

Supported by:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



UKRAINIAN CENTRE
FOR EUROPEAN
POLICY



based on a decision of the German Bundestag

ЮРІЙ МАТВЄЄВ

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ТПВ ТА ПРОЕКТІВ ЗБОРУ БІОГАЗУ НА ПОЛІГОНАХ ТПВ НА ПРИКЛАДІ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ВІДХОДАМИ В ПОЛТАВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Supported by:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety



based on a decision of the German Bundestag

Аналітична робота

Аналіз можливості впровадження біологічного оброблення ТПВ та проектів збору біогазу на полігонах ТПВ на прикладі існуючих варіантів систем керування відходами в Полтавській області

Юрій Матвеев

Інститут технічної теплофізики НАН України, пров. наук. співр., к.ф.м.н.

Біоенергетична Асоціація України, член експертної ради

Літературна корекція: Юрій Уманський

Дизайн та верстка: Ольга Максютя

© 2021, ГО «УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПОЛІТИКИ»

Документ створено в межах ініціативи «Впровадження європейських практик в управлінні ТПВ», що виконує ГО «Український центр європейської політики» у партнерстві з ГО «Центр громадських та медійних ініціатив» в рамках Глобального проекту «Підтримка ініціативи з експорту технологій захисту довкілля», що впроваджується німецькою федеральною компанією Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH на замовлення Уряду Німеччини.

Інформація та точки зору, висловлені в документі, належать лише авторам та не обов'язково відповідають точці зору Уряду Німеччини, німецької федеральної компанії Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

ЗМІСТ

ВСТУП	2
ВИДИ БІОЛОГІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ТПВ	3
Компостування відходів зелених насаджень і харчових відходів	4
Біологічна стабілізація змішаних побутових відходів	4
Механіко-біологічне оброблення (МБО) відходів, що здатні до біологічного розкладання, з виробництвом біогазу	5
Механіко-біологічне оброблення (МБО) відходів з виробництвом альтернативного палива	6
Збір та утилізація біогазу на існуючих полігонах ТПВ	8
РОЗВИТОК БІОЛОГІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ В УКРАЇНІ	9
РЕГІОНАЛЬНИЙ ПЛАН УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ У ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	10
Кластерна структура керування відходами	11
Припущення до обсягу та складу ТПВ	12
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	15
Тариф на поводження з ТПВ	16
МБО з виробництвом біогазу	17
Виробництво альтернативного палива	22
Компостування	25
Збір і утилізація біогазу на існуючих полігонах	28
ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ	30

ВСТУП

Національна стратегія управління відходами до 2030 року була ухвалена Кабінетом міністрів України в 2017 році. Проект Національного плану управління відходами подано до Кабінету Міністрів України та затверджено в лютому 2019 року. Нині з величезними труднощами розробляється новий проект закону про відходи для впровадження вимог Рамкової Директиви ЄС 2008/98/ЄС про відходи, а також Директиви 1999/31/ЄС про полігони відходів та Директиви 2010/75/ЄС про промислове забруднення

Стратегія передбачає перехід від видалення відходів на звалища та полігони до системи комплексного поводження з відходами. До спеціальних заходів Стратегії у сфері твердих побутових відходів (ТПВ) належить зростання рівня їхнього перероблення, а саме введення в експлуатацію сміттєпереробних заводів, створення у межах пілотних проектів об'єктів з виробництва біогазу або палива з побутових відходів на базі об'єктів механіко-біологічного оброблення, запровадження низки пілотних проектів з біологічної стабілізації змішаних побутових відходів.

Вибір технології перероблення відходів має бути частиною розроблення регіональних планів управління відходами. Одним із перших пріоритетів планів є будівництво регіональних санітарних полігонів для видалення ТПВ, що створені з використанням принципів співробітництва територіальних громад. Підприємства з перероблення відходів у більшості випадків мають бути територіально прив'язані до регіональних полігонів. Вибір конкретної технології перероблення ТПВ залежить від багатьох факторів, наразі одним із визначальних чинників в Україні є собівартість перероблення.

Через відносно високі капітальні й експлуатаційні витрати полігонів, що відповідають 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 об'єднувати територію, на якій проживає принаймні 400 тис. мешканців.

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

- закриття існуючих полігонів та звалищ, що означає також необхідність пошуку місць для нових полігонів і заводів з перероблення відходів;
- підготовлення можливих та придатних для інвестування проектів;
- гармонізацію спільних зусиль державного та приватного інвестиційних секторів;
- комунікацію з громадськістю щодо необхідності підвищення тарифів на керування побутовими відходами до економічно обґрунтованого рівня.

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 їхнього утворення шляхом збільшення охоплення населення України роздільним збиранням побутових відходів до 48% від загальної чисельності населення у 2030 році та введення в експлуатацію додаткових сортувальних ліній та переробних заводів.
- Створення у межах пілотних проектів об'єктів з виробництва палива з побутових відходів (RDF / SRF¹) 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.

¹ RDF – Refuse Derived Fuel – паливо з відходів, SRF – Solid Recovered Fuel – відновлене з відходів тверде паливо

ВИДИ БІОЛОГІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ТПВ

Біологічне оброблення ТПВ охоплює принаймні компостування відходів зелених насаджень і харчових відходів, біологічну стабілізацію змішаних побутових відходів, механіко-біологічне оброблення (МБО) відходів, що здатні до біологічного розкладання з виробництвом біогазу або альтернативного палива.

Відходи зелених насаджень та харчові відходи можуть перероблятися аеробними (компостування в присутності кисню) методами. В результаті компостування в валках, критих траншеях або у спеціальних ємностях виробляється компост, який може потенційно використовуватися в садових і паркових господарствах, а також для ландшафтного будівництва.

У разі компостування змішаних відходів мова може йти про біологічну стабілізацію. В результаті можна отримати компостоподібний продукт, який потрібно вивозити на полігони. Стабілізація змішаних ТПВ дозволяє мінімізувати масу відходів і таким чином збільшити термін експлуатації полігону, а також знизити шкідливі емісії в атмосферу.

Біологічне оброблення ТПВ зазвичай супроводжується механічним обробленням. Механіко-біологічне оброблення (МБО) є загальним поняттям для всіх концепцій, які передбачають оброблення відходів комбінацією механічних і біологічних методів. Основними відмінностями різних концепцій є послідовність стадій процесу і мета біологічної стадії оброблення. Технологічний ланцюжок орієнтується або на концепцію розподілу, або на ідею стабілізації.

У першому варіанті спочатку проводиться механічне розділення загального потоку вхідних матеріалів на придатні до різних видів утилізації (відновлення), наприклад для виробництва енергії або подальшого біологічного оброблення. Для біологічного оброблення можуть застосовуватися методи зброджування або компостування, а також комбінації окремих елементів обох методів. При застосуванні методу анаеробного зброджування основна увага надається 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 біологічному обробленню у повному обсязі. Мета полягає в біологічному, конвективному або дифузійному сушінні і максимальній гігієнізації відходів перед подальшим механічним відокремленням негорючих складових частин. Матеріал, що залишається, може використовуватися як RDF-паливо для виробництва енергії на відповідному устатковані для спалювання.

Окремо слід розглядати збір і утилізацію (відновлення) біогазу на існуючих полігонах ТПВ. Біогаз в цьому випадку є результатом біологічних процесів розкладання ТПВ, які відбуваються в надрах полігонів у природних і практично некерованих умовах.

КОМПОСТУВАННЯ ВІДХОДІВ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ І ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ

Термін «компостування» означає біологічне розкладання відходів у контрольованих аеробних умовах. Відходи розкладаються на CO₂, воду та власне компост. Зараз багато як розвинених, так і країн, що розвиваються, застосовують практику компостування змішаних відходів або їхньої біорозкладної складової (кухонні або ресторани відходи, садово-паркові, осад стічних вод). Цей метод найкраще підходить для органічних відходів, які відокремлюються/ відсортовуються ще на стадії їхнього утворення.

Процес компостування у простому випадку включатиме такі послідовні дії:

- механічне подрібнення органічних відходів;
- переміщення подрібнених відходів у довгі ряди (валки) з використанням завантажувачів;
- періодичне перемішування валків задля підвищення пористості та вмісту кисню, змішування або видалення вологи та перерозподілу більш холодних і гарячих частин;
- механічне видалення валків із зниженою температурою, відправлення отриманого компосту на «дозрівання».

Процес компостування може бути організований різними засобами. Крім компостування в валках на відкритих і закритих майданчиках можливе компостування в тунелях, бункерах та реакторах, що обертаються.

Органічна фракція ТПВ має великий потенціал утилізації продукту компостування як вторинної сировини. Результатом компостування залежно від чистоти відходів може бути компост, що вико-

ристовується як добриво, технічний ґрунт або інший цінний ресурс для ізоляції відходів на полігонах, їхньої рекультивації та з іншою метою.

Компостування відходів приводить до зменшення обсягів їхнього захоронення на полігонах та звалищах, що безпосередньо перешкоджає викидам метану, які відбуваються з полігонів та звалищ ТПВ. Компостування 1 тонни ТПВ приводить до скорочення близько 0,6 тонни CO₂-екв. викидів парникових газів.

Шляхом впровадження технології компостування може бути частково розв'язана проблема утворення фільтрату, що відбувається під час застосування традиційних методів керування відходами у країнах, що розвиваються.

Технологію може бути застосовано як для малих, так і для великих об'єктів з перероблення відходів. На початковому етапі впровадження стратегії управління ТПВ в Україні доцільно надати основну увагу компостуванню відходів домогосподарств у місцях їхнього утворення та валковому компостуванню зелених та інших органічних відходів (наприклад, садових та паркових відходів)². Центри валкового компостування мають бути розташовані спільно із з центрами приймання / збирання відходів, а також поруч із регіональними центрами оброблення відходів.

Питома вартість компостування залежить від кількості відходів та застосованої технології. Для компостування у валках інвестиційні витрати можуть бути у межах від 50 до 200 €/т органічних відходів на рік.

БІОЛОГІЧНА СТАБІЛІЗАЦІЯ ЗМІШАНИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Під біологічної стабілізацією зазвичай розуміють компостування або біологічне сушіння змішаних побутових відходів. Основною метою є отримання компостоподібного продукту, який має вивозитися на полігон для остаточного видалення або використовуватися для ізоляції відходів на полігонах та їхньої рекультивації.

Біологічна стабілізація відходів також приводить до зменшення обсягів їхнього захоронення на полігонах та звалищах, що безпосередньо перешкоджає викидам метану та інших шкідливих органічних речовин у повітря, які би відбувалися у разі захоронення необроблених органічних відходів.

² Supporting investments in sustainable municipal management and recycling in Ukraine. Draft MSW strategy. - EBRD. - March 2017. http://publications.chamber.ua/2017/F_B/National%20Solid%20Domestic%20Wastes%20Strategy%20Ukraine%20March%202017.pdf

МЕХАНІКО-БІОЛОГІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ (МБО) ВІДХОДІВ, ЩО ЗДАТНІ ДО БІОЛОГІЧНОГО РОЗКЛАДАННЯ, З ВИРОБНИЦТВОМ БІОГАЗУ

Анаеробне зброджування є альтернативною формою біологічного оброблення з виробництвом біогазу. Анаеробне зброджування (або анаеробна ферментація) це процес, в якому біологічний матеріал (наприклад, органічна фракція ТПВ) розкладається за відсутності кисню з виробництвом біогазу з високою концентрацією метану (CH_4). Зазвичай це здійснюється у великих резервуарах, в яких процес можна контролювати, щоб прискорити реакції та збирати отриманий біогаз.

Отриманий біогаз може бути очищений шляхом видалення водяної пари та використаний в комбінованому виробництві тепла та електроенергії. В результаті анаеробного зброджування також отримують органічний залишок, який за природою подібний до компосту. Зазвичай, для повної стабілізації необхідний короткий етап аеробного оброблення, після чого органічний залишок теж може бути використаний як компост.

Механіко-біологічне оброблення відходів з виробництвом біогазу та енергії з нього знижує кількість відходів, що підлягають захороненню на звалищах та полігонах. Це безпосередньо перешкоджає викидам метану, яке могло б статися у разі захоронення.

Важливими є можливість отримання додаткового джерела енергії, що замінює викопне паливо, таке як природний газ або вугілля, а також можливість отримання додаткового доходу шляхом продажу електроенергії та тепла.

Спалювання біогазу для виробництва енергії генерує менше викидів CO_2 , ніж звичайне спалювання викопного палива.

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) становить приблизно

10 млн т ТПВ/рік $\times$ 50 $\text{м}^3/\text{т}$ = 500 млн $\text{м}^3/\text{рік}$ (CH_4)

Потенціал отримання біогазу в процесах МБО на порядок вище в порівнянні зі збором біогазу на полігонах з двох причин:

- 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;
- 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.

Анаеробні методи пов'язані з високими капітальними витратами. Існує значна розбіжність щодо вартості різних технологій МБО, тому що не існує «універсального» варіанту для оброблення змішаних ТПВ. Різні рішення можуть вважатися найбільш обґрунтованими для різних варіантів впровадження та різних територій охоплення / кластерів.

Одними з найбільш придатних для оброблення змішаних відходів є обладнання сухої ферментації гаражного типу, які є найменш чутливими до якості відходів. На такому обладнанні можна переробляти як змішані, так й окремо зібрані органічні відходи. Більш того, таке устаткування дозволяє здійснити поступовий перехід від оброблення змішаних до оброблення органічних відходів в процесі розвитку системи роздільного збирання.

Капітальні витрати на реалізацію технологій МБО залежать від великої кількості факторів і будуть відрізнятися залежно від:

- обраних пріоритетів перероблення, серед яких може бути виробництво біогазу з подальшим енергетичним використанням, виробництво компосту або компостоподібного продукту, виробництво RDF / SRF, відбір ресурсоцінних компонентів;
- морфології ТПВ на вході (переважно органічні відходи після роздільного збирання або змішані ТПВ);
- наявності і типу сортування (ручна, автоматична);
- потужності перероблення (вплив ефекту масштабу).

Витрати на реалізацію проектів однакової потужності можуть відрізнятися в два і більше разів, що пов'язано з різницею технологічних рішень. За даними данської компанії Ramboll³ 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 € (в одному випадку 156 млн €), при цьому в середньому капітальні витрати становили близько 250 € на тону ТПВ, що перероблені протягом року.

Проведений автором 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 €/т ТПВ в таких країнах як Франція, Іспанія, США, Австралія.

Експлуатаційні витрати 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 перероблення (так званих «хвостів»). Величина щорічних експлуатаційних витрат для МБО зазвичай становить від 8 до 12% капітальних витрат.

МЕХАНІКО-БІОЛОГІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ (МБО) ВІДХОДІВ, ЩО ЗДАТНІ ДО БІОЛОГІЧНОГО РОЗКЛАДАННЯ, З ВИРОБНИЦТВОМ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА

Технологічно виробництво палива з ТПВ складається з біобоксів 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 довкілля.

Типовий завод МБО з виробництвом альтернативного палива складається з:

1. Зони розвантаження сміттєвозів та накопичувального бункера
2. Біобоксів стабілізації органічної фракції
3. Зони механічного сортування
4. Зони відвантаження і кондиціонування RDF / SRF
5. Системи водоочищення
6. Системи контролю і видалення запахів
7. Пиловловлювачів, фільтрів.

Вологі та сухі відходи подаються на подрібнення (<150 мм), попередньо з вологих відходів видаляється надмірна волога, при цьому вологість зменшується з 40–45% до 20%. Після біологічного сушіння та подрібнення відходи змішуються з подрібненою сухою фракцією. Сухі ТПВ подаються на сепаратори для розділення на важкі та легкі компоненти і відокремлення металів. Крім того, зниження вмісту хлору в RDF / SRF досягається за допомогою видалення пластику, що містить хлор, на інфрачервоних сепараторах.

Орієнтовний матеріальний баланс на виході для «стандартних» українських ТПВ:

1. RDF / SRF — 35–45%
2. Втрата маси (випаровування води) — 25–30%
3. Частка важкої фракції (інертні матеріали) — 20–25%
4. Метали — 2–3%
5. Пластик (що містить хлор) — 1–3%
6. Відсів — 0–5%

Важка інертна фракція підлягає захороненню на полігоні і може бути використана для пересипання, облаштування під'їзних шляхів і планувальних робіт у межах полігону. Легка фракція складається переважно з біологічних відходів, що розкладаються, і являє собою гомогенну суху сировину, придатну для складування, з низьким вмістом небажаних домішок. Калорійність фракції залежить від конкретної реалізації технології.

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

Для спалювання палива з ТПВ на цементних заводах або у спеціалізованих котельнях потрібна попередня класифікація палива. В Україні існує стандарт на тверде відновлюване паливо⁴. Цей документ ухвалений методом підтвердження і представлений мовою оригіналу

³ Підтримка інвестицій у систему сталого управління твердими побутовими відходами та їхньої переробки в Україні. Технологічний семінар – технології перероблення та механіко-біологічного оброблення. – Ramboll – 20 березня 2018 року.

⁴ ДСТУ EN 15359:2018 (EN 15389-1:2006, EDN) Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи

(англійська). Документ містить класифікацію твердого палива з побутових відходів.

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.

У більшості випадків для використання альтернативного палива цементними заводами буде потрібно здійснити їхню модернізацію. Крім того, доцільність використання SRF визначається логістикою, головним чином відстанню між виробником палива та цементним заводом. Такі заводи розташовані переважно на заході і південному сході країни.

Типові питомі витрати на реалізацію проектів у діапазоні потужності 100–200 тис. т/рік становлять від 150 до 300 €/т ТПВ.

ЗБІР ТА УТИЛІЗАЦІЯ БІОГАЗУ НА ІСНУЮЧИХ ПОЛІГОНАХ ТПВ

Захоронення на полігонах і звалищах залишається основною практикою поводження з ТПВ в Україні. Стратегія розвитку 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 співробітництва територіальних громад. Таким чином, роль полігонного захоронення буде залишатися істотною протягом принаймні кількох десятиріч.

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 (полігонного газу) – 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 енергетичного устаткування (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 має спалюватися на спеціальному високотемпературному факелі.

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

Збір біогазу на полігоні або звалищі є ефективним екологічним заходом. У результаті спалювання біогазу (в енергетичному устаткуванні 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 із органічних відходів є місцевим і поновлюваним джерелом енергії, здатним замінити будь-які види викопного палива – вугілля, нафту, природний газ. Існують такі принципові можливості утилізації біогазу:

1. Облаштування газових двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) безпосередньо на території полігону з подачею електроенергії в мережу без утилізації теплової енергії;
2. Прокладання трубопроводу біогазу до найближчої котельні, продаж тепла в мережі централізованого тепlopостачання;
3. Спільне використання електроенергії та тепла (наприклад, облаштування когенераційного модуля на базі ДВЗ 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 у розподільні або магістральні мережі природного газу.

Швидкість розпаду ТПВ визначається складом ТПВ та фізичними умовами в тілі полігону, здебільшого вологістю та температурою. У свою чергу фізичні умови полігону залежать від клімату, здебільшого 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, здебільшого 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 як верхня межа, більш характерним значенням може бути 25–30% або навіть нижче.

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 €/кВт встановленої електричної потужності. При цьому нижня величина характер-

на більше для керованих полігонів, верхня для стихійних звалищ. Для цього існують, як мінімум, дві причини. На стихійних звалищах ефективність збору нижче в порівнянні з керованими полігонами, 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 викриває відходи.

Інвестор має 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, та ефективності його збору. При існуючому «зеленому» 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.

Наразі в Україні доцільність утилізації біогазу визначається можливістю продажу електроенергії з використанням «зеленого» тарифу (0.1239 €/кВт•год без ПДВ). Всі існуючі проекти виробляють електроенергію за допомогою газових двигунів з ефективністю 35–42%, але практично все тепло при цьому втрачається.

Незважаючи на те, що у майбутньому з покращенням економічної ситуації в країні імовірно 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 межах реалізації стратегії управління ТПВ до 2030 року. Зосередження ресурсів на великих об'єктах і чітке дотримання правил експлуатації для санітарних полігонів дозволило би збирати до 75–85% утворюваного біогазу.

РОЗВИТОК БІОЛОГІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ В УКРАЇНІ

Згідно з інформацією Мінрегіону⁵ завдяки впровадженню в 1707 населеному пункті роздільного збирання побутових відходів, роботі 35 сортувальних ліній, 1 спалювального заводу і 3 спалювальних устатковань перероблено та утилізовано близько 6,3 % побутових відходів, з них: 1,7% спалено, а 4,6% побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та переробні лінії. Решту (близько 93%) було видалено на полігони та звалища, 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 тон ТПВ. Переважна більшість потрапляє на звалища і полігони. Наразі в країні працює єдиний завод спалювання відходів і кілька десятків сортувальних ліній, ефективність відбору вторинних матеріалів на яких не перевищує 15–20%. На майже 30 полігонах збирається біогаз для подальшого виробництва електроенергії. Частка компостування за даними офіційної статистики склала 0,04%.

Плани будівництва різних переробних підприємств періодично анонсувалися протягом останніх двадцяти років, існують реальні плани на використання технології МБО у Львові та Хмельницькому.

Загальний рівень компостування ТПВ в Україні

надзвичайно низький — лише 0,04 % від зібраних в Україні ТПВ у 2020 році. Перша в Україні станція промислового компостування запрацювала у Львові у 2020 році. Продукт компостування, який виготовляє ЛКП «Зелене місто», користується попитом серед мешканців та агропідприємств. 5 квітня 2021 року ЛКП «Зелене місто» вперше в Україні оголосило про продаж компосту з органічних відходів через відкритий аукціон, встановивши гранично мінімальну ціну 300 грн за 1 тону продукту.

Впродовж червня 2021 року на станції компостування отримано 274 тонни харчових відходів і 196 тонн садових відходів для оброблення. У місті постійно збільшується кількість локацій, де розміщені контейнери для збору органіки⁶.

Загальна встановлена потужність виробництва електроенергії з біогазу на полігонах і звалищах становить понад 30 МВт (на 01.01.21)⁷. Системи збору біогазу існують на полігонах у 24 містах України. Наявність «зеленого» тарифу привела до того, що значна частина енергетичного потенціалу біогазу на полігонах і звалищах ТПВ України вже реалізована.

У Полтавської області біогаз збирають у містах Полтава (1,0 МВтел) і Кременчук (0,85 МВтел).

⁵ Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік - <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teretoryi/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik-2/>

⁶ <http://zelenemisto.info/>

⁷ <https://www.nerc.gov.ua/?id=26435>

РЕГІОНАЛЬНИЙ ПЛАН УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ У ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Загальне населення Полтавської області становить 1 410 тисяч жителів. На території області знаходяться 5 міст з населенням понад 30 тис. мешканців:

Полтава
286 650 (319 610) ⁸
Кременчук
219 000 (225 310)
Горішні Плавні
50 820 (56 780)
Лубни
45 030 (70 370)
Миргород
39 100 (53 370)



Рис. 1 – Адміністративно-територіальний устрій Полтавської області ⁹

Новий адміністративно-територіальний поділ Полтавської області включає чотири райони, які об'єднують 60 територіальних громад (Рис. 1, табл. 1).

Таблиця 1 – Райони Полтавської області

Район	Населення	Площа, тис. км ²	Кількість населених пунктів	Кількість територіальних громад
Кременчуцький	401 220	6,11	325	12
Лубенський	192 750	5,48	345	7
Миргородський	209 740	6,29	425	17
Полтавський	605 820	10,86	746	24
Всього	1 409 530	28,74	1 841	60

⁸ У дужках вказано населення відповідної територіальної громади

⁹ Атлас адміністративно-територіального устрою України. Міністерство розвитку громад та територій України. Київ – 2021.

КЛАСТЕРНА СТРУКТУРА КЕРУВАННЯ ВІДХОДАМИ

Проект регіонального плану управління відходами передбачає розподіл на кластери. Наразі існує три варіанти такого поділу. У першому варіанті кластери відповідають чотирьом новим районам, в другому варіанті реалізована ідея укрупнення кластерів, тому загальна кількість кластерів зменшено до трьох. У третьому варіанті область розділена на п'ять кластерів. Параметри кластерів для всіх трьох варіантів наведені в таблиці 2 за даними розробників регіонального плану управління відходами¹⁰.

Таблиця 2 – Розподіл Полтавської області на кластери

Варіант 1	Кількість населення	Обсяг ТПВ, тонн/рік
Лубенсько-Пирятинський	190 138	59 323
Миргород-Шишаки	204 873	63 920
Кременчук-Горішні Плавні	396 055	123 569
Полтавський	595 912	185 925
Варіант 2	Кількість населення	Обсяг ТПВ, тонн/рік
Пирятинський	354 127	110 488
Кременчук-Горішні Плавні	396 055	123 569
Полтавський	636 796	198 680
Варіант 3	Кількість населення	Обсяг ТПВ, тонн/рік
Пирятинський	236 925	73 921
Миргород-Шишаки	107 237	33 458
Кременчук-Горішні Плавні	396 055	123 569
Гадяч-Зіньківський	102 562	32 000
Полтавський	544 199	169 790
Всього	1 409 530	432 737

¹⁰ Презентація «Планування системи управління відходами в Полтавській області. Другий етап.»



Варіант 1



Варіант 2



Варіант 3

У всіх трьох випадках незмінним залишається кластер Кременчук–Горішні Плавні, що відповідає Кременчуцькому району. Розмір Полтавського кластеру змінюється від 544 до 637 тисяч жителів залежно від включення або не включення північних чи західних територіальних громад району. Інша частина області являє собою окремий кластер (варіант 2) або ділиться відповідно на два (варіант 1) або три кластери (варіант 3). Останній третій варіант передбачає створення двох відносно невеликих кластерів з населенням близько 100 тисяч мешканців. В інших випадках кластеризації розмір мінімального кластеру вдвічі більше.

Існуючі прогнози зміни кількості населення в Полтавській області показують, що в порівнянні з 2020 роком до 2030 року населення області може зменшитися на 10%, при цьому сільське населення буде зменшуватися з більшою швидкістю. Фактор зменшення для міського населення може скласти 0,937, в той час як для сільського населення він може бути істотно меншим і дорівнювати 0,817. Таким чином кількість населення області у 2030 році може зменшитися до 1,24 мільйона жителів.

ПРИПУЩЕННЯ ДО ОБСЯГУ ТА СКЛАДУ ТПВ

Кількість зібраних відходів є похідною трьох параметрів — кількості населення, норми утворення відходів на одну людину і охоплення населення послугою збирання та оброблення відходів.

За існуючими трьома сценаріями (песимістичний, базовий та оптимістичний) обсяг побутових відходів в Полтавській області може зменшитися або, навпаки, збільшитися в діапазоні від 386 до 494 тис. тонн, а з урахуванням відходів інфраструктури населених пунктів (комунальних змішаних, великогабаритних, ремонтних відходів та відходів зелених насаджень) від 471 до 579 тисяч тонн. Песимістичний, базовий і оптимістичний сценарії відрізняються між собою відсотком населення, охопленого послугою з вивезення ТПВ (0,78–1,0) та середнім обсягом утворення ТПВ на людину (0,312–0,399 т/рік). Наприклад, у

базовому сценарії охоплення населення збільшується з 2020 до 2030 року з 78% до 90%, а утворення відходів на душу населення з 0,312 до 0,36 т/рік.

Потенційні обсяги утворення окремих компонентів твердих побутових відходів були встановлені на основі досліджень їхнього морфологічного складу, проведених у межах розроблення Субрегіональної стратегії поводження з ТПВ для Полтавського субрегіону та розроблення «Комплексної програми поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на 2017–2021 роки» (табл. 3, ст. 1–5). У таблиці також показані середні значення складу відходів для Полтавської області за даними розробників регіонального плану управління відходами.

Таблиця 3 – Склад змішаних ТПВ згідно з категорією житла

Компонент відходів	Міста > 5000 БПЖ	Міста > 5000 ПЖ	Великі нас. пункти (1000-5000)	Маленькі нас. пункти (<1000)	Середнє значення*	Роздільно зібрані органічні відходи
Органічні відходи (%)	29	19	14	19,3	39,3	100
Папір, картон (%)	9	7	8	1,4	2,8	0
Пластик (%)	13	13	13	7	1,6	0
Скло (посуд, контейнери, світильники тощо) (%)	15	21	17	24	21,6	0
Метал (чорний, кольор.) (%)	0,8	1,1	2	3,8	5,9	0
Текстиль (старий одяг, бавовна, текстиль і взуття тощо) (%)	3,5	3,5	5,9	2,1	2,4	0
Дерево (тирса, стружка, шматки дерева, солома) (%)	0,4	1,9	1,7	1,6	2,7	0
Небезпечні (%)	0,5	0,6	0,8	0,7	1,1	0
Кістки, шкіра, гума (%)	1,8	4,4	5	3,1	4,5	0
Мінерали, невеликі част., ін. (%)	27	28,5	32,6	37	18,1	0
Всього (%)	100	100	100	100	100	100
Потенціал біогазу, м³/СН₄/т ТПВ	43,7	38,9	40,2	25,1	45,8	69,8

* – за даними розробника Стратегії

В останньому рядку таблиці наведено потенціал утворення біогазу для відповідного морфологічного складу побутових відходів, виражене в кубічних метрах метану на тону ТПВ. Розрахунки зроблені з використанням методики АСМ001¹¹ Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК)¹²,

Потенціал утворення біогазу залежить від вмісту компонентів, здатних до біологічного розкладання. До таких компонентів належать харчові (органічні) відходи, папір / картон, текстиль, дерево, кістки, шкіра, та зелені (садово-паркові) відходи.

За даними, наведеними в таблиці, можна побачити, що потенціал утворення біогазу для змішаних відходів в Полтавській області знаходиться в діапазоні від 25 до 45 м³ на тону змішаних відходів у перерахунку на метан.

Така величина потенціалу є відносно низькою. У цьому випадку вона визначається порівняно низьким вмістом органічних відходів і паперу, які роблять основний внесок в утворення біогазу. Для порівняння, відходи, що містять 40% органічних відходів і 12% паперу / картону, здатні утворити близько 60 м³ метану в процесі ана-

¹¹ <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/JPYB4DYQUXQPZLBDVPHA87479EMY9M>

¹² англ. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

еробного зброджування. Найбільшим потенціалом володіють окремо зібрані органічні відходи, в які не потрапляють баластні неорганічні компоненти відходів, нездатні до біологічного розкладання (пластик, скло, метали, мінеральна частина).

Згідно з Методичними рекомендаціями з розроблення регіональних планів управління відходами¹³ регіональний об'єкт оброблення побутових відходів (РООВ) повинен мати мінімальну потужність понад 50 000 т/рік (тобто населення понад 150 000 осіб залежно від обсягу утворення побутових відходів на особу на рік), а в ідеалі – понад 100 000 т/рік.

У Полтавській області «ідеальні» умови виконуються для кластерів Полтавський і Кременчук–Горішні Плавні, а також Пирятинського кластера в другому варіанті кластеризації. Для Пирятинського кластера (варіант 3) і Лубенсько-Пирятинського кластеру (варіант 1) виконуються тільки мінімальні умови.

Наразі планування системи управління відходами у Полтавській області передбачає розвиток трьох сценаріїв:

- **Сценарій 1:** Оброблення відходів на об'єктах, спеціально визначених у межах однієї або декількох об'єднаних громад на об'єктах полігонного захоронення (загалом 43 зони охоплення);

- **Сценарій 2:** Оброблення відходів на регіональних об'єктах, спеціально визначених в межах однієї зони оптимального охоплення – субрегіону або підкластеру (14 зон охоплення);

- **Сценарій 3:** Оброблення відходів на регіональних об'єктах, спеціально визначених у межах кластеру, що об'єднує декілька (дві та більше) зони оптимального охоплення (субрегіони / підкластери) як об'єкти спільного користування.

На нашу думку, а також на думку розробників регіонального плану управління відходами, перший і частково другий сценарії можуть розглядатися тільки як початкові або перехідні. Однак основні перспективи розвитку біологічного оброблення побутових відходів пов'язані з останнім кластерним сценарієм. Тільки кластерний підхід дозволяє консолідувати достатні потоки відходів для економічно доцільного та технічно здійсненого оброблення та мінімізації видалення відходів на полігони.

На підтвердження цієї тези розглянемо економічні параметри біологічного оброблення побутових відходів на прикладі Пирятинського кластера (варіант 3).

¹³ Міністерство екології та природних ресурсів України. Наказ № 142 від 12.04.2019

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

У таблиці 4 наведено можливі джерела фінансових надходжень для різних технологій біологічного оброблення.

Таблиця 4 – Джерела фінансових надходжень для різних технологій біологічного оброблення

Джерела доходу	Компостування	МБО з виробництвом біогазу	МБО з виробництвом RDF / SRF	Біологічна стабілізація змішаних ТПВ	Збір і утилізація біогазу
Тариф на перероблення	+	+	+	+	
Продаж компосту	+	(+)			
Продаж SRF			(+)	(+)	
Вторинні ресурси		(+)	+	(+)	
Продаж електроенергії		+			+
Продаж тепла		(+)			(+)

ТАРИФ НА КЕРУВАННЯ ТПВ

Одним із джерел доходу може бути тариф на перероблення відходів. В Україні питання визначення тарифу на керування відходами є дуже вразливим і занадто політизованим. Проте необхідність зміни тарифів є зрозумілою для більшості знавців ринку.

Однією з можливостей обґрунтування необхідності зміни тарифу на поводження з ТПВ є його прив'язка до доходу/ресурсу середнього домаш-

нього господарства України. У світовій практиці вважається, що середнє домогосподарство може/має виділяти від 1,0 до 1,5% своїх ресурсів на поводження з ТПВ. У таблиці 5 наведено оцінку тарифу, який відповідає 1% ресурсу з використанням даних Державної статистичної служби України про сукупні¹⁴ ресурси та розмір домогосподарств України¹⁵ за 2010–2020 роки.

Таблиця 5 — Оцінка гранично допустимого тарифу на перероблення ТПВ з прив'язкою до середнього доходу домашнього господарства в Україні

Параметр	2010	2012	2014	2016	2017	2018	2019	2019
Сукупні ресурси за місяць у розрахунку на одне домогосподарство, грн.	3481	4145	4563	6239	8165	9904	12 119	12 432
Середній розмір домогосподарства, осіб	2.59	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58
Сукупні ресурси в середньому за місяць у розрахунку на одну особу, грн.	1344	1606	1769	2418	3165	3839	4697	4819
Відповідний тариф (1.0%), грн/т ТПВ	461	551	606	829	1085	1316	1610	1652
Середній річний курс € до гривні	10.53	10.27	15.72	28.29	30.00	32,14	28,95	30,79
Відповідний тариф (1.0%), €/т ТПВ	43.8	53.6	38.6	29.3	36.2	41,0	55,6	53,7

Легко бачити, що при нормі утворення ТПВ 350 кг/рік на людину виділення 1% від ресурсу середнього домогосподарства на поводження з ТПВ відповідало у 2020 році тарифу 1652 грн/т (або 53,7 €/т). В свою чергу ця величина відповідає щомісячній платі, що дорівнює 125 гривням на місяць на одне господарство або 48 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 2014–2016 роках через падіння курсу національної валюти. Але після цього спостерігалась тенденція до стійкого підвищення.

¹⁴ Структура сукупних ресурсів. Державна служба статистики України.

¹⁵ Характеристика домогосподарств. Державна служба статистики України.

У Полтавській області рівень сукупних ресурсів за місяць у розрахунку на одне домогосподарство дещо відрізняється від середнього для країни у гіршу сторону (табл. 6)

Таблиця 6 — Сукупні ресурси за місяць у розрахунку на одне домогосподарство у Полтавській області (2019 рік)¹⁶

Параметр	Всі домогосподарства	У міській місцевості	У сільській місцевості
Сукупні ресурси за місяць у розрахунку на одне домогосподарство, грн.	10 526	10 872	9992
Відсоток до середнього для України	86,9%	89,7%	82,5%
Відповідний тариф (1.0%), €/т ТПВ (2019 рік)	48,3	49,9	45,9

Таким чином, наразі величина сукупного гранично допустимого тарифу на поводження з ТПВ у Полтавській області знаходиться на рівні 45–50 €/т ТПВ.

МБО З ВИРОБНИЦТВОМ БІОГАЗУ

Для регіонального об'єкта перероблення відходів, розташованого на території кластера, що генерує 73 921 тонн змішаних відходів в рік, розглянуто два варіанти проекту:

Варіант 1 — Оброблення окремо зібраних органічних відходів з отриманням біогазу, виробництвом електроенергії та її продажем за «зеленим» тарифом. Використовувалися такі припущення:

- капітальні витрати на реалізацію проекту становлять 250 € на тону перероблених відходів протягом року;
- експлуатаційні витрати становлять 10% від капітальних витрат;
- системою роздільного збору охоплено 80% органічних відходів;
- електроенергія продається за «зеленим» тарифом 123,9 €/МВт-год;
- отримане в процесі когенерації тепло не використовується;
- зброджена маса (дигестат / компост) передається населенню як компост або вивозиться на регіональний полігон за нульовою вартістю;

- тариф на перероблення становить 45 €/т відходів.

Варіант 2 — Оброблення змішаних відходів з отриманням біогазу, виробництвом електроенергії та її продажем за «зеленим» тарифом. Крім згаданих вище використовувалися такі додаткові або видозмінені припущення:

- капітальні витрати на реалізацію проекту становлять 200 € / (т ТПВ/рік);
- зброджена маса (дигестат / компостоподібний продукт) вивозиться на регіональний полігон за спеціальним тарифом для стабілізованих відходів 10 €/т. Кількість дигестату становить приблизно 88% від вхідного обсягу відходів без урахування впливу сортування;
- вартість реалізації вторинних матеріалів, отриманих у процесі попереднього сортування, не враховується;

Для обох варіантів розглянуто дві можливості фінансування проекту — із залученням банківського кредиту і без залучення. У разі залучення кредиту вважалося, що його частка становить 60% при річній вартості 8%.

¹⁶ Витрати і ресурси домогосподарств України у 2019 році. Частина II. Облaсті та місто Київ. Полтавська облaсть. Державна служба статистики України. Київ — 2020

Основні компоненти капітальних витрат:

- лінія механічного підготовлення / оброблення;
- ділянка біологічного оброблення (включно з газоочищенням);
- когенераційне обладнання (двигун внутрішнього згоряння, генератор, трансформатор, підключення до електричної мережі);
- система автоматизації (контроль процесу та візуалізація);
- будівельні роботи, інжиніринг, нагляд монтаж.

Експлуатаційні витрати

- споживання електроенергії;
- витрати на ремонт і технічне обслуговування;
- оплата персоналу;
- плата за захоронення залишків після перероблення.

Джерела надходжень

- плата за оброблення;
- продаж електроенергії;
- можливий продаж тепла.

Загальна вартість проекту з урахуванням придбання і доставки основного та допоміжного обладнання, проектних і будівельних робіт становить 5,8 і 14,8 млн € відповідно для оброблення роздільно зібраних і змішаних відходів. Операційні витрати без урахування витрат на видалення на полігоні неорганічного і збройового залишків становить відповідно 0,58 і 1,48 млн €/рік.

Основні параметри проекту і отримані у межах використання перерахованих припущень результати розрахунків наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 – Параметри проектів виробництва біогазу з ТПВ

Параметр	Роздільно зібрані відходи (SSOW)	Змішані відходи (MSW)
Обсяг відходів, що обробляються, т/рік	23 221	73 921
Капітальні витрати, млн €	5,8	14,8
Експлуатаційні витрати, млн €/рік	0,581	1,478
Виробництво біогазу, м ³ CH ₄ /рік	1 457 800	3 045 230
Встановлена електрична потужність, МВт	0,629	1,313
Виробництво електроенергії, МВт·год	4 306,0	8 995,0
Чиста приведена вартість (NPV) без кредитного фінансування	1 437 600	2 202 500
NPV з кредитним фінансуванням	147 000	(1 084 100)*
Внутрішня норма рентабельності (IRR) без кредитного фінансування	12,5%	10,8%
IRR з кредитним фінансуванням	8,4%	6,7%
Простий період окупності	8,3	9,2

* від'ємне значення

Доходи проекту формуються за рахунок продажу електроенергії за «зеленим» тарифом і вхідної плати за перероблення відходів. Реалізація відсортованих вторинних ресурсів (пластик, скло, метали) не врахована.

У разі, якщо проект реалізується без залучення банківського капіталу, внутрішня норма рентабельності (IRR) може скласти відповідно 12,5% і 10,8%, а простий період окупності 8,3 і 9,2 років.

Чиста приведена вартість для проекту тривалістю 20 років є позитивною для обох варіантів проекту без залучення кредитного фінансування та негативною для варіанта зі змішаними відходами в разі використання кредитів.

Перший варіант пов'язаний з істотно меншими капітальними витратами. Можна побачити, що в межах зроблених припущень обидва варіанти проекту мають схожі економічні параметри, які в існуючих економічних умовах не формують інтерес комерційного інвестора навіть при використанні граничного допустимого тарифу на перероблення відходів, рівному 45 €/т ТПВ.

Аналіз чутливості

У межах проведення аналізу чутливості економічних параметрів проекту до зміни вхідних параметрів досліджувався вплив таких факторів:

- вхідного тарифу на перероблення відходів;
- питомих капітальних витрат;
- ціни на продаж електроенергії.

Розглянуто діапазон зміни вхідного тарифу на перероблення відходів від 20 до 50 €/т ТПВ, два значення величини капітальних витрат у діапазоні 200–250 €/т/рік.

Додатково розглянуто альтернативне значення для тарифу на продаж електроенергії з біогазу 70 €/МВт·год, що є імовірною ціною продажу електроенергії на ринку на загальних підставах.

Вплив тарифу на продаж електроенергії необхідно розглянути тому, що зараз «зелений» тариф на електроенергію з біогазу не є гарантованим. За існуючим законодавством на нього мають право підприємства, що введені в експлуатацію до 01.01.2023 року. Планується, що після цієї дати біогазові підприємства, і в цілому ринок відновлюваної електроенергетики, буде функціонувати у межах системи аукціонів. Тариф буде визначатися на аукціонах в межах виділених для конкретних технологій квот. Як початкова ціна на аукціоні, можливо, буде використуватися величина існуючого «зеленого» тарифу. Можна сподіватися, що для біогазу аукціонна ціна не буде значно відрізнятися від існуючого «зеленого» тарифу, оскільки біогазовий ринок не є насиченим.

З іншого боку, квоти поки не передбачають розподіл по видах сировини для отримання біогазу. З цієї причини об'єктам МБО буде складно конкурувати з сільськогосподарськими біогазовими підприємствами, оскільки будівництво останніх пов'язано з істотно меншими питомими капітальними витратами.

Додатково для одного з варіантів було розглянуто можливість комерційної утилізації 60% тепла, отриманого в процесі виробництва електроенергії. Передбачалося, що ціна продажу тепла становить актуальне значення для ринку продажу тепла в Україні 30 €/МВт·год. В процесі проведення аналізу чутливості були отримані результати, наведені в таблиці 8.

Таблиця 8 — Аналіз чутливості економічних параметрів для проектів виробництва біогазу з ТПВ

Варіант 1 Тариф	CAPEX=250 €/т/рік, тариф на електроенергію 123,9 €/МВт·год						
	20	25	30	35	40	45	50
NPV 1 *	-2 359 366	-1 567 437	-793 816	-35 184	709 505	1 437 559	2 164 330
NPV 2 **	-3 649 922	-2 857 994	-2 084 372	-1 325 740	-581 051	147 002	873 773
IRR 1	-0,9%	2,4%	5,3%	7,9%	10,3%	12,5%	14,7%
IRR 2	-4,7%	-1,4%	1,4%	3,9%	6,3%	8,4%	10,5%
SPB	>15	>15	12,8	10,9	9,4	8,3	7,4

* без кредитного фінансування,

** з кредитним фінансуванням

Варіант 1 Тариф							
CAPEX=200 €/т/рік, тариф на електроенергію 123,9 €/МВт·год							
20	25	30	35	40	45	50	
NPV 1	-544 450	209 420	945 835	1 672 606	2 399 377	3 126 148	3 852 919
NPV 2	-1 576 895	-823 025	-86 610	640 161	1 366 932	2 093 703	2 820 474
IRR 1	5,7%	8,9%	11,8%	14,5%	17,0%	19,5%	21,9%
IRR 2	1,8%	4,9%	7,7%	10,3%	12,7%	15,1%	17,4%
SPB	12,4	10,3	8,7	7,5	6,6	5,9	5,3
Варіант 1 Тариф							
CAPEX=200 €/т/рік, тариф на електроенергію 70 €/МВт·год							
20	25	30	35	40	45	50	
NPV 1	-1 316 309	-543 679	210 174	946 571	1 673 342	2 400 113	
NPV 2	-2 348 754	-1 576 124	-822 271	-85 874	640 897	1 367 668	
IRR 1	2,0%	5,7%	8,9%	11,8%	14,5%	17,0%	
IRR 2	-1,8%	1,8%	4,9%	7,7%	10,3%	12,7%	
SPB	>15	12,4	10,3	8,7	7,5	6,6	
Варіант 2 Тариф							
CAPEX=200 €/т/рік, тариф на електроенергію 123,9 €/МВт·год							
20	25	30	35	40	45	50	
NPV 1		-5 072 454	-2 583 495	-161 655	2 202 523	4 516 071	
NPV 2		-8 359 061	-5 870 103	-3 448 262	-1 084 084	1 229 464	
IRR 1		0,6%	4,5%	7,8%	10,8%	13,5%	
IRR 2		-3,1%	0,6%	3,8%	6,7%	9,4%	
SPB		>15	13,4	10,9	9,2	7,9	
Варіант 2 Тариф							
CAPEX=200 €/т/рік, тариф на електроенергію 70 €/МВт·год							
20	25	30	35	40	45	50	
NPV 1			-5 860 395	-3 354 209	-911 989	1 469 925	
NPV 2			-9 147 002	-6 640 816	-4 198 596	-1 816 68	
IRR 1			-0,7%	3,3%	6,8%	9,9%	
IRR 2			-4,4%	-0,5%	2,9%	5,9%	
SPB			>15	>15	11,6	9,7	

Варіант 2	CAPEX=200 €/т/рік, тариф на електроенергію 70 €/МВт-год (утилізація 60% тепла)						
Тариф	20	25	30	35	40	45	50
NPV 1				-4 648 024	-2 171 365	237 995	2 592 557
NPV 2				-7 934 631	-5 457 972	-3 048 612	-694 050
IRR 1				1,3%	5,0%	8,3%	11,3%
IRR 2				-2,5%	1,2%	4,3%	7,2%
SPB				>15	12,9	10,6	8,9

Вивчення змісту таблиці дозволяє зробити такі висновки:

1. Виробництво біогазу з ТПВ наразі є відносно дорогим рішенням для актуальних економічних умов в Україні. Всі розглянуті варіанти проектів потребують використання тарифу на перероблення на рівні гранично допустимого значення або вище.
2. Винятком є гіпотетичне зниження капітальних витрат на 20% для перероблення роздільно зібраних органічних відходів. У разі його досягнення можна вийти на позитивну чисту приведену вартість проекту вже при тарифі на перероблення ТПВ, що дорівнює 25–30 €/т.
3. Неможливість використовувати «зелений» тариф на електроенергію робить її виробництво недоцільним, особливо у разі перероблення змішаних відходів.
4. Комерційна утилізація тепла покращує економічні параметри проекту, проте це поліпшення не є суттєвим.

Таким чином, кінцева собівартість перероблення тонни ТПВ визначається капітальними та експлуатаційними витратами, а також умовами фінансування проекту. Якщо питомі капітальні витрати на проект становлять 200 €/т ТПВ, що переробляються за рік, собівартість перероблення ТПВ становить 40–45 €/т залежно від умов і частки залученого банківського капіталу. 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 250 €/т собівартість перероблення ТПВ може скласти 50–60 €/т.

У разі перероблення роздільно зібраних органічних відходів собівартість перероблення може становити 35–45 €/т.

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

ВИРОБНИЦТВО АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА

Для регіонального об'єкта перероблення відходів, розташованого на території кластера, що генерує 73 921 тонн змішаних відходів на рік, розглянуто механіко-біологічне оброблення змішаних відходів з отриманням альтернативного палива. Використовувалися такі припущення:

- капітальні витрати на реалізацію проекту становлять 150 € на тону перероблених відходів протягом року;
- експлуатаційні витрати становлять 10% від капітальних витрат;
- тариф на перероблення становить 45 €/т;
- обсяг альтернативного палива відносно початкового обсягу ТПВ дорівнює 45%;
- обсяг залишку, що потребує видалення на полігоні (важка інертна фракція, відсів) дорівнює 25%;
- залишок вивозиться на регіональний полігон за спеціальним тарифом для стабілізованих відходів, що дорівнює 10 €/т;
- вартість реалізації вторинних матеріалів, отриманих у процесі попереднього сортування, не враховується.

Аналогічно виробництву біогазу для виробництва альтернативного палива розглянуто два варіанти фінансування проекту - із залученням банківського капіталу та без залучення. У разі залучення

вважалося, що його частка становить 60% при річний вартості 8%.

Основні компоненти капітальних витрат:

- лінія механічного оброблення;
- ділянка біологічного оброблення (включно з газоочищенням і подачею стисненого повітря)
- система автоматизації (контроль процесу та візуалізація);
- будівельні роботи, інжиніринг, нагляд, монтаж.

Експлуатаційні витрати:

- споживання електроенергії;
- витрати на ремонт і технічне обслуговування;
- оплата персоналу;
- плата за захоронення залишків після перероблення.

Джерела надходжень:

- плата за оброблення;
- можливий продаж альтернативного палива.

Основні параметри проекту і отримані в межах використання перерахованих припущень результати розрахунків наведені в таблиці 9 без урахування можливого продажу альтернативного палива.

Таблиця 9 – Параметри проектів МБО з виробництвом альтернативного палива.

Параметр	Змішані відходи (MSW)
Обсяг відходів, що обробляються, т/рік	73 921
Капітальні витрати, млн €	11,1
Експлуатаційні витрати, млн €/рік	1,109
Виробництво альтернативного палива, т/рік	33 264
Чиста приведена вартість (NPV) без кредитного фінансування	3 539 200
NPV з кредитним фінансуванням	1 074 200
Внутрішня норма рентабельності (IRR) без кредитного фінансування	13,8%
IRR з кредитним фінансуванням	9,6%
Простий період окупності	7,8

Доходи проекту формуються виключно за рахунок вхідної плати за перероблення відходів. Реалізація відсортованих вторинних ресурсів (пластик, скло, метали) не врахована.

У разі, якщо проект реалізується без залучення банківського капіталу, внутрішня норма рентабельності (IRR) може скласти 13,8%, с залученням капіталу 9,6%, простий період окупності 7,8 років.

Чиста приведена вартість для проекту тривалістю 20 років є позитивною незалежно від залучення кредитного фінансування. Виробництво альтернативного палива пов'язано з меншими капітальними витратами по відношенню до виробництва біогазу. Однак в цьому випадку відсутні додаткові джерела доходу від продажу електроенергії і, можливо, тепла. Проте, у разі використання граничного допустимого тарифу на перероблення відходів, що дорівнює 45 €/т ТПВ

та виконання зроблених припущень, такий проект може бути помірно привабливим для зовнішнього інвестора.

Аналіз чутливості

У межах проведення аналізу чутливості економічних параметрів проекту до зміни вхідних параметрів досліджувався вплив таких факторів:

- вхідного тарифу на перероблення відходів;
- питомих капітальні витрат;
- ціни на продаж альтернативного палива.

Розглянуто діапазон зміни вхідного тарифу на перероблення відходів від 20 до 50 €/т ТПВ і ціни на продаж альтернативного палива від 0 до 20 €/т ТПВ, а також два значення величини капітальних витрат в діапазоні 150–200 €/т/рік.

Таблиця 10 — Аналіз чутливості економічних параметрів для проектів виробництва альтернативного палива з ТПВ

CAPEX= 150 €/т/рік, ціна на SRF= 0 €/т							
Тариф	20	25	30	35	40	45	50
NPV 1		-6 202 713	-3 638 805	-1 169 746	1 219 922	3 539 173	5 852 721
NPV 2		-8 667 668	-6 103 760	-3 634 701	-1 245 033	1 074 218	3 387 765
IRR 1		-5,3%	1,0%	5,9%	10,1%	13,8%	17,2%
IRR 2		-8,9%	-2,8%	2,0%	6,0%	9,6%	12,9%
SPB		>15	>15	12,3	9,6	7,8	6,5
CAPEX= 150 €/т/рік, ціна на SRF= 10 €/т							
Тариф	20	25	30	35	40	45	50
NPV 1		-3 890 563	-1 412 086	982 864	3 307 819	5 621 366	7 934 913
NPV 2		-6 355 518	-3 877 041	-1 482 092	842 863	3 156 411	5 469 958
IRR 1		0,4%	5,4%	9,7%	13,4%	16,9%	20,2%
IRR 2		-3,3%	1,6%	5,7%	9,3%	12,6%	15,7%
SPB		>15	12,6	9,8	7,9	6,6	5,7

CAPEX= 150 €/т/рік, ціна на SRF = 20 €/т							
Тариф	20	25	30	35	40	45	50
NPV 1	-4 142 320	-1 654 426	745 805	3 076 464	5 390 011	7 703 559	10 017 106
NPV 2	-6 607 276	-4 119 381	-1 719 150	611 509	2 925 056	5 238 603	7 552 151
IRR 1	-0,1%	5,0%	9,3%	13,1%	16,5%	19,8%	23,0%
IRR 2	-3,9%	1,1%	5,3%	8,9%	12,3%	15,4%	18,5%
SPB	>15	13,0	10,0	8,1	6,7	5,8	5,0

CAPEX= 200 €/т/рік, ціна на SRF= 0 €/т							
Тариф	20	25	30	35	40	45	50
NPV 1				-6 971 025	-4 432 144	-1 963 561	441 271
NPV 2				-10 257 632	-7 718 751	-5 250 168	-2 845 336
IRR 1				-2,7%	1,7%	5,3%	8,6%
IRR 2				-6,4%	-2,1%	1,5%	4,6%
SPB				>15	>15	12,7	10,4

Таким чином, кінцева собівартість перероблення тонни ТПВ з виробництвом альтернативного палива визначається капітальними та експлуатаційними витратами, а також умовами фінансування проекту. Якщо питомі капітальні витрати на проект становлять 150 €/т ТПВ, що переробляються за рік, собівартість перероблення становить 38–43 €/т залежно від умов і частки залученого банківського капіталу. У разі більш дорогого проекту вартістю 200 €/т собівартість перероблення ТПВ може скласти 50–60 €/т.

Визначальним економічним параметром фактором є можливість продажу альтернативного палива і ціна такого продажу. Потенційними покупцями альтернативного палива можуть бути цементні заводи, теплові електростанції або котельні систем централізованого теплопостачання великих міст.

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.

Аналіз чутливості було проведено для діапазону ціни на альтернативне паливо 0–20 €/т.

Наразі на енергетичному ринку України найдешевшим паливом є деревна тріска. Вартість енергетичної тріски становить 1,6–2,0 €/ГДж (24 €/т). Вартість енергії в вугіллі приблизно в два рази більше. Найдорожчим паливом наразі є природний газ.

З цієї причини промислові споживачі природного газу та інших видів палива можуть бути зацікавлені в заміщенні традиційних енергетичних ресурсів альтернативами.

Використання SRF як палива на енергетичних підприємствах або цементних заводах пов'язано з необхідністю встановлення додаткового обладнання для очищення та контролю якості димових газів. З цієї причини SRF має продаватися з певною знижкою. Наприклад, для SRF третього класу з нижньою теплотворною здатністю 15 ГДж/т ціна продажу могла б бути в діапазоні 10–25 €/т.

У Полтавській області підприємства цементної промисловості відсутні. Відстань від Полтави до найближчих цементних заводів є значною. Такі заводи знаходяться в місті Кам'янське (колишне Дніпродзержинськ) на відстані 140 км, Балаклії на

відстані 200 км (Харківська область) і Кривому Розі (265 км). З перерахованих заводів, лише в останньому випадку здійснюється випал у печах для виробництва клінкеру, що формує потребу використання альтернативного палива.

Іншою можливістю продажу SRF палива є його використання для виробництва теплової та електричної енергії. Для цієї мети додатково до заводу з виробництва палива мають бути побудовані ТЕЦ або спеціалізовані котельні на твердому паливі.

Тепло може бути також використано в існуючих теплових мережах обласного центру міста Полтави із залученням можливостей підприємства ЦТ/ГВП ПОКВПТГ «Полтава-теплоенерго». Але відстань від Пирятина до Полтави теж значна та становить 185 км, отже логістичні витрати потребують окремого підрахунку.

КОМПОСТУВАННЯ

Для регіонального об'єкта перероблення відходів, розташованого на території кластера, що генерує 73 921 тонн змішаних відходів на рік, розглянуто компостування зелених і органічних відходів у валках з отриманням товарного компосту. Використовувалися такі припущення:

- капітальні витрати на реалізацію проекту становлять 50 € на тонну оброблених відходів протягом року;
- експлуатаційні витрати становлять 15% від капітальних витрат;
- тариф на перероблення становить 15–20 €/т.
- обсяг компосту щодо початкового обсягу ТПВ дорівнює 30%;
- вартість реалізації компосту 0–10 €/т;
- вартість реалізації вторинних матеріалів, отриманих в процесі попереднього сортування, не враховується.

Основні компоненти капітальних витрат:

- облаштування майданчику компостування;
- вартість обладнання (аератор, перегрібач, навантажувач).

Експлуатаційні витрати:

- споживання електроенергії і палива;
- витрати на ремонт і технічне обслуговування;
- оплата персоналу.

Джерела надходжень:

- плата за оброблення відходів;
- можливий продаж компосту.

Основні параметри проекту і отримані у межах використання перерахованих припущень результати розрахунків наведені в таблиці 11.

Таблиця 11 – Параметри проектів МБО з виробництвом альтернативного палива.

Параметр	Роздільно зібрані відходи (SSOW)
Обсяг відходів, що обробляються, т/рік	23 221
Капітальні витрати, млн €	1,16
Експлуатаційні витрати, млн €/рік	0,174
Капітальні витрати, млн €	6 966

Параметр	Роздільно зібрані відходи (SSOW)	
Тариф на переробку, €/т	20	15
Ціна продажу компосту, €/т	0	10
Чиста приведена вартість (NPV) без кредитного фінансування	885 100	564 400
NPV з кредитним фінансуванням	597 000	306 300
Внутрішня норма рентабельності (IRR) без кредитного фінансування	20,5%	16,5%
IRR з кредитним фінансуванням	16,0%	12,3%
Простий період окупності	5,6	6,7

У разі, якщо проект реалізується без залучення банківського капіталу, внутрішня норма рентабельності (IRR) може скласти 16,5–20,5%, с залученням капіталу 12,3–16,0%, простий період окупності 5,6–6,7 років.

Чиста приведена вартість для проекту тривалістю 20 років є позитивною незалежно від залучення кредитного фінансування.

Компостування пов'язане з істотно меншими капітальними витратами по відношенню до інших методів механіко-біологічного оброблення. Такий проект може бути привабливим для зовнішнього інвестора.

Аналіз чутливості

У межах проведення аналізу чутливості економічних параметрів проекту до зміни вхідних параметрів досліджувався вплив таких факторів:

- вхідного тарифу на переробку відходів;
- питомих капітальних витрат;
- ціни на продаж компосту.

Розглянуто діапазон зміни вхідного тарифу на перероблення відходів від 10 до 40 €/т відходів і ціни на продаж компосту від 0 до 10 €/т, а також капітальні затрати в діапазоні 50–100 €/т/рік.

Таблиця 12 – Аналіз чутливості економічних параметрів для проектів компостування

	CAPEX= 50 €/т/рік, ціна компосту = 0 €/т						
Тариф	10	15	20	25	30	35	40
NPV 1	-649 501	127 740	855 108	1 581 879	2 308 650		
NPV 2	-907 613	-130 371	596 997	1 323 768	2 050 539		
IRR 1	-5,3%	10,1%	20,5%	29,7%	38,4%		
IRR 2	-8,9%	6,0%	16,0%	24,8%	33,0%		
SPB	>15	9,6	5,6	3,9	3,0		

CAPEX= 50 €/т/рік, ціна компосту = 10 €/т							
Тариф	10	15	20	25	30	35	40
NPV 1	-173 240	564 400	1 291 171	2 017 942			
NPV 2	-431 351	306 289	1 033 060	1 759 831			
IRR 1	5,0%	16,5%	26,1%	35,0%			
IRR 2	1,1%	12,3%	21,4%	29,8%			
SPB	13,0	6,7	4,5	3,3			
CAPEX= 75 €/т/рік, ціна компосту = 0 €/т							
Тариф	10	15	20	25	30	35	40
NPV 1		-974 252	-183 731	555 892	1 282 663	2 009 434	
NPV 2		-1 361 419	-570 898	168 725	895 496	1 622 267	
IRR 1		-5,3%	5,9%	13,8%	20,5%	26,7%	
IRR 2		-8,9%	2,0%	9,6%	16,0%	22,0%	
SPB		>15	12,3	7,8	5,6	4,4	
CAPEX= 75 €/т/рік, ціна компосту = 10 €/т							
Тариф	10	15	20	25	30	35	40
NPV 1		-492 456	265 184	991 955	1 718 726	2 445 496	
NPV 2		-879 623	-121 983	604 788	1 331 559	2 058 330	
IRR 1		2,1%	10,9%	17,9%	24,3%	30,3%	
IRR 2		-1,7%	6,8%	13,6%	19,6%	25,4%	
SPB		>15	9,1	6,3	4,8	3,8	
CAPEX= 100 €/т/рік, ціна компосту = 10 €/т							
Тариф	10	15	20	25	30	35	40
NPV 1			-814 781	-42 394	692 738	1 419 509	2 146 280
NPV 2			-1 331 003	-558 617	176 516	903 287	1 630 058
IRR 1			0,4%	7,6%	13,4%	18,5%	23,3%
IRR 2			-3,3%	3,7%	9,3%	14,2%	18,8%
SPB			>15	11,0	7,9	6,1	5,0

Таким чином, кінцева собівартість компостування органічних відходів з виробництвом товарного компосту визначається капітальними та експлуатаційними витратами, а також умовами фінансування проекту. Якщо питомі капітальні витрати на проект становлять 50 €/т відходів, що переробляються за рік, собівартість перероблення становить 15–17 €/т залежно від умов і частки залученого банківського капіталу. У разі більш дорогого проекту вартістю 100 €/т собівартість перероблення відходів може скласти 29–32 €/т.

Визначальним економічним параметром проекту є тариф на перероблення відходів. Можливість продажу компосту за ціною до 10 €/т впливає меншою мірою. Важливим фактором є якість компосту. За наявності забруднень і неможливості реалізації продукту як компосту може виникнути необхідність видалення на полігоні і пов'язані з цим витрати.

ЗБІР І УТИЛІЗАЦІЯ БІОГАЗУ НА ІСНУЮЧИХ ПОЛІГОНАХ ТПВ

У Полтавській області утворюється близько 420 тис. тонн ТПВ на рік, при цьому за інформацією Мінрегіону розташовано 537 полігонів ТПВ. Це означає, що ці об'єкти являють собою переважно дрібні неглибокі місця розміщення відходів, на які в середньому надходить менше однієї тисячі тонн ТПВ на рік. На таких звалищах основна частина відходів знаходяться на невеликій глибині переважно в аеробних умовах. При цьому відходи схильні до природного окиснення, а біогаз утворюється в дуже обмеженій кількості.

Вважається, що енергетичну утилізацію (відновлення енергії) 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 ці умови задовольняють полігони, які приймають відходи

територіальних громад сумарне населення яких перевищує 200 тис. мешканців.

У Полтавській області існують два міста, які відповідають цим умовам, а саме Полтава і Кременчук. На полігонах обох міст біогаз вже збирають і виробляють з нього електроенергію починаючи з 2018 року. У Полтаві встановлена електрична потужність енергетичного устаткування дорівнює 1,0 МВт, в Кременчуці — 0,85 МВт. Сумарно в 2020 році на двох полігонах було вироблено, подано в електричні мережі і продано за «зеленим» тарифом 7,8 ГВт·год електроенергії.

Реєстр місць видалення відходів (МВВ) Полтавської області¹⁷ містить 125 об'єктів, з них 88 є звалищами або полігонами ТПВ. Всього в реєстрі представлені 77 звалищ і 11 полігонів. У таблиці 13 наведені дані щодо МВВ, на яких накопичено понад 100 тис. тонн ТПВ.

Таблиця 13 — Найбільші місця видалення відходів Полтавської області

Основне джерело ТПВ	Обсяг ТПВ, тис. т	Станом на ...	Проектна площа, га	Рік початку експлуатації	Найменування МВВ
Кременчук	9 241,2	01.01.2020	28,0	1965	Звалище ТПВ
Полтава	3 275,3	01.01.2019	16,9	1953	Звалище ТПВ
Хорол	665,9	01.01.2020	2,5	1960	Звалище ТПВ
Горішні Плавні (Комсомольськ)	539,9	01.01.2018	12,0	1989	Полігон ТПВ
Кременчук	528,8	01.01.2020	10,3	-	Полігон ТПВ

¹⁷ <https://data.gov.ua/dataset/96-1>

Основне джерело ТПВ	Обсяг ТПВ, тис. т	Станом на ...	Проектна площа, га	Рік початку експлуатації	Найменування МВВ
Миргород	496,2	01.01.2020	12,1	1981	Звалище ТПВ
Козельщина	243,9	01.01.2013	3,0	1987	Звалище ТПВ
Лубни	399,7	01.01.2018	6,4	1982	Звалище ТПВ
Вишняки (Хорол)	247,1	01.01.2012	0,5	2001	Звалище ТПВ
Гадяч	243,9	01.01.2019	4,0	-	Звалище ТПВ
Пирятин	182,3	01.01.2020	16,5	-	Звалище ТПВ
Карлівка	129,5	01.01.2020	15,0	-	Звалище ТПВ

Крім Полтави і Кременчука порівняно великі звалища розташовані в містах Хорол, Горішні Плавні, Миргород. Основним фактором, що впливає на величину газоутворення на звалищі або полігоні, є середня кількість ТПВ, що вивозиться протягом року. Наприклад, для звалища в Хоролі ця величина дорівнює 11 100 т/рік.

Оцінка газоутворення на звалищі міста Хорол (Пирятинський кластер) була проведена з використанням моделі газоутворення, розробленої спеціально для країн Центральної та Східної Європи. У ролі основного вхідного параметра використано графік вивезення відходів на полігон, отриманий за допомогою наявної інформації, а саме, загального обсягу ТПВ, накопиченого на 01.01.2020 і загальної тривалості експлуатації. Оцінки показують, що величина емісії біогазу в 2021 році може скласти 85 м³/год або 0,8 млн м³ на рік. Ця величина відповідає емісії парникових газів 7,5 млн т CO₂-екв. на рік. При ефективності збору 50% така кількість біогазу дозволила б встановити газовий двигун і генератор зі встановленою електричною потужністю 80 кВт.

Якщо не враховувати два найбільших звалища в місті Кременчук та Полтаві, найбільша кількість ТПВ вивозиться на полігон Горішні Плавні, а саме 17 400 т/рік. Аналогічні оцінки показують, що величина емісії біогазу в 2021 році на цьому полігоні може скласти 110 м³/год або 1,0 млн м³ на рік. Ця величина відповідає 9,7 млн т CO₂-екв. на рік. При ефективності збору 50% така кількість біогазу дозволила би встановити газовий двигун і генератор з електричною потужністю 100 кВт.

Наразі мінімальна електрична потужність комерційних проектів збору та утилізації біогазу на звалищах і полігонах становить 330 кВт, а середня – близько 1 МВт. Очевидно, що проекти на розглянутих полігонах не будуть фінансово привабливими. Таким чином можна зробити висновок, що в Полтавській області відсутні незайняті полігони, для яких був би доцільним комерційний збір та утилізація біогазу.

Проте пасивний збір біогазу може бути організований в процесі рекультивації полігону з можливим спалюванням біогазу на факелі. Основною мотивацією для такого заходу є мінімізація емісії в атмосферу потужного парникового газу – метану, а також емісії інших летких органічних сполук.

Незважаючи на те, що у майбутньому імовірно є розвиток технологій механіко-біологічного оброблення відходів з виробництвом біогазу в спеціалізованих реакторах, певна частина потенціалу збору біогазу може бути пов'язана з переходом на будівництво регіональних санітарних полігонів у межах реалізації стратегії управління ТПВ до 2030 року. Зосередження ресурсів на великих об'єктах і чітке дотримання правил експлуатації для санітарних полігонів дозволило би збирати до 75–85% утворюваного біогазу.

ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ ТА ВИСНОВКИ

Вибір технології перероблення відходів має бути частиною розроблення регіонального плану управління ТПВ. Одним із перших пріоритетів плану є визначення розташування регіонального полігону для захоронення ТПВ з використанням принципів співробітництва територіальних громад. Підприємства з перероблення відходів у більшості випадків будуть територіально прив'язані до регіонального полігону. Вибір конкретної технології перероблення залежить від багатьох факторів. Одним з визначальних факторів наразі є собівартість перероблення тонни ТПВ.

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

Зі збільшенням складності технології зростають питомі капітальні витрати. За наявного рівня 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, впроваджуються і плануються перші проекти компостування, а також МБО потужністю не менше ніж 100 тис. т/рік. Останній обставині допомагає те, що законодавство України все ще передбачає використання стимулюючого «зеленого» тарифу на електроенергію з біогазу, зібраного на полігонах або отриманого в результаті МБО.

Вибір відновлення енергії зазвичай визначається такими міркуваннями:

1. можливість отримання власного відновлюваного джерела енергії, що заміщує викопні види палива, такі як природний газ або вугілля;
2. можливість отримання додаткового доходу за рахунок продажу електроенергії та тепла, а в деяких випадках і альтернативного палива.

Необхідно відзначити, що отримання додаткового доходу за рахунок продажу електроенергії та тепла, що отримані з біогазу, в більшості випадків не означає автоматичного досягнення привабливих для інвестора економічних параметрів. Зазвичай для реалізації таких проектів необхідно істотне підвищення тарифу на перероблення відходів. Винятком із цього правила є проекти збору та утилізації біогазу в місцях захоронення відходів.

Що стосується біологічного оброблення, можна вважати, що первинним акцентом має бути домашнє компостування та компостування зелених відходів (наприклад, відходів садів і парків), принаймні в короткостроковій перспективі. У середньостроковій і довгостроковій перспективі біологічна стабілізація органічних відходів за допомогою заводів МБО може бути найкращим практичним варіантом реалізації проекту¹⁸.

Враховуючи високі витрати, біологічне оброблення окремо зібраних біологічних відходів або органічної фракції залишкового потоку ТПВ не буде життєздатним за відсутності значного збільшення екологічного податку або тарифу на видалення необроблених відходів.

¹⁸ Supporting investments in sustainable municipal management and recycling in Ukraine. Draft MSW strategy. — EBRD. — March 2017.

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 очищення димових газів. Винятком є спалювання RDF / SRF цементними заводами.

Перерахуємо ще раз необхідні умови для розвитку технологій біологічного оброблення побутових відходів:

- Розвиток економіки країни, поступове підвищення доходу / ресурсу середнього домашнього господарства України.
- Розвиток регіонального / кластерного підходу на базі співробітництва територіальних громад. Основні перспективи розвитку біологічного оброблення побутових відходів пов'язані саме з кластерним сценарієм. Тільки кластерний підхід дозволяє консолідувати достатні потоки відходів для ефективного оброблення та мінімізації захоронення відходів на полігонах.
- Поступове впровадження роздільного збирання ТПВ та систем розширеної відповідальності виробників (РВВ) з метою підвищення якості вторинної сировини/ресурсів.
- Впровадження компостування «на дому» у напівміській та сільській місцевості.
- Пошук та призначення місць для нових полігонів і заводів з перероблення відходів та поступове закриття існуючих полігонів, які не відповідають вимогам екологічної безпеки.

- Поступове впровадження найкращих доступних технологій та методів керування для біологічного оброблення відходів в порядку підвищення питомої вартості починаючи з компостування і стабілізації змішаних відходів.
- Комунікація з громадськістю щодо необхідності підвищення тарифів на керування побутовими відходами до економічно обґрунтованого рівня з урахуванням рівня доходів населення.
- Підготування можливих та придатних для інвестування проектів.
- Гармонізація спільних зусиль державного та приватного інвестиційних секторів.
- Створення умов для гарантованого забезпечення відходами тривалих проектів (довгострокові договори)
- Радикальне підвищення вартості захоронення необроблених змішаних відходів.
- Реалізація демонстраційних проектів МБО.

Відзначимо, що наведені вище рекомендації та висновки мають узагальнений характер. Реалізація інвестиційних проектів для конкретних територіальних громад або об'єднання територіальних громад вимагає врахування великої кількості місцевих факторів. Це можливо лише у межах підготовки техніко-економічного обґрунтування з залученням представників професійного співтовариства.

БІОЛОГІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ ВІДХОДІВ. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ УКРАЇНИ.



Найкращі доступні технології та методи керування для біологічного оброблення відходів (довідник із перекладом офіційних документів ЄС)



Аналіз можливості впровадження біологічного оброблення ТПВ та проектів збору біогазу на полігонах ТПВ на прикладі існуючих варіантів систем керування відходами в Полтавській області

Український центр європейської політики (УЦЕП) – це незалежний аналітичний центр аналізу та вироблення політики, який був заснований у 2015 році. Наша місія — сприяти проведенню реформ в Україні задля сталого економічного зростання та побудови відкритого суспільства в партнерстві з інституціями на всіх рівнях.

Пріоритетні напрями діяльності:

- підготовка та розповсюдження експертно-аналітичних матеріалів для сприяння євроінтеграційним реформам в Україні;
- популяризація європейських цінностей в українському суспільстві;
- інформування суспільства про можливості і переваги тісної співпраці з ЄС;
- сприяння посиленій економічній, політичній та торговельній співпраці України з Європейським Союзом;
- інформування міжнародної спільноти про виклики і досягнення в здійсненні Україною реформ, передбачених Угодою про асоціацію між Україною та ЄС.