва електроенергії та теплоти («Відходи в Енергію»). Технологія «Відходи в Енергію» є однією з найбільш надійних та ефективних альтернативних шляхів економії органічного палива та зменшення викидів парникових газів. Згідно керівництва з WI BREF [7], піроліз та газифікація для термічної обробки і ТПВ і RDF застосовується рідко.

Термін «Відходи в Енергію» («Waste-to-Energy», WtоE, інколи W2E) включає різні види технологій обробки відходів для отримання електричної та теплової енергії або альтернативного палива, тобто термічну переробку змішаного потоку ТПВ на сміттєспалювальних заводах, або виробництво та спалювання палива з побутових відходів (Refuse Derived Fuel, RDF) [7, 13, 15–17]. Інсінерації може передувати роздільне збирання та/або сортування ТПВ, механіко-біологічне оброблення відходів. Механіко-біологічне оброблення відходів об'єднує механічні методи (сортування за допомогою сит, барабанів, магнітів та ін.) і біологічні методи [7, 18]. Такі сировини як папір, скло, пластик і метал ідуть на переробку. Фракції ТПВ, що біологічно розкладаються, можуть бути відправлені на компостування і анаеробне зброджування. Всі інші фракції, а це близько третини ТПВ, є сировиною для твердого відновленого палива. RDF – це паливо, отримане при видаленні

вторинної сировини та негорючих матеріалів із ТПВ. Перевагами цього підходу до переробки ТПВ є те, що відходи перетворюються на товарну продукцію, яка може накопичуватись, складуватись, транспортуватись. Якісні характеристики RDF можуть варіюватися. Залежно від морфологічного складу ТПВ і технології виробництва може бути отримано паливо різної якості та виду – у вигляді порошку або гранул різного розміру та щільності.

За даними ERFO (European Recovered Fuel Organisation, Європейської асоціації відновленого палива з твердих відходів) – концепція «відновлення» є ключовим елементом інтегрованого управління відходами. Треба зазначити, що ERFO була створена для розробки концепції твердого відновлюваного палива. Тверде відновлюване паливо (Solid Recovered Fuel, SRF) – це тверде паливо, отримане з безпечних відходів, в тому числі твердих побутових, промислових і комерційних відходів, включаючи папір, картон, дерево, текстиль та пластмасу, які можуть будуть використані для відновлення енергії в установках спалювання або спільного спалювання з вугіллям. SRF може піддаватися додатковій обробці для збільшення теплоти згоряння. SRF має відповідати вимогам класифікації та специфікації Європейського комітету стандартизації (European Committee for Standardization, CEN). Ці вимоги були розроблені Технічним комітетом CEN/TC 343 Solid Recovered Fuels та викладеним у Європейському стандарті EN 15359:2011 Solid recovered fuels – Specifications and classes. Стандарт EN 15359:2011 визначає специфікацію деяких фізико-хімічних властивостей SRF. Ці властивості встановлюються шляхом використання методів вимірювання, які також розроблені комітетом CEN/TC 343. Властивості, обов'язкові для визначення, включають форму і розмір частинок, вміст вологи, та золи, нижчу теплотворну здатність, вміст хлору та всіх важких металів, зазначено у Директиві № 2010/75/ЄС [6]. Також обов'язково вказується клас SRF і походження. SRF може використовуватись лише установками, що відповідають граничним значенням викидів, встановленим Директивою № 2010/75/ЄС. Схема класифікації SRF використовує три основні параметри: теплоту згоряння (економічну інформацію), концентрацію Cl (технічну інформацію) і Hg (екологічну інформацію) (табл. 1). Стандарт EN 15359:2011 прийнятий в Україні методом підтвердження на мові оригіналу (англійській) – «ДСТУ EN 15359:2018 Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи (EN 15359:2011, IDT)».

Таблиця 1. Класифікація SRF згідно з EN 15359:2011

Класифікаційний параметр	Статистична міра	Одиниці вимірювання	Класи				
			1	2	3	4	5
Теплотворна здатність	Середнє значення	МДж/кг	i	i	i	i	i
Хлор (Cl)	Середнє значення	% (на суху масу, d)	J	J	J	J	J
Ртуть (Hg)	Середнє значення	мг/МДж	J	J	J	J	J

Технологія WtoE традиційно була більш поширена в країнах з дефіцитом або відсутністю вільних територій для складування відходів. Але сьогодні цей тренд змінюється – навіть у Австралії, де немає нестачі вільних територій, в промисловій зоні Квінана, приблизно за 40 км на південь від Перту у 2018 р. було розпочато будівництво першого заводу WtoE Авертас Енерджи (Avertas Energy) електричною потужністю 36 МВт з продуктивністю 400 тис. т ТПВ в рік. Планується будівництво ще одного заводу в Істерн Крак (Eastern Creek) продуктивністю 552,5 тис. ТПВ в рік. Сьогодні в світі вже працює більше 2600 заводів WtoE, з них понад 500 в Європі, 120 в Північній Америці та 1600 в Азії.

В країнах-членах ЄС та країнах-кандидатах до вступу в ЄС в останні роки збільшується частка ТПВ, що обробляється. Так, у 2017 р. там було оброблено майже 98% ТПВ (табл. 2). Інсінерації, в тому числі з отриманням енергії, піддається 25% загального обсягу ТПВ, в країнах-членах ЄС – 28% загального обсягу ТПВ, при цьому цей показник щороку збільшується. За даними Конфедерації європейських заводів «Відходи в Енергію» (CEWER, Confederation of European Waste-to-Energy Plants), заводи з виробництва енергії з ТПВ в Європі можуть забезпечити електроенергією 19 млн та теплою 16 млн мешканців, відповідно. У 2016 р. на цих заводах було вироблено 40 млн кВт·год електроенергії та 93 млн кВт·год теплоти. В табл. 2 наведено кількість і потужність заводів WtoE, що працюють у Європі (Джерело: Євростат (Statistical Office of the European Union, EUROSTAT), CEWER, Онлайнова бібліотека Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD iLibrary)) та в Україні. Найбільше ТПВ відновлюється на заводах WtoE в Німеччині, Франції, Великій Британії, Італії, Нідерландах, Іспанії та Австрії. В Україні у 2017 р. частина ТПВ, що була спалена з відновлюванням енергії – 2,2%.

Для спалювання ТПВ застосовують такі технології: спалювання на решітках, включаючи зворотньо-поступальну решітку, рухому решітку, ланцюгову решітку, решітку, що охоло-

джується водою, обертові печі та спалювання в різних модифікаціях киплячого шару [7, 19]. У Європі та світі близько 90% заводів WtoE для спалювання оброблених ТПВ і RDF/SRF широко використовують технології спалювання на рухомих решітках [7, 18, 20]. Технологія киплячого шару потребує певного діапазону розмірів частинок ТПВ. Це можна досягти роздільним збиранням відходів та/або застосуванням попередньої обробки, тому інсінератори з киплячим шаром переважно застосовуються для спалювання RDF/SRF.

Виробництво RDF/SRF палив у Європі щорічно збільшується [7, 18, 21]: у 2003 р. було вироблено близько 3 млн т RDF/SRF, у 2005 – більше 5 млн т (табл. 3). У 2015 р. майже 13,5 млн т RDF/SRF утилізовано на заводах WtoE, при спільному спалюванні з вугіллям при виробництві цементу та на теплових електростанціях (ТЕС). В Європі обсяги RDF/SRF, що постачаються на заводи WtoE, щорічно збільшуються, так у 2005 р. це було близько 2 млн т, а у 2015 р. – вже 7 млн т.

Виробництво RDF/SRF з ТПВ найбільш розвинуто в Німеччині, Італії, Австрії та у Великій Британії. У 2009 р. у Німеччині було вироблено 7,2 млн т RDF/SRF, причому 68% було спалено на заводах WtoE: 45% за технологією спалювання на решітці, 23% за технологією киплячого шару. Треба зазначити, що щорічний потенційний попит на RDF/SRF в Європі складає 53–63 млн т. У США працює 12 заводів WtoE, які мають потужність від 0,4 до 2,7 тис. т RDF на добу і загалом обробляють близько 6 млн т щорічно (20% від потужності США) [18]. Майже всі великомасштабні заводи WtoE знаходяться в США. Так, у штаті Флоріда працює два заводи WtoE – потужністю 1,8 тис. т RDF на добу та 3,0 тис. т ТПВ на добу.

Світовими лідерами в сфері WtoE є фірми Babcock & Wilcox (з 1939 р. побудовано більше 500 заводів у 30 країнах), Hitachi Zosen Corporation (з 1934 р. 458 заводів, в т. ч. 197 заводів у Європі та 195 в Японії), Mitsubishi Heavy Industries Environmental & Chemical Engineering Co., Ltd (більше 200 заводів з 1964 р.) та Takuma CO., Ltd. (більше 350 заводів з 1963 р.). Кожна

Таблиця 2. Обсяги ТПВ, що утворюються та піддаються обробці, частки їх спалювання на сміттєспалювальних заводах, інформація щодо цих заводів в Європі та Україні для 2017 р.

Країна	Обсяг ТПВ					Заводи WtoE	
	Загальний	Обробляється		Спалюється, в т. ч. WtoE		Кількість одиниці	Потужність тис. т/рік
		тис. т	тис. т	%*	тис. т		
Країни-члени ЄС та країни-кандидати до вступу в ЄС	298347	292050	97,9	74141	25,0	492	95307
Країни ЄС							
Австрія	5018	4944	98,5	1944	38,7	11	2600
Бельгія	4659	4620	99,2	2002	43,0	17	3410
Болгарія	3080	3071	99,7	103	3,3	–	–
Велика Британія	30911	30998	100	11578	37,5	40	10890
Греція	5415	5415	100	58	1,1	–	–
Данія	4503	4503	100	2380	52,9	26	3470
Естонія	514	492	95,7	217	42,2	1	220
Ірландія (для 2016 р.)	2763	2718	98,4	811	29,4	2	480
Іспанія	21530	21530	100	2780	12,9	12	3000
Італія	29583	26948	91,1	5634	19,0	39	6110
Кіпр	547	505	92,3	2	0,4	–	–
Латвія	851	737	86,6	21	2,5	–	–
Литва	1286	1275	99,1	236	18,4	1	250
Люксембург	362	362	100	161	44,5	1	170
Мальта	283	261	92,2	–	0	–	–
Нідерланди	8787	8787	100	3901	44,4	12	7600
Німеччина	52342	52342	100	16185	30,9	96	26800
Польща	11969	11969	100,0	2922	24,4	5	40
Португалія	5012	4778	95,3	974	19,4	4	1200
Румунія	5325	5306	99,6	227	4,3	–	–
Словаччина	2058	2057	99,95	197	9,6	2	230
Словенія	974	773	79,4	111	11,4	1	37
Угорщина	3768	3752	99,6	608	16,1	1	350
Фінляндія	2812	2812	100	1646	58,5	9	1610
Франція	34393	34393	100	12220	35,5	126	14400
Хорватія	1716	1649	96,1	1	0,1	–	–
Чехія	3643	3643	100	634	17,4	4	700
Швеція	4551	4551	100	2400	52,7	34	6100
Країни-кандидати та потенційні кандидати до вступу в ЄС							
Албанія	1254	1254	100	43	3,4	–	–
Боснія і Герцеговина	409	951	77,0	–	0	–	–
Ісландія	225	225	100	8	3,5	–	–
Північна Македонія	714	714	100	–	0	–	–
Сербія	2150	1806	84,0	–	0	–	–
Туреччина	34173	31968	93,5	–	0	–	–
Країни, які не є членами ЄС							
Норвегія	3 949	3949	100	2088	52,9	18	1630
Україна	11271	653,8	5,8	247	2,2	1	247
Швейцарія	5992	5992	100	2846	47,5	30	4010

*від загального обсягу

Таблиця 3. Інформація щодо виробництва та використання RDF/SRF в Європі у 2005 р.

Країна	Кількість заводів для виробництва RDF/SRF	Виробництво RDF/SRF, тис. т / рік	Спільне спалювання		Експорт, тис. т / рік
			у цементних печах, тис. т/рік	на ТЕС, тис. т/рік	
Австрія	13	680	150	–	80–100
Бельгія	5	100	100	–	–
Велика Британія, 2005 р.	4	100	100	–	–
2008 р.	13	765	н/д	–	–
Греція	9	200	200		
Данія	1	12	–	–	–
Італія	49	1000	180	50	
Нідерланди	8	300–400		–	300–400
Німеччина, 2005 р.	>	1800	1314	300	50–100
2006 р.		2400	1500	600*	50–100
Фінляндія	21	300	–	–	–
Всього	>	>	>	350	480–700

*на ТЕС Weisweiler, 2x300=600 МВт

технологія термічної переробки відходів характеризується своїм діапазоном встановленої потужності. В табл. 4 наведені типові діапазони середньої потужності спалювання ТПВ за різними технологіями [7].

Таблиця 4. Типові діапазони потужності установок-інсінераторів для різних технологій спалювання

Технологія	Типовий діапазон використання, т/доба
Рухома решітка	120–720
Киплячий шар	36–200
Обертова піч	10–350
Піроліз	10–100
Газифікація	250–500

Заводи WtoE характеризуються високою капіталоємністю. Так, середні капітальні та щорічні експлуатаційні затрати на 1кВт встановленої потужності заводів WtoE складають 7–11 тис. дол. США та 400 дол. США, відповідно [16]. Затрати на будівництво заводів WtoE на порядок вище за будівництво ТЕС на вугіллі.

Поводження з твердими побутовими відходами в Україні. Перспективи енергетичного використання. Обсяги утворення ТПВ в Україні за останні роки сягають 10–12 млн т (50–60 млн м³) (табл. 5, дані Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України та Державної служби статистики України). Якщо у 2000 р. в Україні в середньому утворювалося 180 кг ТПВ на особу, то у 2017–2018 рр. цей показник перевищує 250 кг, це при тому, що тільки 77–78% населення України охоплено послугами з вивезення побутових відходів. Крім того, у 2017 р. було утворено 11,8 тис. т ТПВ 1–3 класів небезпечності, тільки 1,9 тис. т з них було видалено на спеціально облаштовані полігони.

У 2018 р. в Україні перероблено і утилізовано всього 5,8% ТПВ, з них 1,9% спалено, а 3,9% потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи. Працювало 26 ліній сортування ТПВ, 1 сміттєспалювальний завод та 3 сміттєспалювальні установки (м. Харків і Харківська область). У 2017 р. роздільне збирання ТПВ було впроваджено

Таблиця 5. Поводження з твердими побутовими відходами в Україні в 2014–2018 рр.

Рік	Обсяги збирання		Пункти вторинної сировини	Сміттєпереробні підприємства	Ділянки компостування	Сміттєспалювальні заводи		Полігони	
	тис. т	кг/ос.				тис. т	%	тис. т	%
2014	10748,0	250,0	142,3	73,0	0	149,5	1,4	10383,2	96,6
2015	11491,8	268,5	132,5	128,3	2,8	254,3	2,2	10973,9	96,6
2016	11562,6	271,0	126,6	143,8	1,6	256,7	2,2	11033,9	95,4
2017	11271,2	265,3	146,2	259,9	0,97	246,7	2,2	10615,1	94,2
2018	10679,3	253,7	146,5	260,1	1,6	208,1	1,9	10063,0	94,2

у 822 населених пунктах, а у 2018 – у 1181. Для довідки, в Україні є 460 міст, 500 районів, 29243 с.м.т. та сіл. Із усього обсягу зібраних ТПВ 94% становлять змішані відходи. Таке поводження з ТПВ призводить до втрати Україною щороку мільйонів т цінних матеріалів, які містяться у відходах. Роздільне збирання та перероблення відходів є невід’ємною частиною підвищення ефективності використання природних ресурсів, в тому числі вугілля та газу.

Майже 95% зібраних і не оброблених ТПВ (10–11 млн т) в Україні вивозять та складають на полігонах. Як було зазначено вище, положеннями Директив № 2008/98/ЄС [2] та № 1999/31/ЄС [3], Законом України «Про відходи» [9] забороняється захоронення необроблених побутових відходів. Станом на кінець 2018 р. в Україні налічувалося 6107 полігонів, з них 256 вже були перевантажені, а 984 не відповідали умовам безпеки. Загальна площа полігонів та звалищ складала 9172,4 га, площа полігонів, що не відповідає умовам безпеки – 1753,1 га. За даними Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. більше 99% функціонуючих полігонів не відповідають європейським вимогам – Директиві № 1999/31/ЄС про захоронення відходів [3]. Відтак, «формально безпечних полігонів» в Україні близько 64,2%. Крім того, щороку утворюється понад 30 тис. несанкціонованих сміттєзвалищ. За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, у 2017 р. утворилося 30184 таких сміттєзвалищ загальною площею 896,1 га. Орієнтовні обсяги вивезення ТПВ на несанкціоновані сміттєзвалища у 2017 р. досягли 19,1 млн м³ (3626,4 тис. т). Тобто загальний обсяг ТПВ, що видалається в Україні на полігони та сміттєзвалища, досягає 13–14 млн т. Нагадуємо для порівняння – в 2017 р. на полігони Європи було видалено 103 млн т ТПВ, з них 57,6 млн т видалено на полігони 28 країнами ЄС.

В Україні працює тільки один сміттєспалювальний завод «Енергія» в м. Київ (4 котли виробництва чеської фірми «ЧКД-Дукла»), його максимальна потужність 300 тис. т ТПВ. У 2018 р. на ньому було спалено 208 тис. т ТПВ (менше 2% ТПВ). ТПВ спалюють при температурі 900–1000 °С протягом 2 с. Завод може виробляти 227 тис. Гкал теплової та до 50,7 млн кВт·год електричної енергії в рік.

Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 р. рівень переробки ТПВ планується збільшити до 15% вже у 2023 р. і до 50% у 2030 р., в тому числі рівень термічної переробки ТПВ збільшити до 7% (2 млн т ТПВ) у 2023 р. і до 10% (3 млн т ТПВ) у 2030 р.

Цих показників планується досягти будівництвом 19 заводів термічної утилізації ТПВ до 2030 р. Тобто сьогодні в Україні актуальною є задача вибору технології для будівництва заводів термічної переробки побутових відходів. Враховуючи високу вартість і будівництва, і експлуатації заводів WtoE перспективи енергетичної утилізації ТПВ в Україні можливі тільки тоді, коли захоронення відходів буде дорожче за переробку. Треба зазначити, що на сьогодні в Україні захоронення ТПВ залишається найдешевшим з усіх видів поводження з ТПВ. Ставка податку на захоронення ТПВ в Україні складає 4,5 грн/т або 0,15 Євро/т, тоді як в Нідерландах – 107, Бельгії – 82, Фінляндії – 70, Данії – 65, Великій Британії – 64, Швеції – 49, Польщі – 27, Австрії – 26, Франції – 20 Євро/т (дані Агенції з Держенергоефективності).

Склад ТПВ є одним з найбільш важливих факторів, що впливають на вибір технологій їх термічної переробки. Отже, ТПВ складаються з: харчових відходів, відходів, що утворюються в садах, дворах і парках, паперу і картону, деревини, текстилю, гуми та шкіри, пластмаси, металу, скла, глини і фарфору, великогабаритних відходів – предметів, які вийшли з ужитку: побутової техніки, меблів, інших видів відходів, наприклад, жужелю, бруду, пилу, ґрунту, електронних відходів. Усереднений морфологічний склад ТПВ по Україні згідно з Національною стратегією поводження з відходами такий: органічні відходи – 30%, целюлозомісткі матеріали (папір, картон, газети, обгортка та ін.) – 17%; метали – 3%; полімери – 11%; скло, кераміка – 6%; небезпечні відходи – 1%, інше – 32%. Частка відходів з органічною складовою складає 70–78%. Морфологічний склад ТПВ суттєво змінюється протягом року, влітку та восени збільшується частка органічних відходів, взимку – неорганічної речовини.

У 2018 р. у м. Києві було зібрано 1,35 млн т ТПВ, з яких на сміттєспалювальний завод «Енергія» було відправлено 205,4 тис. т, на сміттєпереробні підприємства – 47,1 тис. т, на заготівельні пункти вторинної сировини – 54,3 тис. т, на полігони та звалища майже 78% – 1,04 млн т. Для Києва за даними Державного підприємства Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства для 2011 р. середній морфологічний склад ТПВ наступний (<https://golos.kyivcity.gov.ua/files/2014/6/19/tom-2.pdf>): картон та папір – 13,24%, харчові та садові відходи – 39,26%, пластмаса, ПЕТФ пляшки, полімерна плівка, ТетраПак упаковка – 10,23%, чорні та кольорові метали – 1,11%, деревина – 1,35%, текстиль та шкіра – 2,79%, скло – 13,01%, небезпечні

Таблиця 6. Вимоги Директиви № 2010/75/ЄС про промислові викиди

Речовина мг/м ³	Сумарний пил	COB*	HCl	HF	SO ₂	NO _x	CO	Cd+Pb	Hg	Важкі метали**	Діоксини та фурани
Інсіерація	10	10	10	1	50	200	50	0,05	0,05	0,5	0,1
Спалювальні установки на вугіллі	10–30	–	–	–	150–400	150–400	–	–	–	–	–

* Газоподібні та пароподібні органічні речовини, виражені як сумарний органічний вуглець (COB).

** Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V.

відходи – 0,0067%, несортований горючий залишок – 14,68%, несортований негорючий мінеральний – 4,31%. При цьому середній елементний склад київських ТПВ: C^r = 18,54%, H^r = 2,62%, O^r = 16,06%, N^r = 0,50%, S^r = 0,13%, A^r = 23,12%, W^r = 39,04%. Значення теплоти згоряння, отримане з розрахунку за формулою Менделєєва – 8,2 МДж/кг. Треба зазначити, що теплота згоряння ТПВ, утворених в м. Києві є високою, її значення наближається до значення теплоти згоряння ТПВ, утворених в європейських містах. При відборі вторинної сировини та відділенні від відходів мінеральних негорючих та органічних компонентів, здатних до біологічного розкладання, вологість відходів зменшується до 25%, а теплота згоряння збільшується до 9,5–10,0 МДж/кг. Такі фракції відходів придатні і для інсіерації, і для виготовлення з них RDF/SRF. При виборі технологій термічної переробки ТПВ та проектуванні нових сміттєспалювальних заводів треба враховувати, що теплота згоряння необроблених ТПВ, утворених в країнах ЄС, становить 6–16 МДж/кг [7], а в Україні – 4,5–8,2 МДж/кг.

Граничні викиди забруднюючих речовин у димових газах сміттєспалювальних заводів мають відповідати вимогам Директиви № 2010/75/ЄС про промислові викиди (табл. 6) [6].

Треба зазначити, що вимоги до викидів при інсіерації більш жорсткі порівняно в вимогами до ТЕС на вугіллі. Вимоги Директиви № 2010/75/ЄС є визначальними для вибору технологій спалювання ТПВ та обробки димових газів при проектуванні нових сміттєспалювальних заводів.

ВИСНОВКИ

Проблема оптимального поводження з відходами є актуальною в усьому світі. Зобов'язання України в сфері управління відходами вимагають внесення змін у національне законодавство та докорінного змінення поводження з відходами, в тому числі з ТПВ. Сьогодні в Україні переробляють 5% ТПВ, в тому числі піддають термічній переробці близько 2%, решту необроблених ТПВ видаляють на полігони та сміттєзвалища. Але за Національною

стратегію управління відходами в Україні до 2030 р. рівень переробки ТПВ має бути збільшеним до 50%, в тому числі рівень термічної переробки ТПВ – до 10% (3 млн т ТПВ). Цих показників планується досягти будівництвом 19 заводів термічної утилізації ТПВ.

Основна тенденція в управлінні ТПВ в країнах ЄС полягає у їх комплексній переробці – окремому збиранні, сортуванні, механіко-біологічній обробці, компостуванні/анаеробному зброджуванні фракцій ТПВ, що біологічно розкладаються, та виробництві RDF/SRF з фракцій ТПВ, що залишилися. Перевагою цього підходу є перетворення відходів на товарну продукцію, яка може накопичуватись, складуватись, транспортуватись, якісні характеристики якої можуть варіюватись. Виробництво та використання в енергетиці RDF/SRF здатне частково замінити дефіцитні в Україні органічні палива при виробництві електроенергії та теплоти з дотриманням вимог ЄС до питань управління відходами.

1. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Міжнародний документ від 27.06.2014; Угоду ратифіковано із заявою Законом України № 1678-VII від 16.09.2014. URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/984_011 (дата звернення: 17.05.2019).
2. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. *Official Journal of the European Union*. 22.11.2008. L 312. P. 3–30. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj> (дата звернення: 20.05.2019).
3. Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste // *Official Journal of the European Union*. – 16.07.1999. L 182. P. 1–19. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/1999/31/oj> (дата звернення: 20.05.2019).
4. Directive 2006/21/EC of the European Parliament And of the Council Of 15 March 2006 on the management of waste from extractive industries and amending Directive 2004/35/EC. *Official Journal of the European Union*. 11.4.2006. L 102. P. 1–15. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2006/21/oj> (дата звернення: 20.05.2019).
5. Commission Decision of 18 December 2014 amending Decision 2000/532/EC on the list of waste pursuant

- to Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council Text with EEA relevance. *Official Journal of the European Union*. 30.12.2014. L 370/44. URL: <http://data.europa.eu/eli/dec/2014/955/oj> (дата звернення: 24.05.2019).
6. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). *Official Journal of the European Communities*. 2010. L 334. P. 17—119. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj> (дата звернення: 24.05.2019).
 7. EU, “Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration,” European Commission, Brussel. 2006. 602 p. URL: http://cippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wt_bref_0806.pdf (дата звернення: 27.05.2019).
 8. Третяк Т.О. Вимога використовувати найкращі з доступних технологій та методів керування як умова видачі дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами // *Часопис Академії адвокатури України*. 2013. № 18 (1). С. 1—7. URL: <http://e-pub.aau.edu.ua/index.php/chasopys/article/viewFile/183/205> (дата звернення: 16.05.2019).
 9. Про Відходи: Закон України № 5121/1998. *Офіційний вісник України*. 1998. № 13. С. 23. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 13.05.2019).
 10. Persson M., Jonsson O., Wellinger A. Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection. *IEA Bioenergy*. Task 37. Energy from biogas and landfill gas. December 2006.
 11. Гелетуха Г.Г., Марценюк З.А. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине. *Экотехнологии и ресурс-сбережение*. 1999. № 4. С. 6—14.
 12. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5: Waste. Chapter 2: Waste generation, composition and management data. IPCC. 2006. 23 p. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>.
 13. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5: Waste. Chapter 5: Incineration and open burning of waste. IPCC. 2006. 26 p. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html> (дата звернення: 14.05.2019).
 14. Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Ukraine’s Greenhouse Gas Inventory 1990—2017 (draft). K.: Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. 2019. 504 p.
 15. European Commission – Directorate General Environment Refuse Derived Fuel, Current Practice And Perspectives (B4-3040/2000/306517/Mar/E3). Final Report: Wrc Ref: Co5087-4. July 2003. 219 p. URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf> (дата звернення: 15.05.2019).
 16. Mutz D., Hengevoss D., Hugi C., Gross T. Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management. A Guide for Decision Makers in Developing and Emerging Countries // Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Eschborn, May 2017. 58 p. URL: https://www.giz.de/en/downloads/GIZ_WasteToEnergy_Guidelines_2017.pdf (дата звернення: 28.05.2019).
 17. Refuse derived fuel, current practice and perspectives (B4-3040/2000/306517/MAR/E3). WRC, 2003. URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf> (дата звернення: 15.05.2019).
 18. Themelis N., Barriga M., Estevez P., Velasco M. Guidebook for the Application of Waste to Energy Technologies in Latin America and the Caribbean. WTE Guidebook, EEC/IDB, July 2013. Earth Engineering Center, Columbia University. 2013. 228 p. URL: http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/pressreleases/Guidebook_WTE_v5_July25_2013.pdf (дата звернення: 16.05.2019).
 19. Вольчин І.А., Дунаєвська Н.І., Гапонич Л.С., Чернявський М.В., Топал О.І., Засядько Я.І. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику країн. К.: ГНОЗІС, 2013. 310 с.
 20. Kaza Silpa, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, and Frank Van Woerden. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO. URL: <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-1-4648-1329-0> (дата звернення: 13.05.2019).
 21. Grammelis, P. (2011). Report on RDF/SRF utilization applications and technical specifications. LIFE09 ENV/GR/000307. URL: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=ENERGY_WASTE_D1_2_Report.pdf (дата звернення: 17.05.2019).

Надійшла до редколегії 19.06.2019