



ПЕРСПЕКТИВИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ

Аналітична записка БАУ № 22

Матвєєв Ю.Б., Гелету́ха Г.Г.

Квітень 2019 р.

Публікація на www.uabio.org: 22.04.2019

Публікація доступна на: www.uabio.org/activity/uabio-analytics

Для відгуків та коментарів: matveev@uabio.org

ПОДЯКА

Автори висловлюють щиру подяку за детальне ознайомлення, цінні зауваження і коментарі

Тетяні Омеляненко

Людмилі Полтораченко

Сергію Сокол-Черниловському

Сергію Шмарину

ЗМІСТ

Резюме	4
Вступ.....	4
Ситуація з переробкою твердих побутових відходів (ТПВ) у світі.....	5
Ситуація з поводженням з ТПВ в Україні.....	8
Стан законодавства у сфері поводження з ТПВ в Україні	8
Національна стратегія управління відходами до 2030 року	8
Рамковий закон України «Про управління відходами»	10
Концепція законодавчих змін, яка розробляється ДАЕЕ.....	12
Тариф на поводження з ТПВ.....	12
Види енергетичної утилізації	15
Збирання біогазу на полігонах і звалищах ТПВ.....	15
Ситуація зі збором біогазу на полігонах і звалищах ТПВ в Україні.....	17
Механіко-біологічне оброблення ТПВ (МБО)	19
Ситуація з механіко-біологічним обробленням ТПВ в Україні	23
Термічне оброблення ТПВ	24
Ситуація з термічним обробленням ТПВ в Україні.....	28
Морфологія відходів, вплив на вибір типу/технологій оброблення.....	29
Фінансові показники різних варіантів оброблення ТПВ.....	34
Потенційний дохід на тонну ТПВ	34
Роздільне збирання та сортування	34
Виробництво та утилізація біогазу (МБО)	34
Термічне оброблення ТПВ.....	35
Капітальні та експлуатаційні витрати	36
Збирання біогазу на полігонах і звалищах ТПВ	36
Механіко-біологічне оброблення ТПВ	36
Термічне оброблення ТПВ.....	39
Критерії вибору технологій оброблення ТПВ	42
Висновки та рекомендації.....	45
Умовні позначення	47
Попередні публікації БАУ	47

Резюме

Аналітична записка № 22 Біоенергетичної асоціації України присвячена аналізу перспектив енергетичної утилізації твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні в зв'язку з прийняттям Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. Представлена ситуація з переробкою ТПВ в Україні та світі в цілому, розглянуті техніко-економічні показники основних видів енергетичної утилізації ТПВ. Описано критерії і пріоритети вибору технологій переробки ТПВ, приведені рекомендації по усуненню бар'єрів для їх розвитку.

Вступ

Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року передбачає перехід від видалення відходів на звалища та полігони до системи комплексного поводження з ТПВ. До спеціальних заходів Стратегії у сфері побутових відходів належить зростання рівня їх перероблення – введення в експлуатацію сміттєпереробних заводів, створення в рамках пілотних проектів об'єктів з виробництва палива з побутових відходів на базі об'єктів механіко-біологічного оброблення, запровадження низки пілотних проектів з біологічної стабілізації змішаних побутових відходів.

Вибір технології переробки відходів повинен бути частиною розробки регіональних планів поводження з ТПВ. Одним із перших пріоритетів планів є будівництво регіональних полігонів для захоронення ТПВ, що створені з використанням принципів міжрегіонального співробітництва. Підприємства з переробки відходів в більшості випадків будуть територіально прив'язані до регіональних полігонів. Вибір конкретної технології переробки залежить від багатьох факторів, наразі одним з визначальних чинників в Україні є собівартість переробки ТПВ.

Вибір на користь енергетичної утилізації зазвичай визначається такими міркуваннями:

1. Можливістю збільшення глибини переробки відходів, особливо в разі термічних методів оброблення для того, щоб мінімізувати захоронення та потребу в нових полігонах;
2. Можливістю отримання додаткового джерела енергії, що заміщує викопні види палива, такі як природний газ чи вугілля;
3. Можливістю отримання додаткового доходу¹ за рахунок продажу електроенергії і тепла, а в деяких випадках і замітника твердого палива.

Тобто, енергетичне використання ТПВ є способом отримання доходу з ТПВ після того, як виконано можливі заходи на верхніх рівнях ієрархії поводження з відходами. Доцільність енергетичної утилізації може визначатись зменшенням кількості відходів, що відправляються на захоронення, та збільшенням терміну експлуатації нових регіональних полігонів. Досвід розвинених країн показує, що роздільне збирання, повторне використання та рециклінг розвиваються одночасно з енергетичним використанням ТПВ, конкуруючи певною мірою за сировину, але не суперечачи одна одній.

Виконання цілей стратегії до 2030 року є викликом для України. Серед основних завдань стратегії можна виділити:

¹ Необхідно відзначити, що отримання додаткового доходу за рахунок продажу електроенергії та тепла не означає автоматичного досягнення привабливих для інвестора економічних параметрів проекту

- закриття існуючих полігонів та звалищ – пошук місць для нових полігонів і заводів з переробки відходів, закриття старих місць для захоронення;
- підготовку можливих та придатних для інвестування проектів;
- гармонізацію спільних зусиль державного та приватного інвестиційних секторів;
- роботу з громадськістю щодо необхідності підвищення тарифів на поводження з побутовими відходами.

Ситуація з переробкою твердих побутових відходів (ТПВ) у світі

Головним нормативно-правовим документом ЄС у сфері поводження з відходами, яким визначено правові рамки та основні принципи поводження з ними, є Директива 2008/98/ЄС «Про відходи», що вводить єдині визначення термінів і понять «відходи», «утилізація» та ін. Під поняттям «відходи» розуміється «субстанція або предмет, від яких власник позбувається, хоче позбутися або повинен позбутися відповідно до чинного законодавства». Зазначеною Директивою визначено 16 категорій відходів, на основі яких запроваджено єдиний Європейський перелік відходів (рішення 2000/532/ЄС), що періодично переглядається і оновлюється.

Сучасна ієрархія управління відходами показана на рис. 1. Найвищий пріоритет належить попередженню або мінімізації утворення відходів. Далі за зменшенням пріоритету йдуть повторне використання та рециклінг відходів. У процесі рециклінгу відходи переробляються в продукцію, матеріали або речовини (включно з переробленням органічного матеріалу). Далі йдуть методи оброблення ТПВ, які супроводжуються виробництвом енергії. Останнім в ієрархії є видалення – спалення без виробництва енергії та захоронення на полігонах. Отже, захоронення є необхідною, але останньою ланкою цього ланцюжка.



Рис. 01 – Ієрархія принципів інтегрованої системи управління відходами (Джерело: Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року)

Відзначимо, що захоронення ТПВ на полігонах також може супроводжуватися виробництвом енергії завдяки будівництву систем збору та енергетичного використання

біогазу, що утворюється в процесі довільного або організованого розпаду біогенних відходів.

Важливо відзначити, що роздільне збирання, повторне використання, рециклінг та енергетичне використання ТПВ конкурують між собою за сировину, але не виключають одне одного. Ця теза може бути підтверджена за допомогою рисунка 2, на якому показана ситуація з переробкою відходів у країнах-членах Організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР)².

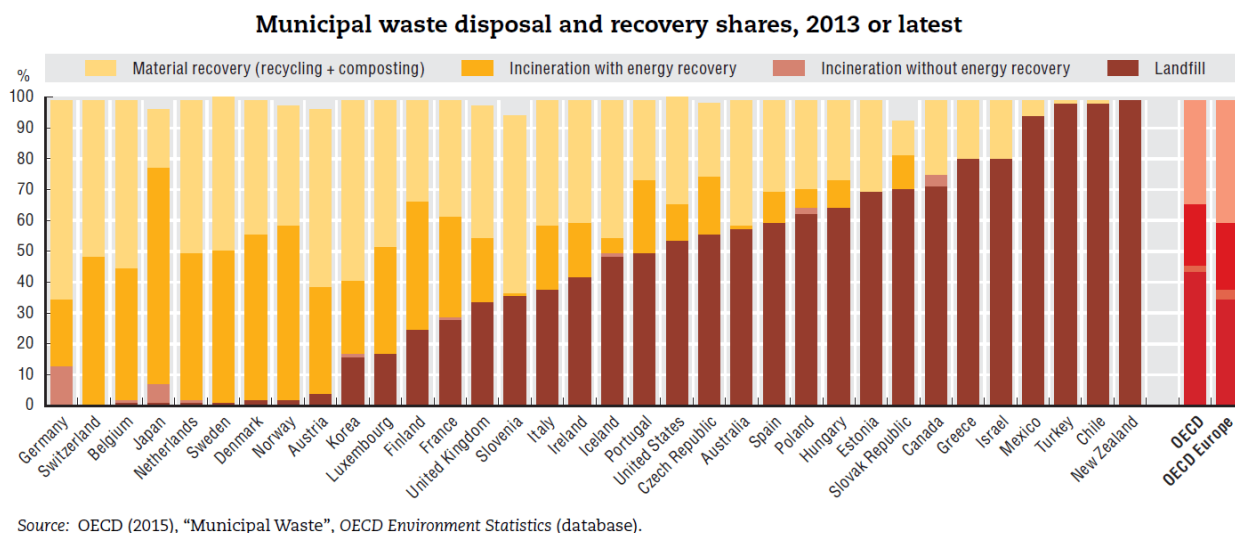


Рис. 02 – Особливості поводження з ТПВ в країнах ОЕСР
(Джерело: ОЕСР 2015)

Легко побачити, що країни, які за останні десятиліття істотно знизили частку захоронення ТПВ, досягли цього результату за допомогою поєднання повторного використання матеріалів з рециклінгом включно з отриманням компосту, з термічним обробленням – спалюванням, яке в більшості випадків передбачає використання енергії. Це принаймні такі розвинені європейські країни, як Німеччина, Бельгія, Австрія, Нідерланди. Тобто, країни, які практично відмовилися від захоронення відходів, використовують всі можливі методи переробки відходів, як матеріальні, так і енергетичні, не віддаючи переваги жодному з них.

Однак ситуація в різних розвинених країнах і регіонах різниться. Кількісні показники різних видів переробки ТПВ у світі зібрані в таблиці 1 окремо для Америки, Європи та країн тихоокеанського регіону.

Видно, що найбільшу кількість відходів генерують жителі Америки, переважно, США, причому більша частина відходів тут як і раніше вивозиться на полігони (60%). Рециклінг і компостування відходів найбільш розвинене в країнах Європи (38%). Термічне оброблення відходів використовується в країнах Азії і Тихоокеанського регіону (48%), а також в Європі, до того ж більше ніж 90% відходів, що спалюються, використовуються для отримання енергії.

² Організація економічного співробітництва і розвитку – міжнародна економічна організація розвинених країн, що визнають принципи представницької демократії та вільної ринкової економіки ([Вікіпедія](#))

Таблиця 1 – Кількість та методи поводження з ТПВ у країнах ОЕСР³

	Північна та південна Америка	Європа, Туреччина та Ізраїль	Японія, Півд. Корея, тихоокеанські країни	Всього ОЕСД
Кількість відходів, млн т	291,5	263,9	85,3	640,7
Кількість відходів, кг/(люд·рік)	607	469	421	514
Рециклінг	24%	25%	31%	25%
Компостування	8%	13%	0,3%	9%
Спалювання (без використання енергії)	0,1%	3%	4%	2%
Спалювання (с використанням енергії)	9%	20%	48%	18%
Захоронення	60%	38%	17%	45%

На рисунку 3 показана європейська мапа термічного оброблення ТПВ станом на 2016 рік за даними Європейської конфедерації сміттєспалювальних заводів (CEWEP). Всього на мапі представлені дані щодо 522 сміттєспалювальних заводів, які спалюють близько 93,7 млн т ТПВ на рік.

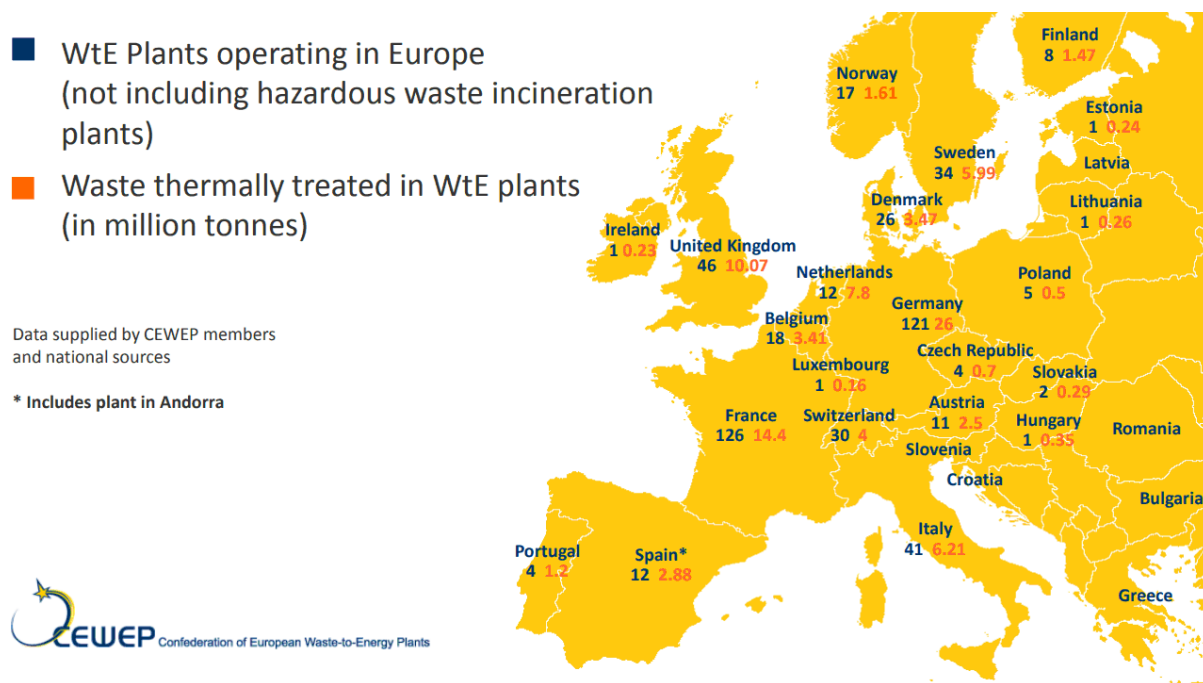


Рис. 03 – Термічне оброблення ТПВ у Європі (2016)
(Джерело: www.cewep.eu)

³ The Climate Change Mitigation Potential of Waste Management – Dessau –Roßlau, July 2015.

Ситуація з поводженням з ТПВ в Україні

Завдяки впровадженню в 1181 населених пунктах роздільного збирання побутових відходів, роботі 26 сміттесортувальних ліній, 1 сміттеспалювального заводу (ССЗ) і 3 сміттеспалювальних установок в Україні в 2018 році перероблено та утилізовано близько 6,2 % побутових відходів, з них: 2% спалено, а 4,2 % побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи (СПЗ)⁴. Решту (близько 93%) було видалено на полігони та сміттєзвалища, яких станом на 2017 рік в Україні налічувалось 6 тис. одиниць загальною площею понад 9 тис. га.

Отже, щорічно в Україні утворюється 9...12 млн тонн ТПВ. Близько 93% потрапляє на звалища і полігони. Наразі в країні працює єдиний сміттеспалювальний завод і кілька десятків сортувальних ліній, ефективність відбору вторинних матеріалів на яких не перевищує 15...20% по масі. На 20 полігонах збирається біогаз для подальшого виробництва електроенергії.

Єдина спроба запуску сміттєпереробного заводу з анонсованим виробництвом RDF⁵ в 2013 році виявилася невдалою в основному через недоліки технологічних рішень та відсутність тарифу на переробку ТПВ. Плани будівництва різних ССЗ/СПЗ періодично анонсувалися протягом останніх двадцяти років. Наразі існують реальні плани на використання технології МБО у Львові та Хмельницькому.

Стан законодавства у сфері поводження з ТПВ в Україні

Наразі державну політику у сфері поводження з відходами реалізує Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Нормативно-правове регулювання з питань щодо здійснення операцій у сфері поводження з відходами забезпечує Міністерство екології та природних ресурсів України

Національна стратегія управління відходами до 2030 року

Нова стратегія управління відходами до 2030 року була прийнята Кабінетом міністрів України в 2017 році. Проект Національного плану поводження з відходами подано на до Кабінету Міністрів України та затверджено в лютому 2019 року. Наразі розробляється проект рамочного Закону про відходи для впровадження вимог Рамкової Директиви ЄС 2008/98/ЄС щодо відходів.

Згідно з вимогами Національного плану, регіональні плани поводження з відходами мають бути розроблені не пізніше, ніж через два роки після його затвердження. Ці плани є основою для подальшого фінансування інфраструктурних проектів щодо управління відходами з фондів державного та місцевих бюджетів.

Стратегія управління відходами до 2030 року передбачає перехід від видалення відходів на звалища та полігони до системи комплексного поводження з ТПВ. В той же час стратегія передбачає будівництво мережі нових санітарних регіональних полігонів для захоронення ТПВ. Через відносно високі капітальні й експлуатаційні витрати полігонів, що відповідають

⁴ Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2018 рік

<http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik/>

⁵ RDF – Refuse Derived Fuel

вимогам законодавства ЄС, такі об'єкти повинні мати мінімальну потужність близько 50 тис. тонн на рік (оптимальна потужність – 100 тис. т/рік і більше) і покривати агломерацію не менше 150 000 осіб. Оптимальна зона охоплення (кластер) має охоплювати територію, на якій проживає принаймні 400 тис. осіб.

ЩО МИ РОБИМО?



Рис. 04 – Розробка законодавства у сфері поводження з побутовими відходами
(Джерело: ProМусор для експертів (FB))

До спеціальних заходів Стратегії у сфері побутових відходів належить зростання рівня перероблення побутових відходів, враховуючи:

- досягнення у 2030 році показника перероблення 50% побутових відходів від загального обсягу їх утворення шляхом збільшення охоплення населення України роздільним збиранням побутових відходів до 48% від загальної чисельності населення у 2030 році та введення в експлуатацію додаткових сміттесортувальних ліній та сміттепереробних заводів.
- Створення в рамках пілотних проектів об'єктів з виробництва палива з побутових відходів (RDF/SRF⁶) на базі об'єктів механіко-біологічного оброблення за умови їхнього наближеного розташування до цементних заводів.
- Запровадження в Україні низки пілотних проектів з біологічної стабілізації змішаних побутових відходів.

В якості довгострокової перспективи (2026–2030) у стратегії містяться такі цільові значення:

- відсоток побутових відходів, що направляються на повторне використання – 10%;
- відсоток побутових відходів, що направляються на перероблення – 20%;
- відсоток побутових відходів, що направляються на термічну утилізацію – 10%;
- відсоток побутових відходів, що захоронюються – 30%.

⁶ SRF – Solid Recovered Fuel

Рамковий закон України «Про управління відходами»

Згідно з проектом закону України «Про управління відходами»⁷ до муніципальних відходів належать побутові відходи, тобто відходи від домогосподарств, включно з папером, картоном, склом, металами, пластиком, біовідходами, деревиною, текстилем, упаковкою, відходами електричного та електронного обладнання, відпрацьованими батарейками, батареями та акумуляторами, великогабаритними відходами, а також відходами з інших джерел, якщо ці відходи подібні за своїм складом до відходів з домогосподарств.

Крім того, до муніципальних відходів належать відходи інфраструктури населеного пункту – відходи об'єктів благоустрою населених пунктів (включно з відходами від зелених насаджень) та вуличний зміт.

Згідно з проектом закону органи державної влади, місцевого самоврядування, підприємства, установи та організації зобов'язані дотримуватись сучасної ієрархії управління відходами в такій послідовності:

- 1) запобігання утворенню відходів;
- 2) підготовка до повторного використання;
- 3) рециклінг;
- 4) інші операції з відновлення (у т. ч. відновлення з виробленням енергії)/ або утилізація;
- 5) видалення.

При застосуванні ієрархії управління відходами повинні враховуватися принципи державної політики у сфері управління відходами, екологічна та економічна доцільність, технічна спроможність та використовуватися найкращі доступні технології.

Запобігання утворенню відходів – найвища ступінь ієрархії, яка спрямована на оптимізацію процесів проектування, починаючи з видобутку ресурсів, виробництва товарів (еко-дизайн) та утворення відходів.

Другий пріоритет – підготовка до повторного використання – фактично вимагає створення цілої галузі для перевірки, очистки, оброблення відходів чи предметів, що ще не стали відходами, з подальшим поверненням зазначених товарів до сфери споживання.

Згідно з проектом закону *відновлення* відходів – будь-яка операція, в результаті якої матеріали, отримані з відходів, можуть використовуватися як вторинна сировина, яка здатна замінити первинну сировину, необхідну для виробництва нової продукції, або відходи, підготовлені для заміни первинної сировини. *Рециклінг* – операція з відновлення, коли відходи переробляються в продукцію, матеріали або речовини, яка включає перероблення органічного матеріалу, але не включає відновлення енергії чи перероблення в матеріали, що будуть використовуватися як паливо.

В цілому, система управління відходами, зокрема муніципальними, відповідно до проекту закону України «Про управління відходами» повинна виглядати так, як показано на рис. 5, включаючи різні методи енергетичної утилізації, які показано в останньому рядку діаграми.

⁷ <https://menr.gov.ua/news/32869.html>

Видалення відходів в спеціально обладнані місця/об'єкти, що відповідають екологічним нормативам, повинно бути лише у випадку, якщо не можливо виконати попередні ступені ієрархії.

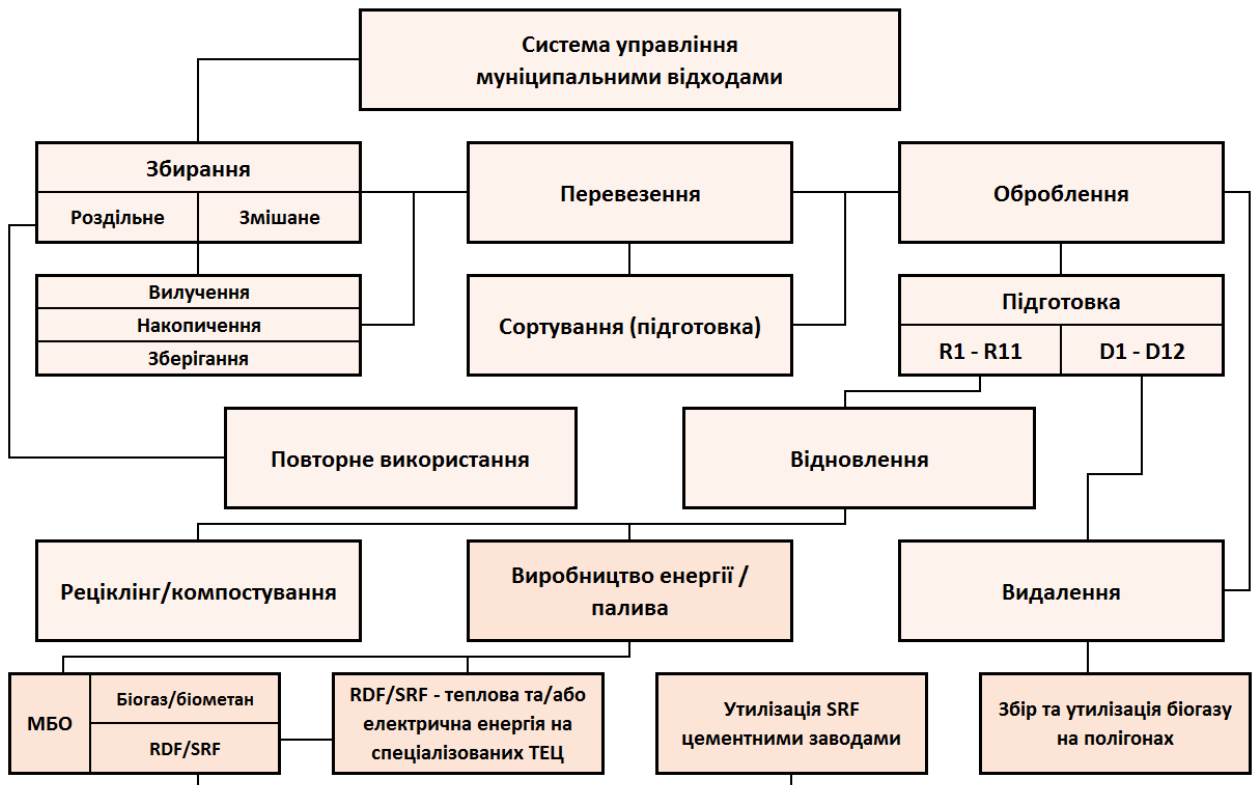


Рис. 05 – Система управління муніципальними відходами в Україні.

D1-D12 – операції видалення відходів (Додаток 1 до Закону України «Про управління відходами»), R1-R11 – операції відновлення відходів (Додаток 2 до Закону)

Варіантом відновлювання є використання відходів як палива чи іншим способом для виробництва енергії. Це включає також установки термічного оброблення муніципальних відходів, якщо їхня енергетична ефективність не менше:

- 0,60 для підприємств, експлуатацію яких розпочато до набуття чинності цього Закону;
- 0,65 для підприємств, експлуатацію яких розпочато після набуття чинності цього Закону.

Для визначення енергетичної ефективності (EE) треба використовувати формулу:

$$EE = \left[\frac{(E_p - (E_f + E_i))}{(0,97 \times (E_w + E_f))} \right] \times KKK,$$

де E_p – річний обсяг виробництва електричної та теплової енергії в ГДж/рік, що обчислюється за формулою:

$$E_p = 2,6 \times E_e + 1,1 \times E_t,$$

де E_e – річний обсяг виробництва електричної енергії,

E_t – річний обсяг виробництва теплової енергії,

E_f – річний обсяг енергії, використаної для виробництва пари (теплової енергії) (ГДж/рік);

E_i – річний обсяг додаткової енергії, що надходить до технологічного процесу, за виключенням E_w та E_f (ГДж/рік);

E_w – потенційний річний обсяг енергії, який можна отримати від оброблення відходів (ГДж/рік), на основі врахування у розрахунку їх мінімальної калорійності (теплотворної здатності));

0,97 – коефіцієнт, що враховує втрати енергії, спричинені утворенням шлаку та випромінюванням;

KKK – коригуючий коефіцієнт клімату.

Концепція законодавчих змін, яка розробляється ДАЕЕ

Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України (ДАЕЕ або Держенергоефективності) є центральним органом виконавчої влади, завданням якого є реалізація державної політики у сфері ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, енергозбереження, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива. Концепція законодавчих змін, яка розробляється ДАЕЕ стосовно енергетичного використання відходів, пропонує:

1. перетворення захоронення на економічно найменш вигідний варіант поводження з відходами (підвищення відповідальності за захоронення відходів у невстановлених місцях, посилення повноваження контролюючих та правоохоронних органів, поступове підвищення податку на захоронення відходів).
2. Створення системи необхідних гарантій та стимулів для залучення приватного капіталу у сферу переробки відходів (надання можливості органам місцевого самоврядування укладати довгострокові договори на переробку відходів (на строк до 49 років), гарантії постачання встановлених договором обсягів ТПВ та сплату встановленого тарифу на переробку)
3. Створення на законодавчому рівні чіткої системи екологічних вимог до підприємств сміттєпереробної галузі (обов'язкове сортування, європейські вимоги до викидів, європейські вимоги до спалювання та очистки газів).
4. Упровадження чітких правил тарифоутворення для послуг з перероблення відходів (вартість перероблення ТПВ встановлюється НКРЕКП на довгостроковий період із застосуванням принципів стимулюючого тарифоутворення, передбачається прозорий механізм індексації ціни, прив'язка до індексу споживчих цін, курсу валюти тощо).
5. Налагодження системи адміністрування поводження з відходами на муніципальному рівні, розширення повноваження місцевих органів самоврядування.

Тариф на поводження з ТПВ

Стан розвитку сектора поводження з ТПВ переважно визначається рівнем оплати послуг, що надаються комунальними та приватними компаніями. В 2018 році середній

затверджений тариф на поводження з ТПВ складає 102 грн/м³, а середній тариф на захоронення – 30,5 грн/м³ (приблизно 3 грн/міс. на 1 особу)⁸.

Такий тариф переважно покриває витрати на вивезення (збір і транспортування) відходів до місць захоронення, проте саме захоронення оплачується за залишковим принципом. Більш того, вартість будівництва майбутніх об'єктів поводження з ТПВ, як регіональних керованих полігонів, так і сміттєпереробних комплексів, істотно перевищує існуючий обсяг сплачених послуг в сфері поводження з ТПВ. Тому в Україні нарізла необхідність використання тарифів на переробку та захоронення, які б забезпечували експлуатацію на необхідному техніко-екологічному рівні та включали б певну складову для реалізації інвестиційних проектів.

Новий закон України «Про житлово-комунальні послуги» має вступити в дію з 01.05.19 р. Згідно з законом тарифи на послуги з поводження з побутовими відходами встановлюються органами місцевого самоврядування (ОМС) та є сумою тарифів на послуги з перевезення, перероблення та захоронення побутових відходів. Порядок формування тарифів на послуги з поводження з побутовими відходами затверджений постановою КМУ від 26 липня 2006 р. № 1010 із змінами у 2019 р⁹.

Зокрема, згідно цим змінам, «планований прибуток визначається як сума коштів, що додається до суми повної планованої собівартості, і спрямовується на здійснення заходів інвестиційної програми, погашення основної суми необхідних запозичень (кредитів/позик) та/або інвестування за рахунок власного капіталу в необоротні матеріальні та нематеріальні активи для провадження діяльності, забезпечення необхідного рівня прибутковості капіталу власників (нарахування дивідендів), відрахування до резервного капіталу, а також відшкодування витрат з податку на прибуток».

При цьому «планування складової частини зазначеного прибутку, що передбачається для здійснення заходів інвестиційної програми, провадиться відповідно до інвестиційної програми підприємства у сфері поводження з побутовими відходами, затвердженої згідно з його установчими документами і погодженої уповноваженими органами в установленому порядку».

З 01 травня 2019 року НКРЕКП позбавлена права встановлювати тарифи на перероблення¹⁰ та захоронення побутових відходів. ОМС будуть мати можливість регулювання тарифів на переробку ТПВ відповідно до майбутніх регіональними планами поводження з ТПВ та інвестиційними програмами в межах наявних фінансових ресурсів.

Однак, зміна комунальних тарифів може бути політично мотивована. Незважаючи на те, що зростання тарифів на поводження з ТПВ значно відстає від динаміки тарифів на тепло і електроенергію, існує небезпека, що ОМС вважатимуть за краще стримувати тарифи на шкоду реалізації інвестиційних проектів в рамках регіональних програм. У цих умовах,

⁸ «Санітарна очистка» за 2018 рік; звітність 1 –ТПВ розділ 1 за 2018 рік

⁹ Постанова КМУ №318 от 27.03.2019

¹⁰ Перероблення побутових відходів – сукупність технологічних операцій, які призводять до зміни фізичних, хімічних чи біологічних властивостей побутових відходів, у результаті яких знижується небезпечність таких відходів, їх кількість та отримується побічна продукція (Постанова НКРЕКП № 683 від 25.05.17 «Про затвердження Ліцензійних умов провадження господарської діяльності з перероблення побутових відходів»).

можливо, було б корисно зберегти систему, при якій вартість перероблення ТПВ встановлюється НКРЕКП на довгостроковий період часу.

Однією з можливостей обґрунтування підвищення тарифу на поводження з ТПВ є його прив'язка до середнього доходу/ресурсу середнього домашнього господарства України. У світовій практиці вважається, що середнє домогосподарство може виділяти від 1,0 до 1,5% своїх ресурсів на поводження з ТПВ. У таблиці 2 наведено оцінку тарифу, який відповідає 1%-ресурсу з використанням даних Державної статистичної служби України про сукупні ресурси та розмір домогосподарств України за 2010-2016.

Таблиця 2 – Оцінка тарифу на переробку ТПВ з прив'язкою до середнього доходу домашнього господарства в Україні

Параметр	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Сукупні ресурси за місяць у розрахунку на одне домогосподарство, грн.	3481	3854	4145	4471	4563	5232	6239	8165
Середній розмір домогосподарства, осіб	2,59	2,59	2,58	2,58	2,58	2,59	2,58	2,58
Сукупні ресурси в середньому за місяць у розрахунку на одну особу, грн.	1344	1488	1606	1733	1769	2020	2418	3165
Норма утворення ТПВ, т/особа	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Тариф (1,0%), грн/т ТПВ	461	510	551	594	606	693	829	1085
Середній річний курс Євро до гривні	10,5	11,1	10,3	10,6	15,7	24,2	28,3	30,0
Тариф (1,0%), євро/т	43,8	46,0	53,6	56,0	38,6	28,6	29,3	36,2

Легко бачити, що при нормі утворення ТПВ 350 кг/рік на людину виділення 1% від ресурсу середнього домогосподарства на поводження з ТПВ тариф відповідає тарифу 1085 грн/т (або 36,2 Євро/т). **В свою чергу ця величина відповідає щомісячній платі, що дорівнює 82 гривням на одне господарство або 32 гривням на людину.**

Крім, власне, величини гранично допустимого тарифу, таблиця демонструє той факт, що можливості реалізації інвестиційних проектів в Україні із залученням міжнародних фінансових інститутів істотно погіршилися в 2014...2015 роках через падіння курсу національної валюти.

Види енергетичної утилізації

Отже, існують такі основні види енергетичної утилізації твердих побутових відходів (рис. 5):

1. Збір біогазу на полігонах і звалищах ТПВ із подальшим виробництвом електричної та/або теплової енергії;
2. Механіко-біологічне оброблення ТПВ із можливим отриманням біогазу та/або твердого палива з ТПВ (RDF/SRF) із подальшою утилізацією на цементних заводах або у спеціалізованих ТЕЦ/котельнях;
3. Термічне оброблення/утилізація змішаних (залишків після сортування) ТПВ із подальшим виробництвом електричної та/або теплової енергії.

Збирання біогазу на полігонах і звалищах ТПВ

Захоронення на полігонах і звалищах залишається основною практикою поводження з ТПВ в Україні. Стратегія управління відходами до 2030 року передбачає перехід від простого захоронення/видалення відходів до системи комплексного поводження з ними. Зокрема, стратегія передбачає впровадження роздільного збору та сортування відходів, поступове збільшення частки повторного використання і рециклінгу матеріалів, а також необхідне будівництво принаймні 100...150 сучасних регіональних полігонів з використанням принципу міжрегіонального співробітництва. Таким чином, роль полігонного захоронення буде залишатися істотною протягом принаймні кількох десятків років.

Впродовж захоронення та накопичення ТПВ формується тіло полігону, в результаті основна частина відходів опиняється в анаеробних (без доступу повітря) умовах. Відсутність кисню, висока вологість і температура в діапазоні 30...60 градусів Цельсія є необхідними і достатніми умовами для формування процесів розпаду органічної фракції ТПВ з утворенням біогазу – суміші метану, вуглекислого газу і води з незначними домішками азоту, сірководню та органічних летких сполук.

Український ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» передбачає утилізацію біогазу, що утворюється при анаеробному розкладанні органічної складової ТПВ. Біогаз може використовуватись як паливо для енергетичних установок (котлоагрегатів, промислових печей, стаціонарних двигунів-генераторів) або для заправки в балони. Метод утилізації біогазу визначається під час розроблення технічного завдання на проектування системи збирання й утилізації біогазу для конкретного полігона ТПВ. У разі неможливості використання за умови відповідного техніко-економічного обґрунтування біогаз повинен спалюватися на спеціальній високотемпературній факельній установці.

До проекту системи збирання біогазу, як правило, входять свердловини, газозбірні пункти з трубопроводами біогазу, проміжні і магістральний газопроводи, дегазаційна установка для вилучення біогазу та вузол підготування біогазу до утилізації (осушення та очищення);

Існують такі принципові можливості утилізації біогазу:

1. Установка газових двигунів внутрішнього згоряння (в окремих випадках газових турбін) безпосередньо на території полігону з подачею електроенергії в мережу без утилізації теплової енергії;

2. Прокладка трубопроводу біогазу до найближчої котельні, продаж тепла в мережі централізованого тепlopостачання;
3. Спільне використання електроенергії та тепла (наприклад, установка когенераційного модуля на базі ДВС в приміщенні котельні або постачання тепла побутовому або промислового споживачу в безпосередній близькості від полігону);
4. Збагачення біогазу до якості природного газу з подальшим використанням як моторного палива або закачуванням в розподільні або магістральні мережі природного газу (даний варіант не набув значного поширення в світі на полігонах ТПВ).

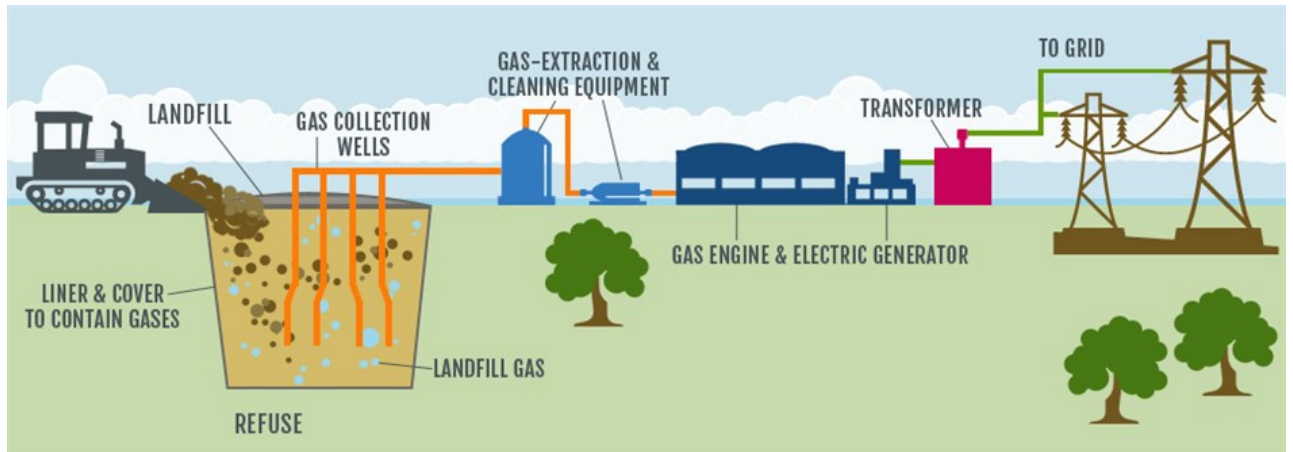


Рис. 06 – Збір и утилізація біогазу на полігоні ТПВ
(Джерело: <https://www.advanceddisposal.com/>)

Вважається, що енергетичну утилізацію біогазу доцільно використовувати на полігонах із середньою товщиною шару ТПВ принаймні 10 метрів і з накопиченою кількістю ТПВ принаймні 1 млн тонн. Велике значення має також тривалість накопичення необхідної кількості відходів. Зазвичай цим умовам задовольняють полігони, які приймають відходи населених пунктів сумарне населення яких перевищує 200 тис. мешканців.

Кількість біогазу, що утворюється на полігоні, визначається морфологією ТПВ та графіком захоронення відходів. В середньому, біогазовий потенціал українських ТПВ складає 60...75 м³/т ТПВ в перерахунку на метан.

Швидкість розпаду ТПВ визначається морфологією ТПВ та фізичними умовами в тілі полігону, в основному вологістю та температурою. В свою чергу внутрішні умови залежать від клімату, в основному від кількості атмосферних опадів. Процес розпаду органічної фракції ТПВ реалізується за експоненціальним законом, період напіврозпаду в українських умовах (відповідає 50% утворення біогазу) становить 10...12 років.

Кількість зібраного біогазу визначається ефективністю збору, в основному залежить від особливостей експлуатації полігону/звалища. Визначальними факторами є площа «активної» зони полігону, наявність/якість верхнього покриття з низькою газовою проникністю, ступінь ущільнення відходів, наявність фільтрату в тілі полігону, можливі загоряння та їхня категорія за весь час експлуатації. Вважається, що ефективність збору біогазу на керованих полігонах становить близько 50%. Для українських місць захоронення відходів така величина може розглядатися в якості верхньої межі, більш характерним значенням може бути 25...30% або навіть нижче.

Якщо врахувати, що частка населення України, що проживає в містах з населенням понад 200 тис. мешканців, становить 40%, то загальний потенціал збору біогазу з ТПВ в Україні складає

$10 \text{ млн т ТПВ/рік} \times 60 \text{ м}^3/\text{т} \times 0,40 \times 0,25 = 60 \text{ млн м}^3/\text{рік} (\text{CH}_4) = 2,1 \text{ млн ГДж} = 580 \text{ ГВт}\cdot\text{год}$

Збір біогазу на полігоні або звалищі є ефективним екологічним заходом. В результаті спалювання біогазу (в енергетичних установках або на факелі) зменшується емісія парникових газів в атмосферу, знищуються органічні леткі сполуки, з якими асоціюються неприємні запахи, знижується або усувається ймовірність загорянь ТПВ на звалищах. Крім того, біогаз з ТПВ є місцевим і поновлюваним джерелом енергії, здатним замінити будь-які види викопного палива – вугілля, нафту, природний газ.

Ситуація зі збором біогазу на полігонах і звалищах ТПВ в Україні

Перші українські проекти зі збору біогазу були реалізовані як проекти спільного впровадження в 2008...2012 роках протягом першого періоду Кіотського протоколу (Ялта/Алушта, Львів, Маріуполь). Майже вісь біогаз спалювався на факелі.

Зараз в Україні доцільність утилізації біогазу визначається можливістю продажу електроенергії з використанням «зеленого» тарифу (0,1239 Євро/кВт•год без ПДВ). Тому після закінчення дії першого періоду Кіотського Протоколу, починаючи з 2012 року основною метою утилізації біогазу з ТПВ стало не зниження емісії парникових газів, а виробництво електроенергії з продажем за зеленим тарифом. Наразі всі нинішні проекти виробляють електроенергію за допомогою газових двигунів з ефективністю 35...42%, але практично все тепло при цьому втрачається.

Найбільші полігони і звалища ТПВ України показані на рис. 7. Помаранчевим кольором виділені полігони, на яких біогаз з ТПВ збирається і використовується для виробництва електроенергії, загалом 19 міст (20 проектів) станом на 01.01.19.

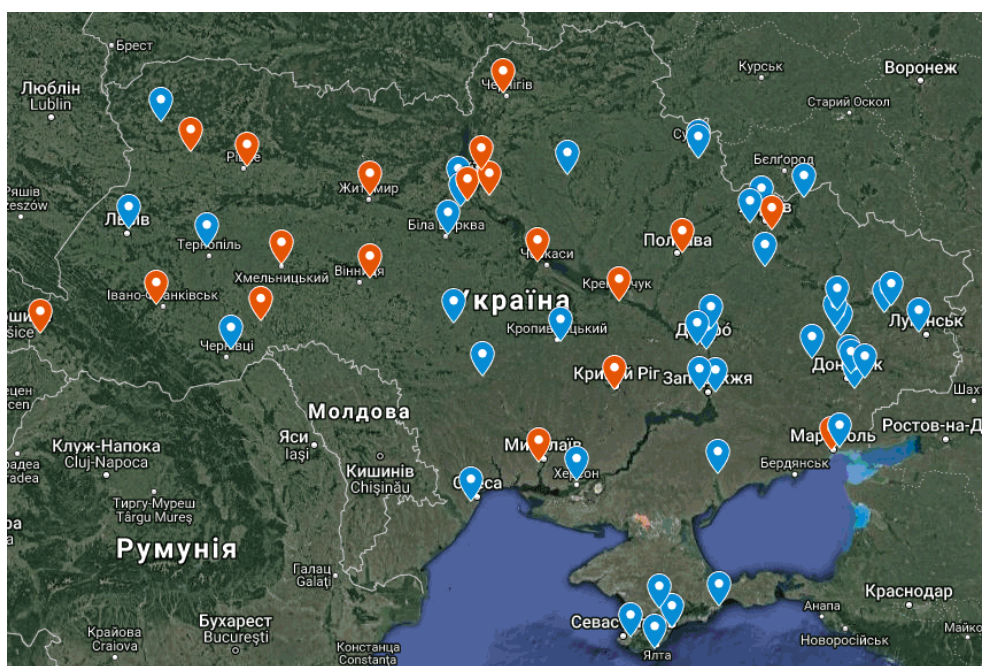


Рис. 07 – Найбільші полігони і звалища ТПВ України

Загальна встановлена електрична потужність на полігонах і звалищах становить понад 18,4 МВт (на 01.01.19). Розвиток виробництва електроенергії з біогазу ТПВ за період 2012...2018 років показано на рис. 8 і в таблиці 3. Додатково в таблиці 3 наведені сумарна встановлена електрична потужність і кількість систем збору біогазу на кінець року за той же період.



Рис. 08 – Виробництво електроенергії з біогазу на полігонах і звалищах ТПВ в Україні (Джерело: НКРЕКП)

Наявність зеленого тарифу призвела до того, що значна частина енергетичного потенціалу біогазу на полігонах і звалищах ТПВ України вже реалізована. Характерною особливістю є те, що на місцевому ринку присутні тільки українські компанії.

Таблиця 3 – Виробництво електроенергії, встановлена електрична потужність і кількість проектів зі збору біогазу на полігонах і звалищах ТПВ в Україні

Рік	Річне виробництво електроенергії, МВт·год	Встановлена електрична потужність на кінець року, МВт	Кількість проектів на кінець року, од.
2012	4 997	0,9	1
2013	10 299	2,1	3
2014	14 243	4,3	4
2015	21 926	6,4	6
2016	32 792	7,4	7
2017	41 065	12,3	12
2018	62 490	18,4	20

Аналіз експлуатаційних даних щодо вироблення електроенергії за 2017...2018 роки показує, що коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) становить в середньому від 40 до 60 відсотків (70% для найбільш успішних проектів), що може бути пов'язано із завищеними очікуваннями щодо газоутворення на етапі підготовки проекту.

Перспективи реалізації наступних проектів можуть бути пов'язані з такими містами, як Дніпро, Запоріжжя, Одеса, Маріуполь, Херсон, Суми, Кам'янське, Чернівці.

Незважаючи на те, що у майбутньому вірогідним є розвиток технологій механіко-біологічного оброблення відходів з виробництвом біогазу в спеціалізованих реакторах,

певна частина потенціалу може бути пов'язана з переходом на будівництво регіональних санітарних полігонів у рамках реалізації стратегії управління ТПВ до 2030 року. Зосередження ресурсів на великих об'єктах і чітке дотримання правил експлуатації для санітарних полігонів дозволило б збирати до 75...85% біогазу, що утворюється.

Механіко-біологічне оброблення ТПВ (МБО)

Механіко-біологічне оброблення відходів використовується для оброблення змішаних відходів з попереднім сортуванням або без нього. Первинна концепція технології передбачає зменшення кількості відходів, що відправляються на захоронення. Наразі технологія також використовується для виробництва палива і додаткового вилучення корисних матеріалів. Технологія об'єднує механічні методи (сепарація за допомогою сит, барабанів, магнітів і ін.) і біологічні методи (компостування і анаеробне зброджування).

МБО є загальним поняттям для всіх концепцій, які передбачають оброблення відходів комбінацією механічних і біологічних методів. Основними відмінністю різних концепцій є послідовність стадій процесу і мета біологічної стадії оброблення. Технологічний ланцюжок орієнтується або на концепцію поділу (сплітінга), або на ідею стабілізації.

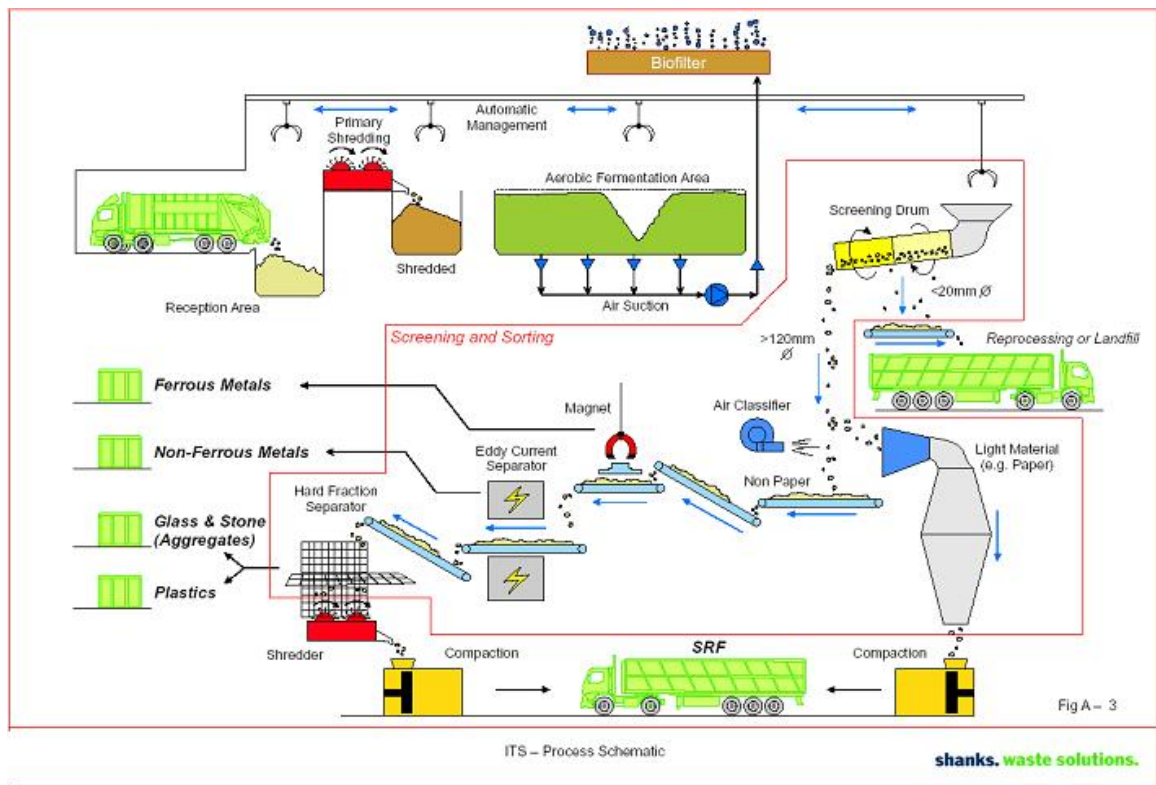


Рис. 09 – Один із варіантів механіко-біологічного оброблення відходів
(Джерело: <https://www.bedford.gov.uk/>)

У першому варіанті спочатку проводиться механічне розділення загального потоку вхідних матеріалів на придатні до різних видів утилізації, наприклад, для виробництва енергії або подальшій біологічній обробці. Для біологічного оброблення можуть застосовуватися методи зброджування або компостування, а також комбінації окремих елементів обох методів. При застосуванні методу анаеробного зброджування основна увага приділяється оптимізації виробництва біогазу. При використанні методу компостування змішаного залишку основне завдання полягає в отриманні біологічно стабілізованого матеріалу,

очищеного від шкідливих компонентів, або ж матеріалу, придатного для енергетичного використання.

При підході з позицій «стабілізації» відходи піддаються біологічній обробці в повному обсязі. Мета полягає в біологічній, конвективній або дифузійній, сушці і максимальній гігієнізації відходів перед наступним механічним відділенням негорючих складових частин. Матеріал, що залишається, може використовуватися як RDF-паливо для виробництва енергії на відповідних установках для спалювання.

Садово-паркові та харчові відходи можуть перероблятися біологічно – аеробними (компостування в присутності кисню) або анаеробними методами (зброджування в герметичних реакторах у відсутності кисню). В результаті аеробного компостування садово-паркових відходів в буртах, критих траншеях або в спеціальних ємностях виробляється компост, який може використовуватися в садових і паркових господарствах, а також для ландшафтного будівництва. Компостування харчових відходів вимагає застосування додаткових біофільтрів для зменшення атмосферних емісій. Анаеробні методи пов'язані з високими капітальними витратами, однак при їхньому використанні отримують додаткове джерело енергії – біогаз.

Механіко-біологічне оброблення відходів не є методом остаточного усунення відходів, тому що твердий залишок, що отримується на виході, повинен піддатися додатковим операціям у вигляді полігонного захоронення або спалювання.

Таким чином, існують наступні принципові можливості організації МБО:

1. Сортування з відділенням ресурсоцінних та інертних компонентів, зброджування органічної фракції ТПВ, отримання біогазу, виробництво з нього корисної енергії, компостування і захоронення/утилізація зброженого залишку;
2. Сортування з відділенням ресурсоцінних та інертних компонентів, біологічна стабілізація – компостування і захоронення/утилізація стабілізованого залишку;
3. Виробництво спеціально підготовленого палива з ТПВ (SRF). У найпростішому випадку підготовка може полягати в попередньому сортуванні, вилученні деяких компонентів з потоку змішаних відходів і подрібненні залишку. Надалі можливі:
 - використання палива в спеціалізованих котельнях для виробництва електричної та/або теплової енергії;
 - передача/продаж палива на найближчий цементний завод.

Використання SRF в цементній промисловості дозволяє використовувати не тільки енергію палива, але і його мінеральну частину в процесі виробництва клінкеру.

Загальний теоретичний потенціал виробництва біогазу в процесі механіко-біологічного оброблення ТПВ в Україні (у разі оброблення всієї кількості органічної фракції ТПВ, що утворюється в Україні) складає

$$10 \text{ млн т ТПВ/рік} \times 60 \text{ м}^3/\text{т} = 600 \text{ млн м}^3/\text{рік} (\text{CH}_4) = 21 \text{ млн ГДж} = 5800 \text{ ГВт}\cdot\text{год}$$

Таким чином, потенціал отримання біогазу в процесах МБО на порядок вище в порівнянні зі збором біогазу на полігонах з двох причин:

1. у керованих реакторах існує можливість використання всього обсягу біогазу, що утворюється, на відміну від полігонів, де кількість біогазу обмежується ефективністю його збору, а також можливим окисленням метану в верхніх шарах відходів;
2. на відміну від захоронення на великій кількості дрібних і середніх місць захоронення відходів, використання технологій МБО передбачає концентрацію ТПВ за регіональним принципом із майже повною утилізацією біогазового потенціалу.

Також перевагами отримання біогазу в рамках реалізації концепції МБО є:

1. багаторазове прискорення процесів зброджування в порівнянні з природними процесами, що відбуваються в надрах сміттєзвалищ і полігонів;
2. потенційна можливість отримання умовно чистого компосту в разі оброблення роздільно зібраних органічних відходів.

Для спалювання палива з ТПВ на цементних заводах або в спеціалізованих котельнях потрібна попередня класифікація палива. Завдання та заходи проекту Національного плану управління відходами до 2030 року передбачають розроблення акту Мінекономрозвитку про впровадження стандарту на основі наявного європейського стандарту EN 15359:2011 «Тверді відновлювані палива (SRF). Специфікація та класифікація», а також проекту акту про затвердження рекомендацій щодо використання палива, отриманого з відходів (RDF).

Наразі в Україні вже існує стандарт на тверде відновлювальне паливо¹¹. Даний документ прийнятий методом підтвердження і представлений тільки мовою оригіналу (англійська). Документ містить наступну класифікацію твердого палива з побутових відходів (табл. 4).

Таблиця 4 – Система класифікації твердого палива з побутових відходів (SRF)

Класифікаційний параметр	Статистична характеристика	Одиниця виміру	Клас				
			1	2	3	4	5
Нижча теплота згоряння Q, не менше	Середньоарифметичне значення	МДж/кг	25	20	15	10	3
Вміст хлору Cl, не більше	Середньоарифметичне значення	%	0,2	0,6	1,0	1,5	3
Вміст ртуті Hg, не більше	Усереднене значення	мг/МДж	0,02	0,03	0,08	0,15	0,50
	80-відсоткове значення	мг/МДж	0,04	0,06	0,16	0,30	1,00

SRF складається переважно з біологічних відходів і являє собою гомогенну суху сировину з низьким вмістом небажаних домішок, придатну для складування. Калорійності фракції 15 МДж/кг (клас 3) достатньо для більшості цементних виробництв і/або ТЕЦ, що працюють на твердому паливі. Для SRF такого типу характерний низький вміст хлору (<1,0%), що також допустимо для цементних виробництв.

В Україні існує інтерес до реалізації демонстраційних проектів з утилізації палива з ТПВ в цементній промисловості в рамках реалізації стратегії управління відходами¹². Але можливість утилізації палива з українських ТПВ потребує додаткового опрацювання,

¹¹ ДСТУ EN 15359:2018 (EN 15389 –1:2006, EDN) Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи

¹² Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року

партнерами для обговорення можуть бути Асоціація виробників цементу України «Укрцемент»¹³ і ДАЕЕ.

У більшості випадків для використання альтернативного палива цементними заводами буде потрібно здійснити їх модернізацію. Крім того, доцільність використання SRF визначається логістикою, в основному відстанню між виробником палива та цементним заводом. Цементні заводи України показані на рисунку 10. Легко побачити, що такі заводи розташовані в основному на заході і південному сході країни.

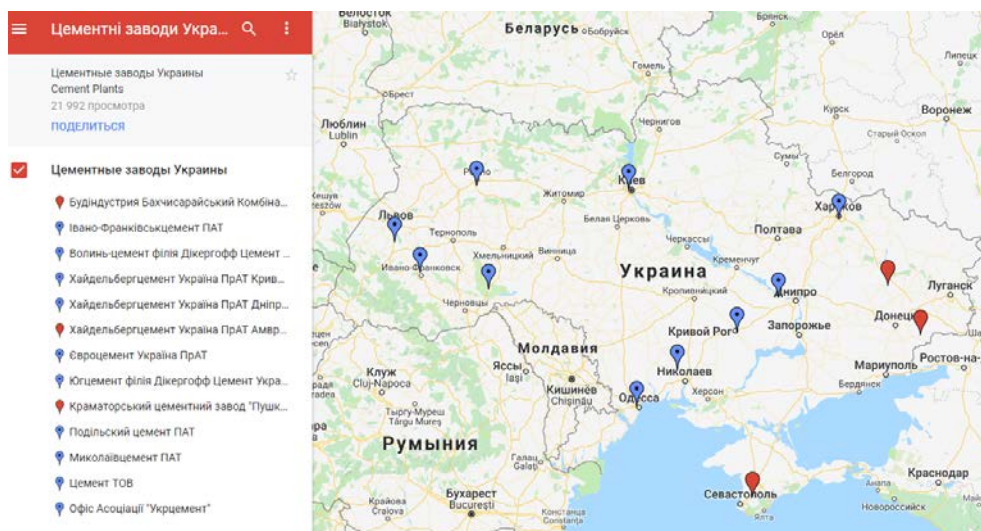


Рис. 10 – Цементні заводи України

(Джерело: <http://www.ukrcement.com.ua/pidприємства.html>)

Технологічно виробництво палива з ТПВ складається з біобоксов стабілізації органічної фракції ТПВ, зони механічного сортування та кондиціонування, систем очищення, а саме очищення води, системи контролю і видалення запахів, пиловловлювачів, фільтрів, тому експлуатація таких підприємств не пов'язана з додатковим навантаженням на навколишнє середовище.

Існує значна розбіжність щодо вартості різних технологій МБО, тому що не існує «універсального» варіанту для оброблення змішаних ТПВ. Різні рішення можуть вважатися найбільш вигідними для різних територій охоплення/ кластерів.

Як вже зазначалося вище, доцільність отримання біогазу з ТПВ з подальшим виробництвом електроенергії визначається можливістю продажу електроенергії за фіксованим «зеленим» тарифом (0,1239 Євро/кВт·год без ПДВ). Доцільність виробництва RDF/SRF визначається, крім власне оброблення ТПВ, заміщенням викопних видів палива, в першу чергу, природного газу.

Будівництво об'єктів МБО може виявитися економічно сталим рішенням за певних обставин, наприклад:

- МБО виробляє біогаз з продажем за зеленим тарифом, тепло продається комунальному або промислового користувачу;

¹³ <http://www.ukrcement.com.ua>

- МБО виробляє паливо RDF/SRF за наявності в регіоні сформованого ринку для нього (наприклад, цементна промисловість або система централізованого опалення).

Якщо розглядається можливість будівництва об'єкту МБО, спочатку необхідно провести ретельне техніко-економічне обґрунтування (ТЕО), яке має довести комерційну життєздатність (інвестиційну привабливість) подібної пропозиції.

Ситуація з механіко-біологічним обробленням ТПВ в Україні

Наразі в Україні немає проектів механіко-біологічного оброблення побутових відходів, які працюють. Єдина спроба організувати виробництво RDF для подальшого спалювання на ПАТ «Волиньцемент» в сусідньому місті Здолбунів була зроблена в місті Рівне. Сміттєпереробний завод був побудований в 2013 році. Експлуатація виявилася недовгою через технологічні недоліки та проблеми з визначенням тарифу на переробку ТПВ, а також неможливості сертифікації якості одержуваного палива. На сьогодні завод працює нерегулярно в режимі сортування відходів, «хвости» вивозяться на муніципальне звалище.

Великий проект сміттєпереробного комплексу, який кредитується Світовим Банком на суму 30 млн Євро, реалізується в Харкові на Дергачівському полігоні ТПВ. Однак проект передбачає реалізацію тільки «простих» концепцій: рекультивацию старого полігону, будівництво нового санітарного полігону, організацію збору та утилізації біогазу для виробництва електроенергії на старому і, в перспективі, на новому полігоні, а також запуск двох сортувальних ліній потужністю 40 і 80 тис. тонн на рік.

Також на стадії реалізації знаходиться проект у Львові. Тут планується рекультивация старого закритого звалища в Грибовищах та будівництво сміттєпереробного комплексу. Технічна концепція буде полягати в механіко-біологічній обробленні ТПВ. Підписання договорів стосовно виділення 35 млн євро від ЄБРР та Фонду Східноєвропейського партнерства з енергоефективності та довкілля (E5P) відбулось у червні 2018 року.

Якщо тендерні процедури завершаться вчасно, будівництво сміттєпереробного заводу у Львові може розпочатись уже в 2019 році. Претендентами на будівництво заводу з переробки відходів у Львові стали компанії Control Process S.A. (Польща), Eggersmann Anlagenbau GmbH (Німеччина), Helector S.A. (Греція), консорціум MUT (Австрія) з Dogusan (Туреччина) та консорціум WTT (Нідерланди) з Axis (Литва). Окрім будівництва заводу, у Львові також планують запровадити нову систему роздільного збирання відходів

Ідея будівництва заводу механіко-біологічної оброблення ТПВ потужністю 80 тис. т/рік активно розвивається у Хмельницькому. Силами місцевих і зарубіжних експертів проведено якісне і кількісне дослідження потоків відходів, підготовлено техніко-економічне обґрунтування проекту. У Хмельницькому планується виробництво біогазу і палива RDF/SRF. Для реалізації проекту місто залучає кошти ЄБРР (20 млн євро) і, в перспективі, Міжнародної фінансової корпорації (Світовий банк).

Ідея будівництва заводу МБО потужністю 82 тис т/рік також анонсована в Житомирі в середині 2018 року. Планується виробництво RDF-палива для цементного виробництва і компосту.

Термічне оброблення ТПВ

Термічне оброблення ТПВ є найбільш ефективним методом зменшення кількості відходів та потреби в захороненні. Можливі такі види термічної утилізації муніципальних відходів:

1. виробництво тепла та електроенергії з RDF/SRF, що отримані після МБО;
2. Класичний ССЗ – спалювання змішаного потоку ТПВ після вилучення ресурсоцінних компонентів;
3. експериментальні технології: газифікація, піроліз, плазма.

Спалювання

Тверді побутові відходи можуть спалюватися в установках різного типу, враховуючи установки з рухомою решіткою і з обертовими печами, а також установки з киплячим шаром. Основним корисним продуктом спалювання відходів є тепло відхідних газів, що використовується як вторинний енергетичний ресурс для вироблення пари, електроенергії, гарячої води для виробничих та побутових потреб.

Як метод оброблення спалювання використовують для частково відсортованих відходів, у складі яких не більше 10...15% інертного матеріалу. Для спалювання можна використовувати тільки відходи з достатньо високою теплотворною здатністю (більш ніж 6,0 МДж/кг). Область застосування термохімічних методів обмежується властивостями продуктів реакції. При згорянні органічної частини відходів утворюються діоксид та оксид вуглецю, пари води, оксиди азоту та сірки, аерозолі. Термохімічні методи небажано застосовувати для переробки відходів, якщо останні містять фосфор, галогени, сірку.

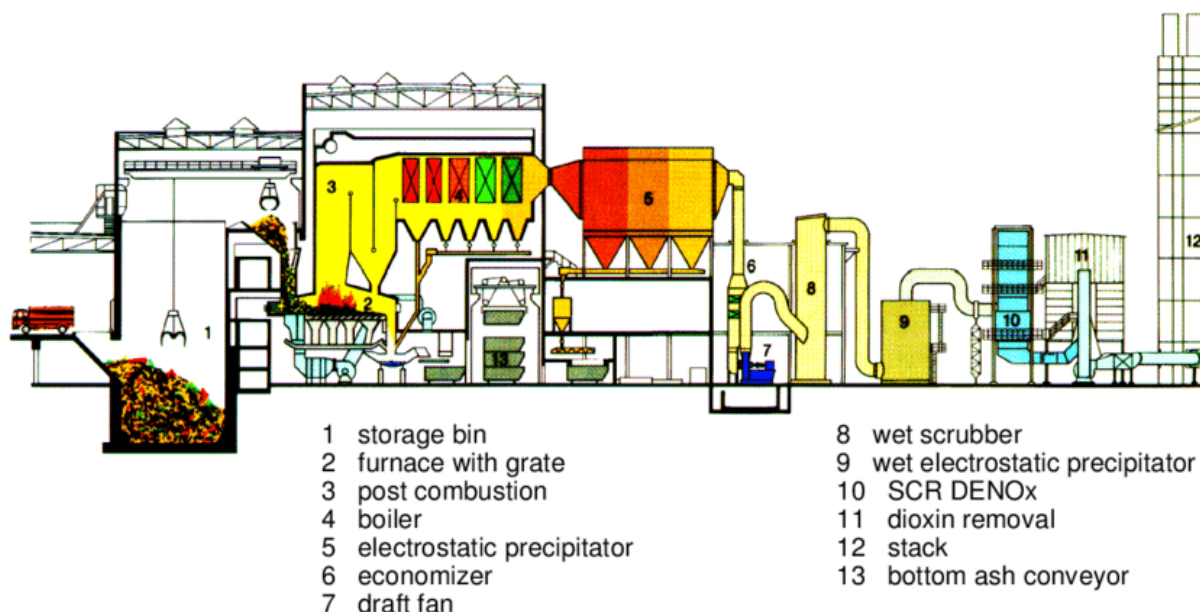


Рис. 11 – Термическая утилизация отходов

(Источник: <https://www.researchgate.net/>)

Відходи завантажуються в бункер безпосередньо зі сміттєвозів (рис. 11). Обсяг бункера розрахований на тижневий запас відходів. Далі відходи подаються за допомогою тельферного крана в систему подачі палива на рухомі решітки. Останні бувають похилі або

горизонтальні з повітряним або водяним охолодженням. Відходи переміщуються уздовж решітки під дією гравітації (похилі решітки) або в результаті переміщення частин решітки.

Тепло продуктів згоряння використовується для вироблення пари високого тиску, що в свою чергу подається на турбіну з генератором. Низькотемпературний пар після турбіни може використовуватися в системах централізованого теплопостачання.

Система очищення димових газів є необхідним компонентом термічної утилізації ТПВ. Для очищення використовуються різні типи процесів: рідинні («мокрі»), сухі та напівсухі. Вибір між ними залежить від місцевих обмежень і певних технологічних міркувань.

У «мокрому» процесі димові гази спочатку проходять через електрофільтр або рукавний фільтр, в яких видаляються тверді частинки (пил). Пил збирається в зольному бункері. Потім димові гази пропускаються через «мокрі» скрубери. Зазвичай у першому скрубери видаляються важкі метали та кислоти, у другому – діоксид сірки. Використання спеціальних пакувальних матеріалів в скруберах дозволяє видалити з димових газів діоксини.

«Сухий» процес заснований на інжекції в котел сухого вапняного порошку, який реагує з газами, що містять кислоти. Далі в рукавному фільтрі збираються пил, солі та інші продукти хімічних реакцій. Для ефективного уловлювання діоксинів і газоподібних важких металів, таких, як ртуть, також впорскується активоване вугілля. У деяких випадках на початку процесу використовуються електростатичні фільтри.

Ще одна можливість очищення – напівсухий процес, заснований на інжекції в абсорбер вапняного молока замість сухого порошку. На наступному етапі використовується тканинний фільтр для відділення в димових газах продуктів реакції, важких металів і пилу.

Крім очищення від забруднень в димових газах необхідно знижувати вміст оксидів азоту. Однією з можливостей є селективний каталітичний конвертер, встановлений за основним газоочисним обладнанням. Димові гази проходять через пористий матеріал і контактують з аміачною водою в присутності каталізатора, наприклад, оксиду титану. При цьому оксиди азоту за допомогою каталізатора при низькій температурі відновлюються до азоту. Таке очищення називається селективним каталітичним. Інша можливість полягає в селективному некаталітичному відновленні. Для цього аміачна вода або газоподібний аміак впорскується в топку при високій температурі, що призводить до утворення азоту некаталітичним способом. Обидва підходи широко використовуються в Європі.

Таким чином можна розрізнити три рівня очистки димових газів – базовий, середній і «просунутий»¹⁴. Базовий включає очищення від пилу за допомогою електрофільтрів. Середній рівень може бути забезпечений за допомогою різних комбінацій мокрих і сухих скрубери. На цьому рівні забезпечується очищення від пилу, HCl, HF, SO₂ і важких металів (As, Cd, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni). «Просунута» газоочистка, що використовується в розвинених країнах, являє собою комплексну і коштовну систему, яка додатково забезпечує очищення від оксидів азоту NO_x, діоксинів і фуранів. Перехід від середнього до просунутого варіанту газоочистки підвищує вартість проекту приблизно на 15%⁸.

Важливим завданням при експлуатації ССЗ, поряд з очищенням газів, що відходять, є утилізація та захоронення токсичної золи, включно з летючої, і шлаку, що залишаються

¹⁴ WORLD BANK, “Decision Makers’ Guide to Incineration of Municipal Solid Waste”, 2000

після спалювання (до 30% від сухої маси ТПВ). Концентрація оксидів важких металів в них на 2...3 порядки вище, ніж у відходах, що спалюються.

Газифікація

Газифікація є варіантом термічної утилізації, при якій на першому етапі окислення палива супроводжується утворенням «синтез-газу», на другому етапі горючий синтез-газ спалюється у вторинному топочному пристрої для отримання тепла або в газових двигунах/турбінах для вироблення електроенергії.

Газифікація як промислова технологія зазвичай застосовується для переробки твердих, рідких і пастоподібних відходів. Зокрема, вона широко використовується в металургії для отримання горючих газів з бурого високозольного вугілля. Сутність газифікації полягає в обробленні вуглецевої речовини (вугілля) при 600..1100°C водяною парою, киснем (повітрям) або діоксином вуглецю. В результаті відповідно парової, кисневої, углекислотної або комбінованої конверсії вугілля утворюється рівноважна суміш новостворених (водень, оксид вуглецю) і початкових газів.

Генераторний газ, що отриманий при газифікації за допомогою повітряного або пароповітряного дуття, має низьку (3,5...6 МДж/м³) теплоту згоряння через значний вміст азоту. Зазвичай він використовується за місцем отримання в низькотемпературних технологічних процесах. Газ парокисневої конверсії більш калорійний (до 16 МДж/м³) і може застосовуватися як технологічне паливо для високотемпературних печей, а також транспортуватися на значні відстані від газогенераторної станції. Він також є цінної хімічної сировиною, в якій вміст H₂ і CO доходить до 70%.

Щодо ТПВ існує кілька варіантів технології, які розвинені принаймні в Японії, наприклад, процес прямого розплаву JFE (direct melting process), технологія Thermoselect, газифікація в вертикальній колоні попередньо пелетованого RDF, комбіноване спалювання та газифікація Energos Grate Combustion and Gasification Process (Норвегія, Німеччина, Великобританія), газифікація в киплячому шарі Ebara fluidized bed process (Іспанія), плазмова газифікація, що зазвичай використовується для утилізації небезпечних відходів (Японія).

Причиною поширеності газифікації в Японії є особливості місцевого законодавства, наприклад, заборона транспортування ТПВ між муніципалітетами і неможливість у зв'язку з цим накопичити велику кількість ТПВ в одному місці, а також специфічні вимоги до якості золи.

Переваги газифікації в порівнянні зі спалюванням ТПВ на решітці полягають в плавленні (спіканні) золи, зменшенні кількості газів, що відходять, зниженні емісії NO_x. Незважаючи на розвиток технології, в світі як і раніше відсутній достатній досвід реалізації великих проектів газифікації на змішаних відходах, існують складності з газифікацією вологої сировини.

Піроліз

Піроліз як спосіб нагрівання органічних речовин до відносно високих температур без доступу повітря супроводжується розкладанням високомолекулярних сполук на низькомолекулярні, рідку і газоподібну фракції, а також коксуванням і смолоутворенням.

Його використовують при сухій перегонці деревних відходів, переробки гумотехнічних виробів, нафтопродуктів та ін.

Залежно від температури процесу розрізняють три види піролізу: низькотемпературний (не більш ніж 450...550 °С); середньотемпературний (до 800 °С) і високотемпературний або коксування (900...1050°С). З підвищенням температури знижується вихід рідких і збільшується вихід газоподібних продуктів. Тому низькотемпературний піроліз зазвичай використовують для отримання первинної смоли – цінного джерела рідкого палива і різних хімічних продуктів. Основне завдання високотемпературного піролізу – отримання високоякісного пального газу. Твердий залишок (піролізний кокс) використовують як замітник природних і синтетичних вуглецевих матеріалів, сорбенту при очищенні питних і стічних вод.

Для змішаних ТПВ досвід впровадження піролізу недостатній, вважається, що технологія піролізу має експериментальний характер. Абсолютна більшість проектів термічної утилізації змішаних ТПВ використовує стандартну технологію спалювання на рухомій решітці. У таблиці 5 показано поширеність різних видів термічної утилізації ТПВ в 22 країнах світу (для підприємств, побудованих після 2000 року). Легко бачити, що основними методами термічної утилізації ТПВ залишаються спалювання на рухомих решітках і, в якійсь мірі, в киплячому шарі.

Таблиця 5 – Поширеність різних термічних технологій в світі¹⁵

Технологія	Сировина	Енергетичний продукт	Сумарна потужність, млн. т/рік	Локація
Спалювання на рухомій решітці	Змішані ТПВ	Пар високого тиску	< 168	Азія, Європа, Америка
Обертові печі	Змішані ТПВ	Пар високого тиску	> 2	Японія, США, ЕС
SEMASS (Energy Answers Process)	Подрібнені ТПВ	Пар високого тиску	> 1	США
Спалювання RDF на решітці	Подрібнені та сортовані ТПВ	Пар високого тиску	> 5	США, ЕС
Циркулюючий киплячий шар	Подрібнені ТПВ, RDF	Пар високого тиску	> 11	Китай, Європа
Киплячий шар (Ebara process)	Подрібнені ТПВ, RDF	Пар високого тиску	> 0.8	Японія, Португалія
Киплячий шар (bubbling)	Подрібнені ТПВ, RDF	Пар високого тиску	> 0.2	США
Газифікація (JFE, Nippon Steel)	RDF	Пар високого тиску	> 0.9	Японія
Газифікація Thermoselect	Змішані ТПВ	Синтез-газ (CO, H ₂ , CO ₂)	> 0.8	Японія
Плазмова газифікація	Подрібнені та сортовані ТПВ	Синтез-газ (CO, H ₂ , CO ₂)	> 0.2	Канада, Японія, Франція
МБО	Подрібнені і біологічно стабілізовані	RDF – цементні заводи і вугільні електростанції	> 5	ЄС
Всього			< 195	

¹⁵ WTE Guidebook, EEC/IDB, July 2013

Ситуація з термічним обробленням ТПВ в Україні

У 80-е і 90-е роки в Україні було побудовано чотири ССЗ – в Києві, Дніпропетровську, Харкові та Севастополі. До недавнього часу працювали два заводи – у Києві та Дніпропетровську. Єдиний працюючий наразі в Україні ССЗ «Енергія» знаходиться в Києві. Будівництво заводу було розпочато в 1983 і завершено в 1987 році. Потужності підприємства дозволяють спалювати близько 20% твердих побутових відходів, що утворюються в Києві (240 тис. т/рік).

У 2013 році була розроблена та почала виконуватися програма модернізації підприємства. Обсяг інвестицій першого етапу програми склав 28 млн. грн. На другому етапі, в 2015...2018 роках ПАТ «Київенерго» планувало інвестувати в розвиток підприємства 210 млн грн. Перший етап програми був спрямований на скорочення споживання газу. Одним із заходів була реалізація проекту теплопостачання. В результаті житловий масив Позняки отримав можливість користуватися опаленням і гарячою водою після спалювання ТПВ. Використання тепла становить 150 тис. Гкал, цього достатньо забезпечення взимку 200 будинків (близько 80 тис. квартир) і 300 будинків гарячою водою влітку. Економія газу на виробництво теплової енергії протягом 2015 року склала близько 30 млн м³.



Рис. 12 – Зовнішній вигляд і завантажувальний кран ССЗ «Енергія»

На другому етапі модернізації ПАТ «Київенерго» планував капремонті всіх котлів ССЗ і встановлених на них електрофільтрів. В результаті планувалося збільшити кількість спалювання ТПВ на 20% (з 235 до 280 тис. т/рік), а виробництво теплової енергії на 60% (до 360 тис. Гкал/рік). Наступним етапом модернізації повинен був стати запуск турбіни потужністю до 4 МВт_е. Основним компонентом очистки димових газів на заводі є електрофільтри. Однак до 2022 року планується запуск системи хімічної очистки димових газів з інжекцією вапняного розчину і активованого вугілля.

Протягом останніх десятиліть плани будівництва ССЗ в містах України анонсувалися неодноразово, однак ці плани не були реалізовані.

Потенціал виробництва енергії в процесі термічної утилізації ТПВ в Україні складає (у разі використання 25% ТПВ):

Виробництво е/е: $10 \text{ млн т/рік} \times 8 \text{ ГДж/т} \times 0,22 \times 0,25 = 4,4 \text{ млн ГДж} = 1200 \text{ ГВт}\cdot\text{год}$

Виробництво тепла: $10 \text{ млн т/рік} \times 8 \text{ ГДж/т} \times 0,55 \times 0,25 = 11,0 \text{ млн ГДж} = 3000 \text{ ГВт}\cdot\text{год}$

Потенціал заміщення природного газу в процесі термічної утилізації ТПВ в Україні складає (в разі використання 25% ТПВ) понад 0,5 млрд м³.

Морфологія відходів, вплив на вибір типу/технологій оброблення

Спосіб переробки (наприклад, можливість і доцільність спалювання) відходів визначається морфологічним складом відходів, інтегральним показником якого можуть слугувати величина теплотворної здатності і зольність. Зрозуміло, що чим вище теплотворна здатність, тим ефективніше технології термічної утилізації, які передбачають корисне використання енергії (тепло і/або електроенергія, промисловий пар).

Залежність теплотворної здатності від вологості для змішаних ТПВ, а також для деяких найбільш характерних компонентів ТПВ, показана на рис. 13.

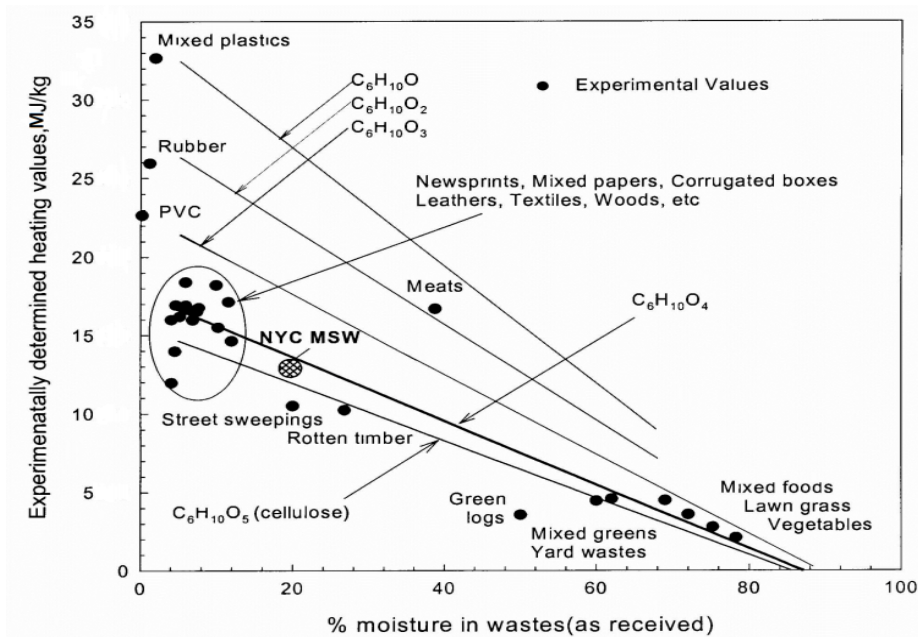


Рис. 13 – Залежність теплотворної здатності від вологості різних видів палива
Джерело: WTE Guidebook, EEC / IDB, July 2013

Можна побачити, що теплотворна здатність ТПВ може змінюватися в діапазоні від 3...5 МДж/кг (переважно вміст харчових відходів) до 15..18 МДж/кг (переважно вміст паперу, картону, текстилю, деревини). Теплотворна здатність середньостатистичних ТПВ може перебувати в діапазоні 8...12 МДж/кг при вологості 30...50%.

Вважається, що граничним значенням теплотворної здатності для комерційної термічної утилізації є величина 6 МДж/кг. Зазначимо, що термічна утилізація часто застосовується для обов'язкового знезараження небезпечних відходів (наприклад, медичних). В цьому випадку теплотворна здатність відходів не впливає на прийняття рішення щодо використання технології.

Теплотворна здатність 10 МДж/кг відповідає 2.8 МВт·год теплової енергії на тонну відходів. Найефективніші ССЗ (наприклад, Ramboll, Denmark) отримують з тонни ТПВ 0.67 МВт·год електричної та до 2.0 МВт·год теплової енергії. Наведені на малюнку 13 залежності підтверджують дані 97 європейських ССЗ, наведені у вигляді гістограми на рис. 14¹⁶. Можна побачити, що на європейських заводах спалюються ТПВ в діапазоні 7...14 МДж/кг при середньому значенні 10 МДж/кг. Перевищення величини 14 МДж/кг, що присутнє на малюнку, характерно для суміші ТПВ з промисловими відходами.

¹⁶ Waste-to-Energy State-of-the-Art-Report. ISWA 2012

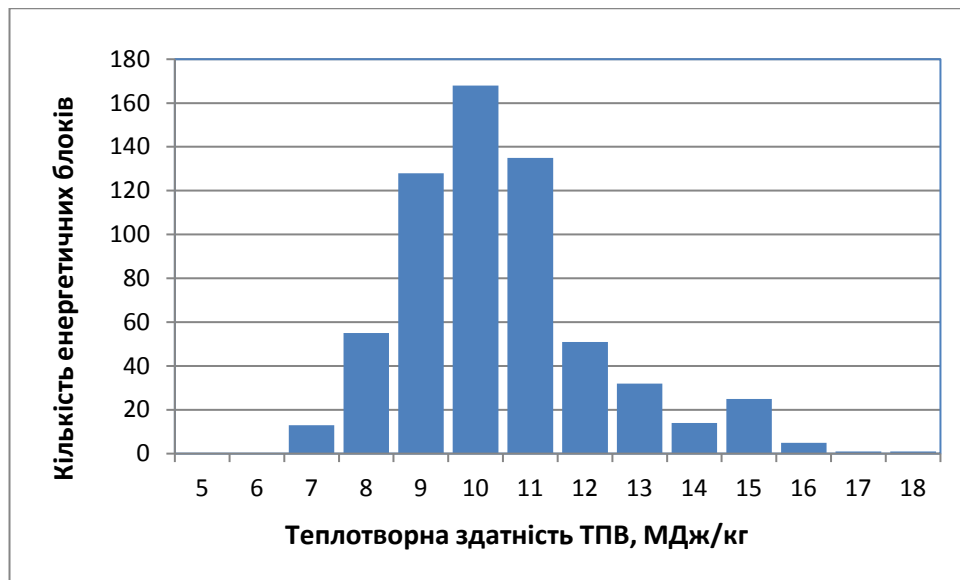


Рис. 14 – Теплотворна здатність ТПВ, що використовуються на 97 європейських ССЗ

На рис. 15 показано процентний вміст (по масі) окремих фракцій ТПВ у місті Києві за даними Державного Підприємства «Науково дослідного та конструкторсько-технологічного інституту міського господарства». Видно, що основну частину ТПВ складають харчові відходи, скло, різні полімери, папір і картон.

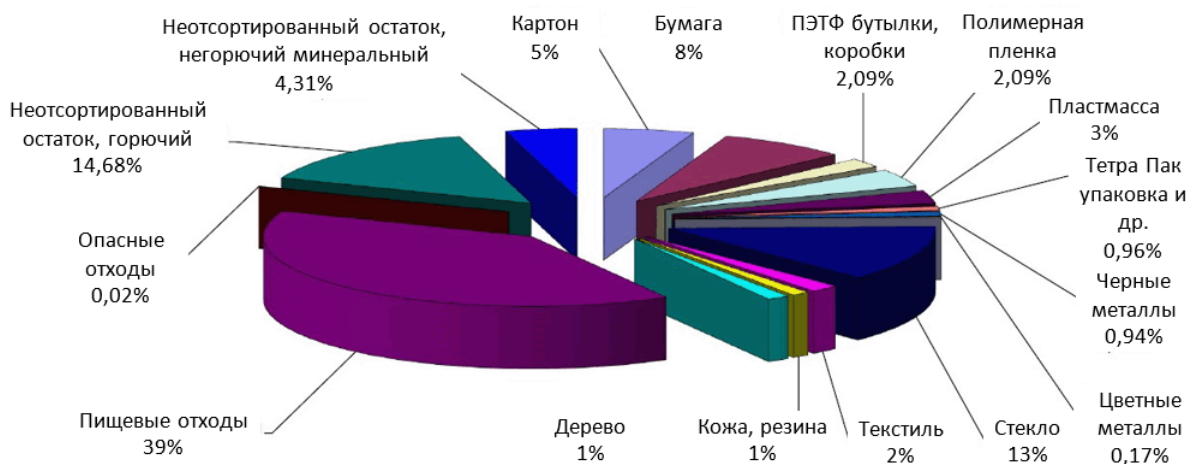


Рис. 15 – Процентний вміст (по масі) окремих фракцій в змішаних ТПВ, Київ

Морфологічний склад ТПВ і відповідна (розрахункова) величина теплотворної здатності ТПВ наведена в таблиці 6 для п'яти міст України. Можна побачити, що склад ТПВ, зокрема, внесок окремих компонентів може змінюватися в широкому діапазоні (остання колонка). Але незважаючи на розповсюджену думку про те, що ТПВ в Україні суттєво відрізняється за складом від європейських аналогів, в цілому середня теплотворна здатність ТПВ України відповідає наведеним вище даним для ЄС.

Теплотворна здатність ТПВ у конкретному місці може змінюватися протягом року в залежності від погодних умов і сезонних особливостей споживання. Моніторинг зміни складу ТПВ для одного з полігонів України (м Бориспіль) протягом майже двох років показав, що теплотворна здатність ТПВ може змінюватись від 6,5 до 12,0 МДж/кг.

Таблиця 6 – Морфологічний склад ТПВ для п'яти міст України¹⁷

Компоненті	1	2	3	4	5	Середн.	Діапазон
Харчові відходи	30,0	35,5	43,6	45,6	29,4	36,8	30 – 45
Папір і картон	5,3	5,9	7,6	8,5	15,6	8,6	5 – 15
Полімери	16,0	8,7	12,3	10,7	16,6	12,9	8 – 17
Скло	13,6	10,9	11,3	9,1	15,2	12,0	9 – 14
Чорні метали	1,0	0,3	0,6	1,2	2,0	1,0	0 – 2
Кольорові метали	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0 – 0,5
Текстиль	2,0	3,8	2,2	2,2	5,7	3,2	2 – 5
Деревина	1,6	2,5	0,1	1,4	2,0	1,5	0,1 – 2
Небезпечні відходи	0,3	0,1	0,3	0,3	0,5	0,3	0,1 – 0,5
Кістки, шкіра, гума	0,5	1,6	0,4	0,9	0,8	0,8	0,5 – 1,5
Комбіновані відходи	0,5	0,9	0,4	1,0	–	0,7	0,4 – 1
Залишок, в т.ч.	29,1	29,4	20,9	18,7	11,9	22,0	12 – 30
Дрібні будівельні відходи	0,3	2,8	3,4	3,2	3,2	2,6	0,3 – 3,5
Вуличний змій, листя	6,1	0,5	0,3	0,0	3,4	2,1	0 – 6
Гігієнічні засоби	3,1	3,7	2,6	2,8	3,6	3,2	2,3 – 3,5
Інше	19,6	22,4	14,7	12,7	1,8	14,3	2 – 22
Теплотворна здатність, Дж/кг	9,4	7,5	8,3	8,4	11,8	9,1	7,5 – 11,8

При плануванні проекту необхідно враховувати, що склад ТПВ може змінюватися протягом тривалих періодів часу. В якості ілюстрації на рисунку 16 наведено дані щодо вмісту полімерів для міст України та РФ за 2000...2012 роки. Легко помітити тенденцію до збільшення кількості пластику.

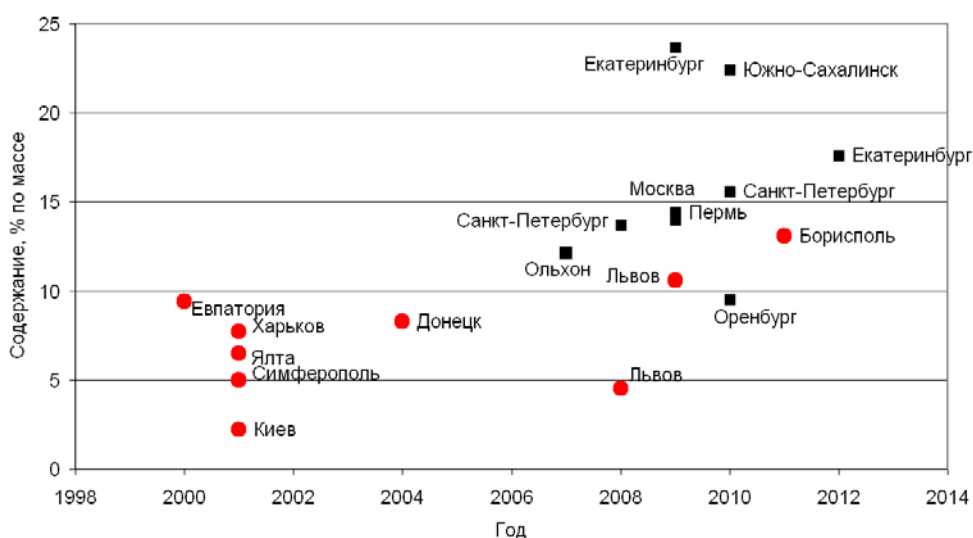


Рис. 16 – Зміна вмісту полімерів в ТПВ (Україна та РФ)

Спроба відстежити зміну морфології ТПВ в Україні з початку двадцятого століття була зроблена в роботі¹⁸, і в подальшому, була використана в Національному кадастрі викидів парникових газів за 1990 –2016 роки для компонентів ТПВ, що біологічно розкладаються та вносять вклад в утворення біогазу на звалищах і полігонах (рис. 17).

¹⁷ Національний проект "Чисте місто"

¹⁸ Звіт про науково –дослідну роботу «Дослідження газоутворення на найбільш великих полігонах ТПВ та перехід на трьохкомпонентну національну модель розрахунку викидів ПГ від звалищ ТПВ в Україні / Матвеев Ю. Б. [та ін.]. УДК 519.87:628.336.6:628.4, № держреєстрації 0112U001577. – Київ, 2012. – 141 с.

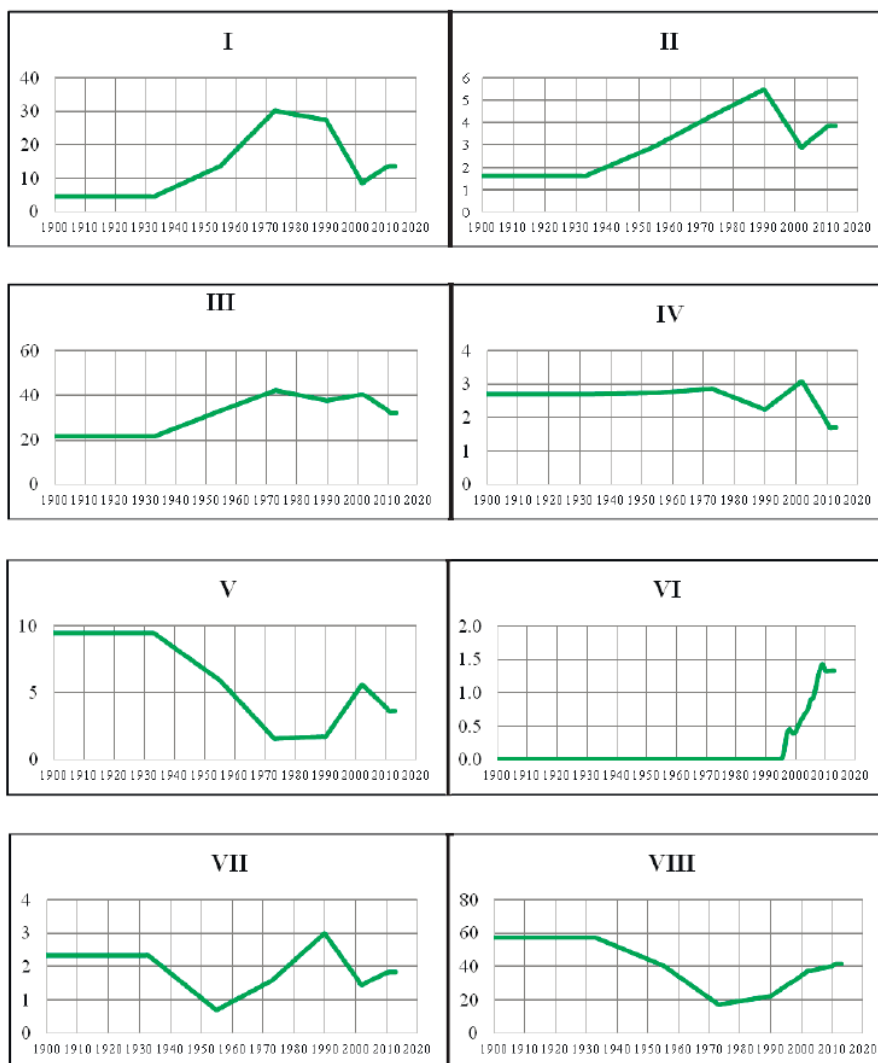


Рис. 17 – Зміна змісту фракцій ТПВ, що біологічно розкладаються в Україні (I – папір і картон, II – текстиль, III – харчові відходи, IV – деревина, V – садово –паркові відходи, VI – засоби гігієни, VII – шкіра і гума, VIII – неорганічні відходи)

Оскільки термічне оброблення відходів має нижчий пріоритет в ієрархії поводження з ТПВ в порівнянні з повторним використанням і рециклінгом, при виборі технології оброблення необхідно враховувати склад ТПВ після сортування, якщо таке планується.

Сортування може здійснюватися різними способами, а саме:

- Безпосередньо в місці утворення (ініціатива населення);
- «Неформальним сектором економіки» в міських контейнерах до транспортування;
- На спеціалізованих сортувальних лініях (ручних або автоматичних);
- В якості першого етапу реалізації технології МБО.

На рисунку 18 в якості ілюстрації показана ефективність ручного та автоматичного сортування змішаних відходів за даними роботи¹⁹. Відзначимо, що наведені цифри є орієнтиром. Для кожного конкретного випадку реалізації проекту та підбору обладнання з урахуванням реальної морфології ТПВ відповідні показники можуть відрізнитися. На

¹⁹ Слюсарь Н.Н., Ильиных Г.В., Вайсман Я.И., Пухнюк А.Ю., Матвеев Ю.Б. Управление метановым потенциалом ТБО путем их предварительной обработки // Экология и промышленность России, – ноябрь 2013 г. – с. 38–42.

рисунку показано, що відходи сортування (хвости) відправляються на захоронення. Альтернативою може бути термічна утилізація з попередньою біологічною стабілізацією або без неї.

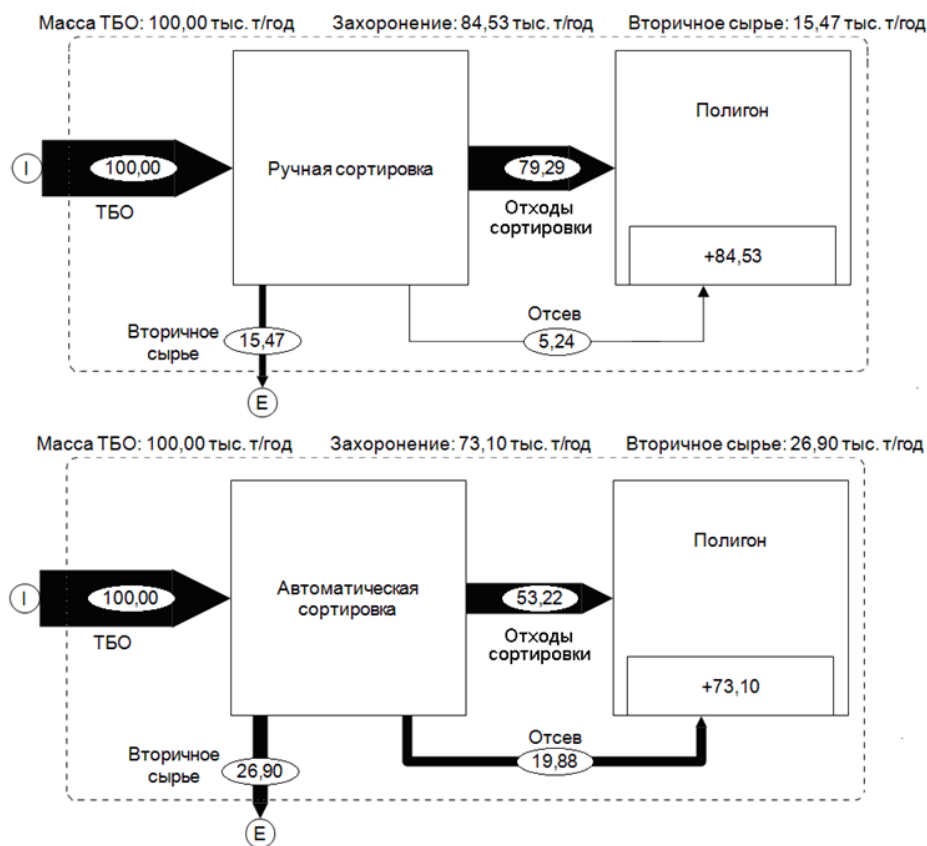


Рис. 18 – Матеріальні потоки для ручного та автоматичного (оптико-механічного) сортування¹²

Основні компоненти, що вилучаються з потоку ТПВ у відсотках від початкової кількості компонента:

- папір і картон – 17...46%
- полімери – 27...58%
- скло – 38%
- чорні метали – 39...73%
- кольорові метали – 52...80%.

При цьому менше значення характерне для ручного сортування, більше – для автоматичного оптико-механічного сортування.

Процес попереднього сортування може істотно впливати на теплотворну здатність. Оскільки з потоку ТПВ частково вилучаються найбільш калорійні полімери, папір і картон, теплотворна здатність може знизитися з 9.0 до 8.4 МДж/кг для ручного сортування і до 6.8 МДж/кг у випадку оптико-механічного сортування.

Навпаки, сушка та компостування залишку після сортування, наприклад, у процесі механіко-біологічного оброблення, може збільшити теплотворну здатність потенційного палива до 10...15 МДж/кг.

Фінансові показники різних варіантів оброблення ТПВ

Потенційний дохід на тонну ТПВ

Цікавим є оцінка та порівняння між собою потенційного доходу, що можна отримати при впровадженні роздільного збору та сортування, а також біологічних і термічних методів оброблення / утилізації ТПВ з отриманням енергії.

Роздільне збирання та сортування

Вище вже зазначалося, що наразі в країні працює кілька десятків сортувальних ліній, ефективність відбору вторинних матеріалів на яких не перевищує 15...20%. Сортування змішаних відходів рідко буває прибутковим заходом через низьку якість сировини і, як наслідок, низьку ефективність сортування. Підвищити ефективність сортування можна за допомогою роздільного збирання відходів.

Потенціальний дохід від реалізації вторинної сировини – полімерів (пластика), макулатури (паперу і картону), склобою (скла) на тонну ТПВ можна оцінити використовуючи зміст в ТПВ відповідної фракції відходів, ціни реалізації вторинної сировини на ринку і гіпотези щодо досяжною глибини переробки. В якості останнього параметра доцільно прийняти цілі, сформульовані в Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. В якості вартості реалізації прийняті середні ціни імпорту та експорту вторинних полімерів, макулатури і склобою за період 2008...2018 років не європейському ринку²⁰. Результати оцінки наведені в таблиці 7.

Можна побачити, що дохід від реалізації вторинної сировини в разі досягнення глибини переробки 60...75% може скласти від 34 до 63 євро на тонну відходів.

Таблиця 7 – Потенційний дохід від реалізацій вторинної сировини

Вид сировини	Частка в ТПВ, %	Кількість, тис. т/рік	Вартість, Євро/т	Глибина переробки*, %	Потенційний дохід, Євро/т ТБО
Пластик	10 –15	1000 –1500	250	60	15,0 – 22,5
Папір і картон	5 –15	500 –1500	150	75	5,6 – 16,9
Скло	9 –14	900 –1400	50	75	3,4 – 5,3
ВСЬОГО		2400 – 4400			24,0 – 44,6

* Мета для України згідно з Національною стратегією з управління відходами в Україні до 2030 року

Виробництво та утилізація біогазу (МБО)

Біогазова продуктивність однієї тонни українських ТПВ становить 60...75 м³/т в перерахунку на метан (СН₄). Як консервативна оцінка може бути прийнята величина 60 м³ СН₄/т. Нижня теплотворна здатність метану становить приблизно 10 кВт·год/м³. Тому загальний потенціал вироблення електричної енергії на тонну змішаних ТПВ при електричному к.к.д. 40% становить

$$60 (\text{м}^3/\text{т}) \times 10 (\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3) \times 0,4 = 240 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$$

При величині зеленого тарифу 0,1239 євро/кВт·год потенційний дохід від продажу електроенергії складе 29,7 Євро/т на тонну змішаних ТПВ.

²⁰ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Recycling_-_secondary_material_price_indicator

Утилізація тепла з ефективністю 45% з використанням тарифу 1200 грн/Гкал (37,5 євро/Гкал) може принести ще $0,240 \text{ МВт}\cdot\text{год} \times 0,45 / 4 \times 0,86 \times 37,5 = 8,7$ Євро на тонну змішаних ТПВ.

Ще одним джерелом доходу для технологій МБО може бути виробництво компосту зі зброженої маси після отримання біогазу або взагалі без біогазової компоненти в проекті. Однак для виробництва товарного компосту з ТПВ необхідно принципове поліпшення системи роздільного збору відходів.

Потенційним джерелом доходу для технологій МБО може бути виробництво твердого палива з ТПВ (SRF) для подальшого застосування в цементній промисловості або спеціалізованих ТЕЦ/котельнях, що постачають тепло в комунальну систему ЦТ/ГВП, а також, якщо це ТЕЦ, електроенергію в мережі або на потреби комунального господарства.

В Україні існує інтерес до реалізації демонстраційних проектів з утилізації палива з ТПВ в цементній промисловості. Складність такого підходу зумовлена відсутністю в Україні відповідного законодавства та прецеденту і – як наслідок, наявною зараз невизначеністю умов передачі/продажу палива цементним заводам.

Використання RDF/SRF як палива на енергетичних підприємствах або цементних заводах пов'язано з необхідністю встановлення додаткового обладнання для очищення та контролю якості димових газів. Тому такі підприємства можуть як купувати паливо, так і брати плату за утилізацію RDF/SRF, вважаючи його відходами, а не паливом. Тобто RDF/SRF може мати як позитивну, так і негативну ринкову вартість.

Термічне оброблення ТПВ

У разі термічної утилізації ТПВ з теплотворною здатністю 8 МДж/кг на тонну змішаних ТПВ можна орієнтовно отримати 0,5 МВт·год електричної і до 1,2 Гкал теплової енергії.

При оптовому тарифі на електроенергію 2 грн/кВт·год і тарифі на тепло 1200 грн/Гкал дохід від продажу електроенергії може скласти 980 грн/т (30,6 євро/т) і від продажу тепла 1440 грн/т (45 Євро/т).

Потенційний дохід на тонну ТПВ для різних способів утилізації показаний на рис. 19. Мінімальні та максимальні значення у разі сортування відповідають мінімальному та максимальному вмісту відповідної фракції у вихідних ТПВ, у випадку виробництва та утилізації біогазу – виходу 60 та 75 кубічних метрів біометану на тонну ТПВ, у разі термічної утилізації нижньої теплотворної здатності ТПВ, що дорівнює відповідно 8 та 10 МДж/кг.

Легко побачити, що з точки зору формування доходу від реалізації матеріальних або енергетичних ресурсів найбільш цікавими є реалізація на вторинному ринку полімерів, виробництво електроенергії з біогазу з подальшим продажем за зеленим тарифом, а також реалізація електричної та/або теплової енергії, отриманих в процесі термічної утилізації ТПВ. Найбільший дохід може бути сформований за допомогою термічної утилізації, проте реалізація цих технологій пов'язана з найбільшими капітальними (CAPEX) та експлуатаційними витратами (OPEX).

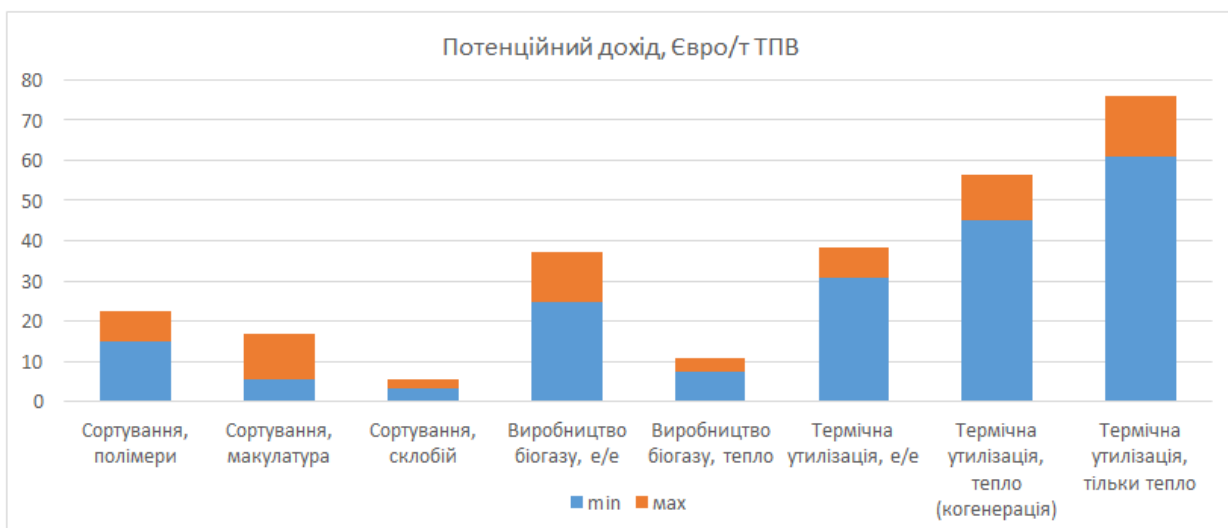


Рис. 19 – Потенційний дохід на тонну ТПВ

Капітальні та експлуатаційні витрати

Збирання біогазу на полігонах і звалищах ТПВ

Вхідними даними для оцінки необхідних інвестицій для будівництва системи збору біогазу із подальшим виробництвом електричної та/або теплової енергії за допомогою газових двигунів можуть слугувати: оцінка газоутворення і як наслідок, потенціал встановленої електричної потужності, а також площа полігону (площа збирання біогазу в випадку часткового використання полігону).

Капітальні витрати на будівництво системи збору та утилізації біогазу на звалищах і полігонах ТПВ залежать від фізичних умов на полігоні, що формуються в процесі його експлуатації. Питома вартість проекту, який передбачає виробництво електроенергії з біогазу, зазвичай становить від 1500 до 2500 євро/кВт встановленої електричної потужності. При цьому нижня величина характерна більше для керованих полігонів, верхня для стихійних звалищ. Для цього існують – як мінімум – дві причини. На стихійних звалищах вдається зібрати менше біогазу на одиницю накопичених відходів, крім того, будівництво системи збору біогазу на звалищах пов'язано з додатковими витратами через складну геометрію об'єкта захоронення та необхідністю формування верхньої поверхні звалища, що вкриває відходи.

Інвестор повинен усвідомлювати, що при відносно невеликих капітальних витратах проекти на стихійних звалищах пов'язані з підвищеним ризиком через невизначеність вихідних умов і неможливість надійно передбачити кількість біогазу. Період окупності проекту буде залежати від кількості біогазу, що утворюється, й ефективності його збору. При існуючому тарифі на продаж електроенергії і досягнутої ефективності збору біогазу 50% проекти можуть окупатися за 2...3 роки, при можливій ефективності збору 20% – за 6...8 років і більше.

Механіко-біологічне оброблення ТПВ

Капітальні витрати на реалізацію технологій МБО залежать від великої кількості факторів і з цієї причини не можуть бути оцінені однозначно. Питомі капітальні витрати будуть відрізнятися в залежності від:

1. обраних пріоритетів переробки, серед яких може бути виробництво RDF/SRF, відбір ресурсоцінних компонентів, виробництво біогазу з подальшим енергетичним використанням, виробництво компосту або компостоподібного продукту);
2. морфології ТПВ на вході (ТПВ після роздільного збору або змішані ТПВ);
3. наявності і типу сортування (ручна, автоматична);
4. потужності переробки (ефект масштабу).

Оскільки зробити надійну оцінку капітальних і експлуатаційних витрат без прив'язки до умов конкретного проекту неможливо, наведені нижче оцінки є індикативними, тому їх слід розглядати як орієнтир.

Вартість заводу МБО в залежності від проектної потужності показана на рис. 20 за даними двох авторів, що були опубліковані в 2000 і 2006 роках. Легко бачити, що в діапазоні потужності переробки 50...150 тис. тонн на рік вартість заводу МБО може становити від 10 до 25 млн доларів США. При цьому витрати на реалізацію проектів однакової потужності можуть відрізнятись в два і більше разів, що, мабуть, пов'язано з різницею технологічних рішень.

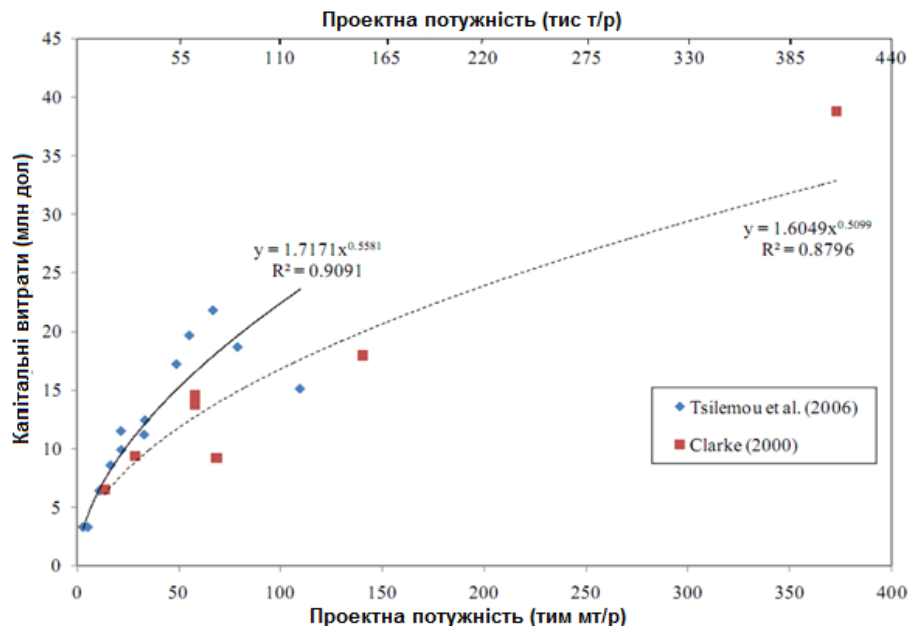


Рис. 20 – Орієнтовна вартість заводу МБО

За даними данської компанії Ramboll²¹ вартість проектів МБО потужністю від 85 до 200 тис. т/рік, що були реалізовані в Німеччині та Великобританії з 2001 по 2012 роки, перебувала в діапазоні від 20 до 75 млн євро (в одному випадку 156 млн євро), при цьому в середньому капітальні витрати складали близько 250 євро на тону ТПВ, що перероблені протягом року.

Проведений авторами аналіз проектів МБО, які були авансовані у світі за період 2017–2018 років, показав схожу картину. Типові питомі витрати на реалізацію проектів у діапазоні потужності 100...200 тис. т/рік становлять від 150 до 400 Євро/т ТПВ в таких країнах як Франція, Іспанія, США, Австралія. Існують повідомлення про плани реалізації подібних

²¹ Підтримка інвестицій у систему сталого управління твердими побутовими відходами та їх переробки в Україні. Технологічний семінар – технології перероблення та механіко-біологічного оброблення. – Ramboll – 20 березня 2018 року.

проектів у країнах, що розвиваються, наприклад, Індії та Непалі. У цьому випадку заплановані витрати істотно нижче та знаходяться в діапазоні від 50 до 100 Євро/т ТПВ. Проте слід пам'ятати, що в даному випадку мова йде про запланові витрати на нереалізовані проекти.

Цікавим є порівняти витрати, що анонсуються, для проектів в Україні. Відповідні дані наведені в таблиці 8 для чотирьох майбутніх українських проектів у Львові, Полтаві, Хмельницькому та Житомирі. Незважаючи на те, що наведені дані мають оціночний характер, оскільки всі розглянуті проекти ще не реалізовані, можна побачити, що запланована вартість проектів, що розвиваються в Україні, знаходиться в діапазоні від 120 до 250 Євро/т ТПВ в рік.

Таблиця 8 – Анонсовані проекти МБО в Україні

Проект	Потужність, тис. т/рік	Кап. витрати, млн Євро	Питомі витрати, Євро/(т/рік)	Статус проекту (Станом на січень 2019)
Львів	240	35*	146	Вибір постачальника технології, тендерні процедури
Полтавський субрегіон	130	18–21**	140–160	Стадія планування, розробка концепції
Хмельницький	80	20***	250	Оцінка технічних рішень, вибір постачальника технології
Житомир	82	10****	122	Проект анонсований в середині 2018 року

* – кредит ЄБРР (включає рекультивацию закритого полігону ТПВ)

** – оцінка НТЦ Біомаса (нижня межа – виробництво RDF/SRF, верхня межа – виробництво електроенергії з біогазу)

*** – оцінка GIZ (варіант виробництва електроенергії з біогазу)

**** – виробництво RDF/SRF і компосту з органічної фракції ТПВ

Експлуатаційні витрати (ОРЕХ) на технології МБО пов'язані в першу чергу зі споживанням електроенергії, витратами на ремонт і технічне обслуговування, оплатою персоналу, а також платою за захоронення залишків після переробки (так званих хвостів). Величина щорічних експлуатаційних витрат для МБО зазвичай становить від 8 до 12% капітальних витрат.

Кінцева собівартість переробки тонни ТПВ визначається капітальними та експлуатаційними витратами, а також умовами фінансування проекту. Якщо питомі капітальні витрати на проект складають 150 євро/т ТПВ, що переробляються за рік, собівартість переробки ТПВ складає 30...40 євро/т в залежності від умов і частки залученого банківського капіталу. Тут під собівартістю ми розуміємо умовний дохід на тонну ТПВ, необхідний для того, щоб чиста приведена вартість проекту (NPV) тривалістю 20 років дорівнювала нулю.

У разі більш дорогого проекту вартістю 300 Євро/т собівартість переробки ТПВ може скласти 60...80 євро/т, а у випадку залучення українських комерційних банків на існуючих сьогодні умовах кредитування до 100 євро/т. Якщо в першому варіанті (CAPEX= 150 євро/т) існує потенційна можливість покриття основних витрат на проект за рахунок продажу електроенергії з біогазу за зеленим тарифом, а в певних випадках і продажу тепла, то в іншому варіанті (CAPEX= 300 євро/т) виникає необхідність істотного підвищення тарифу на переробку ТПВ.

У цих міркуваннях не враховувалися гіпотетичні можливості залучення цільового безповоротного фінансування та використання бюджетних коштів, наприклад, засобів екологічних фондів або фондів розвитку.

Термічне оброблення ТПВ

Капітальні витрати на будівництво сміттєспалювального заводу залежать від технологічного рішення, вихідних властивостей ТПВ, виду виробленої енергії, глибини очищення димових газів. Залежність питомих інвестицій від потужності сміттєспалювального заводу показана на рисунку 21 за даними Світового Банку²². Автори вказують, що криві були актуальні в середині 1998 року для ССЗ із середнім рівнем газової очистки, що виробляють електроенергію, призначених для спалювання відходів з нижньої теплотворною здатністю 6...9 МДж/кг.

Незважаючи на те, що дані дещо застаріли, на рисунку наочно представлені залежність капітальних витрат від потужності заводу, а також поділ капітальних витрат на обладнання та будівельні роботи. Можна побачити, що загальна вартість заводу термічного оброблення змішаних відходів у 2000 році становила 60 млн USD при потужності заводу 100 тис. т/рік і 200 млн USD при потужності 500 тис. т/рік. Таким чином, питомі інвестиції становили 600 USD/т у першому випадку та 400 USD/т для більш масштабних проектів потужністю 500 тис. т/рік.

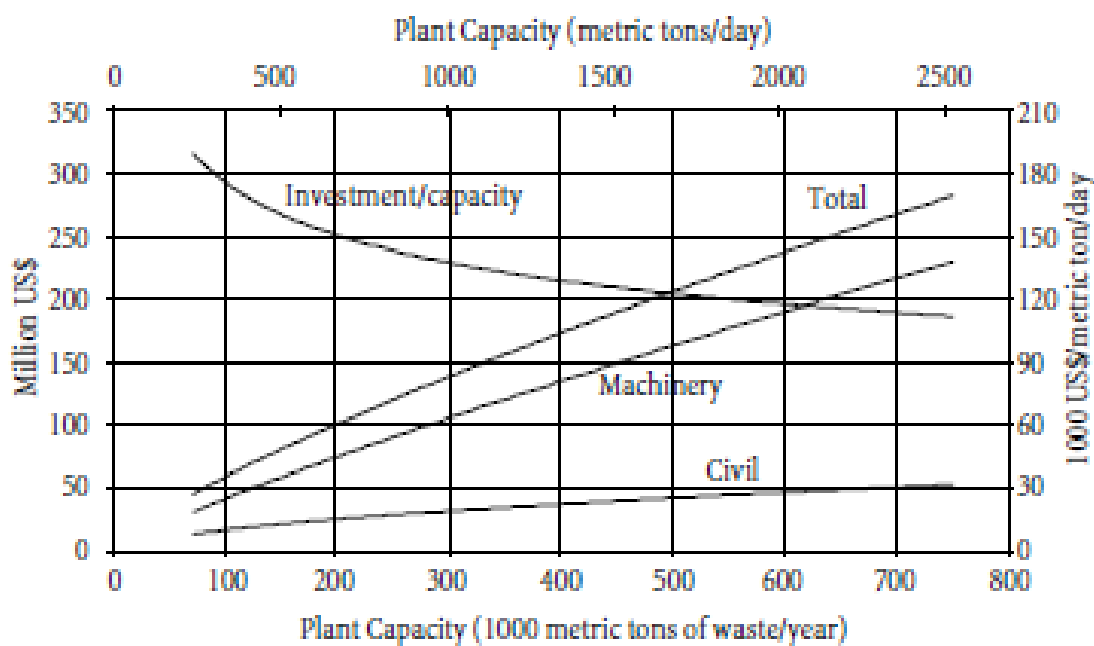


Рис. 21 – Економіка ССЗ (CAPEX)

Джерело: Світовий Банк

Подібну картину можна побачити і для більш сучасних проектів. На рисунку 22 зібрані дані стосовно капітальних витрат для проектів ССЗ, більша частина з яких була реалізована з 2000 по 2005 роки в таких країнах, як Данія, Норвегія, Німеччина і Китай²³.

²² WORLD BANK, 2000

²³ WTE Guidebook, EEC/IDB, July 201

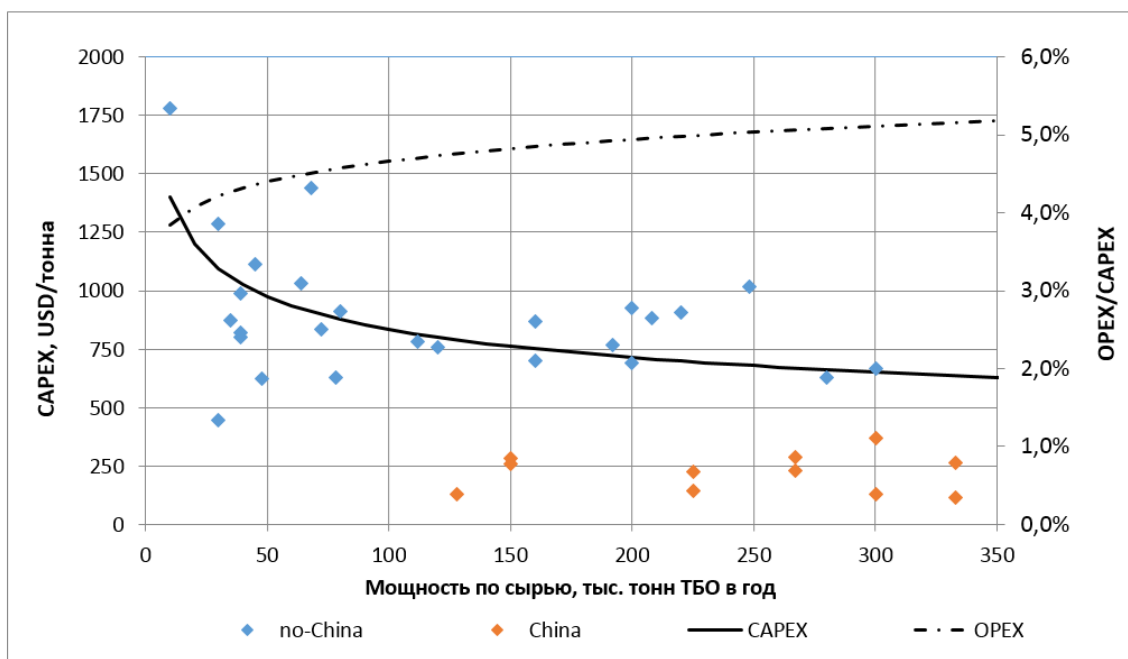


Рис. 22 – Питомі витрати реалізованих проектів ССЗ
 Джерело: WTE Guidebook, EEC/IDB, July 2013

На малюнку різними кольорами виділені проекти, що були реалізовані в Китаї і за його межами. Легко побачити, що питомі вартості китайських проектів значно нижчі за європейські. Витрати на підприємства, побудовані за межами Китаю, склали в середньому 800 USD/т, при цьому розкид вартостей був значним, особливо для відносно невеликих проектів (<100 тис. т/рік). Для невеликих європейських підприємств питома вартість перевищує 1000 USD/т і може доходити до 1800 USD/т. Витрати китайських проектів знаходяться в межах 150...400 USD/т при середньому значенні 200 USD/т і не демонструють ефект масштабу в діапазоні потужності переробки 100...350 тис. т/рік.

На цьому ж рисунку показані капітальні та експлуатаційні витрати, пораховані у вигляді функцій $CAPEX = 2.3507 \times X^{0,7753}$ та $OPEX = 0.0744 \times X^{0,8594}$, що були запропоновані авторами роботи²⁴, де X – потужність проекту по сировині в тис. т/рік. Видно, що запропонована залежність для капітальних витрат адекватно описує середню вартість проектів за межами Китаю.

В Україні доцільно було б будувати ССЗ з потужністю оброблення від 100 тис. тонн ТПВ на рік в обласних центрах з населенням 250...500 тис. мешканців до 300 тис. тонн в містах з мільйонним населенням. У Києві потенційно можна побудувати завод на 500 тисяч тонн ТПВ. Використовуючи наведені вище залежності можна зрозуміти, що вартість МСЗ може скласти від 75 мільйонів євро для потужності оброблення 100 тис. т/рік до 265 млн євро для 500 тис. т/рік (табл. 9). При таких параметрах собівартість оброблення однієї тонни ТПВ складе до 100 євро/т для великого проекту (500 тис. т/рік) і до 150 євро/т для «маленького» проекту (100 тис. т/рік).

²⁴ Farzad Bazdidi Tehrani, Ehsan Haghi. Techno-economic assessment of municipal solid waste incineration plant – case study of Tehran, Iran. Sharif University of Technology. – 2015.

Таблиця 9 – Основні параметри ССЗ

Показник	I	II	III
Потужність по ТПВ, т ТПВ/рік	100 000	200 000	500 000
Інвестиції, млн євро	75	130	265
Експлуатація, млн євро/рік	3,5	6,5	14
Собівартість оброблення ТПВ, євро/т	130...150	110...130	90...100
Електрична потужність, МВт	5,6	11,2	28
Виробництво е/е, МВт·год/рік	42 000	84 000	210 000
Виробництво е/е, кВт·год/рік/т	0,42		

Джерелами доходу для заводів термічного оброблення ТПВ може бути продаж електроенергії, тепла/пари, та металобрухту. Дохід від продажу металобрухту не перевищує кількох євро за тону відходів. Електричну потужність можна оцінити з розрахунку, що нижня теплота згоряння ТПВ складає 8 МДж/кг, а електричний к.к.д. енергоустановки – 22%. Легко бачити, що питома вартість МСЗ в перерахунку на встановлену електричну потужність дуже висока. Вона становить від 10 до 15 тис. євро на один кВт встановленої електричної потужності. Це природно, оскільки ССЗ не є спеціалізованим енергетичним підприємством, його основна функція – оброблення відходів.

Вище ми оцінили, що продаж електроенергії і тепла при існуючих тарифах може приносити від 30 до 70 євро на тону перероблених ТПВ.

Інша частина доходу підприємства може формуватися за рахунок плати (тарифу) за оброблення відходів. Якщо прийняти, що межею прийнятності для сучасної України є тариф на оброблення 30 євро/т, то для великого МСЗ дохід від продажу енергії має становити принаймні 60...70 євро/т. Вище ми показали, що при певних умовах це можливо в разі спільного виробництва і продажу тепла та електроенергії або відмови від виробництва е/е на користь виробництва та реалізації виключно тепла.

Однак в цілому можна зробити висновок, що європейські підходи та рівень витрат на термічну утилізацію ТПВ є занадто дорогими для сучасної України. Наша країна поки ще потребує більш економічних технологічних рішень.

Критерії вибору технологій оброблення ТПВ

Вибір технології переробки відходів повинен бути частиною розробки регіонального плану поводження з ТПВ. Одним із перших пріоритетів плану є визначення розташування регіонального полігону для захоронення ТПВ з використанням принципів міжрегіонального співробітництва. Підприємства з переробки відходів в більшості випадків будуть територіально прив'язані до регіонального полігону. Вибір конкретної технології переробки залежить від багатьох факторів, частина з яких розглянута нижче (табл. 10). Одним з визначальних факторів на даний момент є собівартість переробки тонни ТПВ.

Вибір енергетичної утилізації зазвичай визначається такими міркуваннями:

1. бажанням збільшити глибину переробки відходів, особливо в разі термічних методів переробки для того, щоб мінімізувати захоронення;
2. можливістю отримання власного джерела енергії, що заміщує викопні види палива, такі як природний газ або вугілля;
3. можливістю отримання додаткового доходу за рахунок продажу електроенергії та тепла, а в деяких випадках і RDF/SRF;

Необхідно відзначити, що отримання додаткового доходу за рахунок продажу електроенергії та тепла, що отримані з ТПВ, в більшості випадків не означає досягнення привабливих для інвестора економічних параметрів проекту. У більшості випадків для реалізації проектів необхідно істотне підвищення тарифу на переробку відходів, особливо суттєве для термічних методів оброблення. Винятком з цього правила є проекти на збору та утилізації біогазу в місцях захоронення відходів.

З технологічної точки зору найбільш простими є проекти збору та утилізації біогазу, далі за ускладненням йдуть ручні та автоматичні сортувальні лінії, кондиціонування ТПВ, аеробні та анаеробні методи переробки, термічна утилізація підготовлених (RDF/SRF) і змішаних ТПВ.

Зі збільшенням складності технології зростають питомі капітальні витрати. При наявному рівні економіки України можуть розвиватися тільки відносно прості проекти, в більшості випадків вибір технології буде визначатися принципом «розумної достатності». Відповідно до цього принципу вже реалізуються проекти збору та утилізації біогазу на полігонах і звалищах, використання сортувальних ліній, плануються перші проекти МБО потужністю не менше ніж 80 т/рік. Останній обставині допомагає те, що законодавство України передбачає використання стимулюючого «зеленого» тарифу на електроенергію з біогазу, зібраного на полігонах або отриманого в результаті МБО.

Для реалізації термічних проектів з використанням обладнання європейських постачальників економічні умови в Україні поки що відсутні. Подібні проекти можуть бути реалізовані тільки в разі істотного зниження капітальних витрат без втрати якості очистки димових газів. Винятком є спалювання RDF/SRF цементними заводами.

Тверде паливо з ТПВ може бути використано в спеціалізованих ТЕЦ/котельнях, що постачають тепло в систему ЦТ/ГВП, а також – якщо це ТЕЦ – електроенергію в мережі або на потреби комунального господарства. Реалізація такого проекту можлива в двох варіантах – ТЕЦ з турбіною, що працює в теплофікаційному і конденсаційних режимах і котельні (без турбіни). Перший варіант (ТЕЦ) забезпечує постійне навантаження по

сировині, влітку надлишок тепла може утилізуватися на градирнях (до 30% енергії палива). Другий варіант (котельня) дозволяє знизити капітальні витрати, збільшити ефективність використання палива, але не забезпечує постійне навантаження по сировині протягом року. Влітку залишок палива необхідно накопичувати і використовувати в осінньо-зимовий період. Для проектів термической утилизации принципове значення має близькість виробничих потужностей до теплових мереж.

Використання стимулюючого «зеленого» тарифу на електроенергію, отриману в результаті термічного оброблення, не передбачено. Більш того, гіпотетичне використання тарифу на електроенергію на рівні існуючого тарифу для біомаси та біогазу не створює необхідних фінансових потоків для підвищення економічної привабливості проектів термічного оброблення до необхідного інвестору рівня. При питомих витратах на спалювання ТПВ 100...150 євро/т потенційний прибуток від продажу електроенергії за «зеленим» тарифом складає 60 євро/т для ТПВ з нижньої теплотворної здатністю ТПВ 8,0 МДж/кг і 75 євро/т для випадку 10 МДж/кг.

При спалюванні ТПВ електричний к.к.д. досить низький, в когенераційних схемах більшу кількість енергії з ТПВ може бути отримано у вигляді тепла. Тому основний дохід може бути пов'язаний з продажем тепла, а не електроенергії. Наприклад, в ЄС сміттєспалювання особливо розвинене в країнах, які практикують централізоване тепlopостачання (Данія, Швеція). Незважаючи на те, що в Україні спостерігаються негативні тенденції розвитку ЦТ, потенціал використання тепла з ТПВ в системах ЦТ/ГВП досить великий.

При відсутності ТЕЦ / котельнь для виробництва RDF/SRF велике значення має відстань до найближчого цементного заводу, який зацікавлений у використанні альтернативного палива і має повний цикл випалу клінкеру.

Ризики проектів пов'язані із залежністю від поставок відходів/сировини, залежністю від споживача енергії, необхідністю виділення додаткової землі в безпосередній близькості від систем ЦТ, а також недостатнім споживанням тепла в літній час. Зниження ризиків може бути досягнуто за рахунок збільшення кількості сировини і гарантій на його поставку, визначення умов передачі / продажу палива цементним заводам, створення умов для повного використання тепла. У таблиці 10 проведено порівняльний аналіз варіантів енергетичного використання ТПВ.

Таблиця 10 – Порівняльний аналіз варіантів енергетичного використання ТПВ

Тип проекту	Збір біогазу на полігоні ТПВ	МБО з виробництвом біогазу	Виробництво палива з ТПВ (SRF)	Виробництво RDF/SRF з енергетичним використанням	Спалювання ТПВ з отриманням енергії
Склад обладнання	Система збору БГ + КГУ на полігоні	Сортування + БГУ + КГУ	Біологічна стабілізація + сортування + кондиціонування	Виробництво SRF + ТЕЦ / спеціалізовані котельні на твердому паливі	Сміттєспалювальний завод (змішане ТПВ)
Виробництво е/е	Зелений тариф на е/е з біогазу	Зелений тариф на е/е з біогазу	Ні	Відсутність зеленого тарифу	
Виробництво тепла	Відсутність споживача в радіусі 3 км	Відсутність споживача, 30% тепла на	Ні	Система ЦТ/ГВП, мале споживання тепла в літній час	

Тип проекту	Збір біогазу на полігоні ТПВ	МБО з виробництвом біогазу	Виробництво палива з ТПВ (SRF)	Виробництво RDF/SRF з енергетичним використанням	Спалювання ТПВ з отриманням енергії
		підтримку процесу			
Логістика	Виробництво е/е з біогазу на місці його утворення	Виробництво е/е з біогазу як складова частина оброблення ТПВ	Виробництво та доставка SRF на найближчий цементний завод (до 200 км)	Мінімізація відстані до мереж ЦТ / ГБП, транспортування, зберігання влітку (варіант без ТЕЦ)	
Необхідність захоронення після оброблення	100%	30 –35% (+ зброджена маса)	20 –25%	25 –30%	20 –25%
Ризики	Мала ефективність збору біогазу	Кількість і склад сировини для отримання біогазу	Залежність від споживача палива (SRF)	Необхідність виділення земельної ділянки поруч з мережею ЦТ, недостатнє споживання тепла в літній час	
Можливості зниження ризиків	Рекультивация, створення споживача тепла поблизу полігону	Розширення сировинної бази (об'єднання регіонів)	Визначення умов передачі / продажу SRF цементним заводам	Об'єднання теплових мереж в єдиний кластер, наявність промислового споживача тепла, відмова від виробництва е/е на користь тепла	
Економіка	Економ – варіант	Середні витрати	Середні витрати	Дорого	Дуже дорого
CAPEX	1,5...2,5 євро/МВт _е	200...400 євро/(т/рік)	150...300 євро/(т/рік)	300...500 євро/(т/рік)	500...1000 євро/(т/рік)
Переваги	Простота, дешевизна	Задовільні економічні показники проекту	Заміщення викопного палива в цементній промисловості	Заміщення природного газу, диверсифікація джерел палива	
Недоліки	Короткий термін життя проекту, обмежений вплив на поведінку з ТПВ	Залежність від сировинної бази, відсутність об'єктивних даних про склад ТПВ	Велике плече доставки палива (цементна промисловість, залежність від споживача палива)	Необхідність додаткової земельної ділянки, незадовільні економічні показники, необхідність істотного підвищення тарифу/податку на оброблення ТПВ	

Висновки та рекомендації

Нова українська стратегія управління відходами до 2030 року передбачає перехід від видалення відходів на звалища та полігони до системи комплексного поводження з ТПВ. На практиці це означає досягнення у 2030 році показника перероблення 50% побутових відходів від загального обсягу їх утворення, введення в експлуатацію додаткових сміттесортувальних ліній та сміттєпереробних заводів, створення в рамках пілотних проектів об'єктів з виробництва палива з побутових відходів (SRF) на базі об'єктів механіко-біологічного оброблення за умови їхнього наближеного розташування до цементних заводів, запровадження в Україні низки пілотних проектів з біологічної стабілізації змішаних побутових відходів.

Доцільність енергетичної утилізації може визначатись зменшенням кількості відходів, що відправляються на захоронення, та збільшенням терміну експлуатації нових регіональних полігонів. Досвід розвинених країн показує, що роздільний збір і повторне використання розвиваються одночасно з енергетичним використанням ТПВ, конкуруючи певною мірою за сировину, але не суперечачи одне одному.

З технологічної точки зору найбільш простими є проекти збору та утилізації біогазу, далі за ускладненням йдуть ручні та автоматичні сортувальні лінії, кондиціонування ТПВ, аеробні та анаеробні методи, термічна утилізація підготовлених (RDF/SRF) і змішаних ТПВ. Зі збільшенням складності технології зростають питомі капітальні витрати на їх реалізацію.

Впровадження будь-яких методів переробки вимагає консолідації системи поводження з твердими побутовими відходами на регіональному рівні з потенціалом принаймні 100 тис. т ТПВ в рік або більше. Для такого проекту задовільні економічні показники демонструє механічно-біологічне оброблення ТПВ з отриманням біогазу та подальшими виробництвом і продажом електроенергії за зеленим тарифом.

Іншою перспективою є виробництво твердого палива з ТПВ (SRF) для подальшого застосування в цементній промисловості. Складність такого підходу обумовлена відсутністю в Україні відповідного законодавства і, як наслідок, наявною зараз невизначеністю умов передачі / продажу палива цементним заводам.

При наявному рівні економіки в Україні можуть розвиватися тільки відносно прості проекти переробки, вибір може визначатися принципом «розумної достатності». Відповідно до цього принципу вже реалізуються проекти збору та утилізації біогазу, використання ручних сортувальних ліній, плануються проекти МБО за умови концентрації ресурсів понад 100 тис. т/рік.

Спалювання ТПВ залишається найдорожчим методом його утилізації. Для реалізації в Україні термічних проектів з використанням обладнання європейських постачальників економічні умови поки відсутні. **Такі проекти можуть бути реалізовані тільки в разі істотного зниження капітальних витрат без втрати якості газоочистки або підвищення тарифу на переробку ТПВ.**

Можливі варіанти зниження вартості термічної утилізації:

1. Відмова від будівництва МСЗ для спалювання змішаних відходів на користь виробництва RDF/SRF для цементних заводів і спеціалізованих твердопаливних котельнь/ТЕЦ.

2. Орієнтація на системи ЦТ великих міст, відмова від виробництва електроенергії на користь тепла, відповідна економія на обладнанні, що виробляє електроенергію (відсутність паротурбінної групи).
3. Зниження капітальних витрат за рахунок максимального використання потенціалу місцевих виробників обладнання.

Наявний тариф на поводження з ТПВ покриває переважно витрати на перевезення відходів до місць захоронення, проте саме захоронення оплачується за залишковим принципом. Вартість будівництва майбутніх об'єктів поводження з ТПВ, як регіональних керованих полігонів, так і сміттєпереробних комплексів, істотно перевищує наявний обсяг сплачених послуг в сфері поводження з ТПВ. Тому в Україні назріла необхідність використання тарифів на переробку та захоронення, які б забезпечували експлуатацію на необхідному техніко-екологічному рівні і включали б певну складову для реалізації інвестиційних проектів.

Умовні позначення

ГВП	–	гаряче водопостачання
ДАЕЕ	–	Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України
ДВЗ	–	двигун внутрішнього згорання
ЄБРР	–	Європейський банк реконструкції та розвитку
КВВП	–	коефіцієнт використання встановленої потужності
КГУ	–	когенераційна установка
КМУ	–	Кабінет міністрів України
КП	–	комунальне підприємство
МБО	–	механіко –біологічне оброблення
НКРЕКП	–	Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг
НТЦ	–	науково –технічний центр
ОЕСР	–	Організація економічного співробітництва і розвитку
ОМС	–	органи місцевого самоврядування
ПДВ	–	податок на додану вартість.
СПЗ	–	сміттєпереробний завод
ССЗ	–	сміттєспалювальний завод
ТЕЦ	–	теплоелектроцентраль
ТПВ	–	тверді побутові відходи
ЦТ	–	централізоване теплопостачання
CAPEX	–	капітальні витрати
EUR	–	Євро
GIZ	–	Німецьке товариство міжнародного співробітництва
OPEX	–	Операційні витрати
RDF	–	Refuse Derived Fuel
SRF	–	Solid Recovered Fuel
USD	–	Доларі США

Попередні публікації БАУ

<http://www.uabio.org/ua/activity/uabio-analytics>

1. Аналітична записка БАУ №1 (2012) «Місце біоенергетики в проекті оновленої Енергетичної стратегії України до 2030 року».
2. Аналітична записка БАУ № 2 (2013) «Аналіз Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» № 5485 –VI від 20.11.2012».
3. Аналітична записка БАУ № 3 (2013) «Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні».
4. Аналітична записка БАУ № 4 (2013) «Перспективи розвитку виробництва та використання біогазу в Україні».
5. Аналітична записка БАУ № 5 (2013) «Перспективи виробництва електричної енергії з біомаси в Україні».
6. Аналітична записка БАУ № 6 (2013) «Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні».

7. Аналітична записка БАУ № 7 (2014). «Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні».
8. Аналітична записка БАУ № 8 (2014). «Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси».
9. Аналітична записка БАУ № 9 (2014). «Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні».
10. Аналітична записка БАУ № 10 (2014). «Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні».
11. Аналітична записка БАУ № 11 (2014) «Перспективи виробництва та використання біометану в Україні».
12. Аналітична записка БАУ № 12 (2015) «Перспективи розвитку біоенергетики як інструменту заміщення природного газу в Україні».
13. Аналітична записка БАУ № 13 (2015) «Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлюваних джерел енергії».
14. Аналітична записка БАУ № 14 (2016) «Аналіз тарифоутворення у секторі централізованого теплопостачання країн Європейського Союзу».
15. Аналітична записка БАУ № 15 (2016) «Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні».
16. Аналітична записка БАУ № 16 (2016) «Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні».
17. Аналітична записка БАУ № 17 (2016) «Аналіз критеріїв сталого розвитку біоенергетики»
18. Аналітична записка БАУ № 18 (2017) «Створення конкурентного ринку біопалив в Україні».
19. Аналітична записка БАУ № 19 (2018) «Можливості заготівлі деревного палива в лісах України»
20. Аналітична записка БАУ № 20 (2018) «Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні»
21. Аналітична записка БАУ № 21 (2019) Аналіз бар'єрів для виробництва енергії з агробіомаси в Україні

Громадська спілка «Біоенергетична асоціація України» (БАУ) була заснована з метою створення спільної платформи для співпраці на ринку біоенергетики України, забезпечення найбільш сприятливих умов ведення бізнесу, прискореного та сталого розвитку біоенергетики. Загальні установчі збори БАУ було проведено 25 вересня 2012 року в м. Київ. Асоціація офіційно зареєстрована 8 квітня 2013 року. Членами БАУ стали понад 10 провідних компаній та понад 20 визнаних експертів, що працюють в галузі біоенергетики.

www.uabio.org

