

Енергосберегающие технологии

УДК 665.66
DOI: 10.33070/etars.3.2019.03

Карп І.М., акад. НАН України, докт. техн. наук, проф.,
П'яних К.Є., докт. техн. наук
Інститут газу НАН України, Київ
вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: karpkiev@gmail.com

Технологічні аспекти енергетичного використання твердих побутових відходів

Проаналізовано технологічні аспекти енергетичного використання твердих побутових відходів та можливості застосування деяких технологій в Україні. Визначено світові тренди у технологіях утилізації відходів. При частковому сортуванні відходів можна використати для виробництва енергії половину їх енергетичного потенціалу, що для України оцінюється у еквіваленті природного газу в 1,5 млрд м³. Частка харчових відходів близька до 40 %. Їх доцільно переробляти сумісно з відходами сільськогосподарської діяльності та енергетичними рослинами на біогаз та біометан. При цьому виробництво біометану можна збільшити у кілька разів. Виробництво електричної та теплової енергії з біогазу потребує допомоги держав у вигляді спеціальних тарифів. Набуває поширення використання біометану поряд з природним газом у стиснутому та зрідженому стані як моторного палива. Біогазові комплекси використовуються як балануючі потужності електромереж. Найбільш поширеною технологією використання енергетичного потенціалу твердих побутових відходів є спалювання. Системи очищення викидних газів сміттеспалювальних заводів досягли ступеню досконалості, що дає можливість розміщувати їх впритул до житлових масивів. *Бібл. 15, рис. 6, табл. 2.*

Ключові слова: тверді побутові відходи, харчові відходи, біометан.

Стан проблеми управління відходами

Енергетичне використання твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні відповідає одному з основних завдань «Нової енергетичної стратегії України на період до 2035 року», а саме: зменшенню залежності держави від імпорту первинних енергетичних ресурсів [1]. Автори статті повні розуміння того, що єдиного рішення щодо технології утилізації ТПВ для кожного міста або регіону не існує. Тому мета статті — на основі вивчення міжнародного досвіду винайти та запропонувати найкраще

технологічне рішення енергетичної утилізації ТПВ, придатне для умов України, вивчити можливість його застосування в Україні з урахуванням економічного стану держави та існуючого законодавства, розробити та спрямувати керівним органам держави відповідні рекомендації.

У 2017 р. в Україні прийнято «Національну стратегію управління відходами до 2030 року» [2]. У Стратегії зазначається, що в Україні функціонує 460 міст, близько 500 районів, 885 селищ міського типу, 28388 сіл. Обсяги утворення твердих побутових відходів в Ук-

Таблиця 1. Поводження з побутовими відходами в Україні та країнах ЄС

Поводження з побутовими відходами	Україна, млн т*	Країни ЄС**, млн т	Швеція**, млн т	Польща**, млн т
Всього утворено відходів	9,23	194	4,377	10,863
Захоронення, видалення	8,69 (94,07 %)	61 (31,4 %)	0,035 (0,8 %)	4,808 (44,3 %)
Спалювання	0,25 (2,73 %)	64 (33,0 %)	2,241 (51,2 %)	1,439 (13,2 %)
Перероблення	0,3 (3,2 %)	69 (35,6 %)	2,101 (48 %)	4,616 (42,5 %)

* Дані Мінрегіону України з коригуванням за розрахунками Омеляненко Т.Л., http://nowaste.com.ua/wp-content/uploads/2016/11/Omelianenko_SHv_forum.pdf; ** дані Євростату.

раїні у 2016 р. становили 49 млн м³, або близько 11 млн т (без урахування тимчасово окупованих територій, Автономної Республіки Крим та м. Севастополя). Незважаючи на те, що протягом останніх 20 років чисельність населення України постійно скорочується, обсяги утворення побутових відходів збільшуються.

Показник утворення відходів в Україні у середньому становить 250–300 кг/рік на людину та має тенденцію до зростання. Стратегія покладає відповідальність за організацію послуг щодо поводження з ТПВ на органи місцевого самоврядування.

Слід зазначити, що державний облік та статистика побутових відходів в Україні мають суттєві недоліки. У статистичній звітності та нормативно-правових актах щодо поводження з побутовими відходами оперують як об'ємними, так і ваговими категоріями. Перерахунок одних одиниць в інші призводить до значних похибок під час проведеної оцінки, прогнозів тощо.

Домінуючим способом поводження з побутовими відходами в Україні залишається їх вивезення та захоронення на полігонах та сміттєзвалищах. У 2016 р. лише 5,8 % утворених побутових відходів перероблено, в тому числі 2,71 % (1,3 млн м³) утилізовано (спалено), 3,09 % (1,53 млн м³) спрямовано на інші сміттєпереробні комплекси та близько 0,003 % (2000 м³) компостовано. Решту (близько 94 %) розміщено на полігонах та сміттєзвалищах, яких станом на 2016 р. в Україні налічувалося 5470 одиниць, з них 305 (5,6 %) перевантажені, 1646 одиниць (30 %) не відповідають нормам екологічної безпеки. За експертними оцінками, більше 99 % функціонуючих полігонів не відповідають Європейським вимогам (Директиві Ради № 1999/31/ЄС від 26 квітня 1999 р. «Про захоронення відходів»). Як правило, внаслідок недостатнього рівня контролю або відсутності належної системи поводження з побутовими відходами, за офіційними даними, щороку утворюється понад 27 тис. несанкціонованих сміттєзвалищ. За даними Держстату, їх площа становить 12 тис. км².

Поводження з відходами в Україні порівняно з ЄС у цілому та деякими країнами Європи демонструє табл.1, підготовлена А.Войціховською, членом міжнародної неурядової організації «Екологія. Право. Людина» [3].

Як видно з табл.1, з точки зору енергетичного використання ТПВ прикладом може бути Швеція, де спалюється близько 50 % цих відходів. По аналогії в Україні можна було б використати як первинне паливо приблизно 4,5 млн т ТПВ, що відповідає 1,28 млн т умовного палива (теплотворна спроможність ТПВ прийнята 2000 ккал/кг, або 8,36 МДж/кг). Оскільки в містах для опалення використовується в основному природний газ, спалювання такої кількості ТПВ могло би замінити або вивільнити для інших потреб 1,5 млрд м³ природного газу. Наведені оцінки можна було б вважати такими, що відповідають дійсності, лише при умові організованого збору сміття при відсутності несанкціонованих звалищ, кількість відходів на яких невідома. Обов'язковою умовою ефективного використання ТПВ як палива та сировини для подальшої переробки є запровадження їх сортування.

Важливим компонентом системи управління відходами та їх утилізації є законодавча база. В Україні основним регулюючим документом щодо поводження з відходами є закон «Про відходи», прийнятий ще у 1998 р. [4]. Законодавство доповнюють закони щодо конкретних видів відходів: «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про поводження з радіоактивними відходами», «Про металобрухт», «Про житлово-комунальні послуги», «Про хімічні джерела струму», «Про ветеринарну медицину», «Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції», Кодекс України про надра та інші нормативно-правові акти.

У 2017 р. Верховна Рада України відповідно до статті 32 Закону України «Про відходи» зобов'язала органи місцевого самовря-

дування запровадити з 1 січня 2018 р. сортування всього сміття за видами матеріалів та розділяти його на придатне для повторного використання, для захоронення та небезпечне. Ця норма закону поки що має суто декларативний характер внаслідок відсутності необхідної інфраструктури та зацікавленості суб'єктів господарювання. Як інформує неурядова організація «Екологія. Право. Людина», у Верховну Раду подано законопроекти, в яких пропонується відтермінувати норму про заборону захоронення неутілізованих побутових відходів з 1 січня 2018 р. до 1 січня 2025 р. У випадку їх прийняття з'явиться час для реалізації заходів щодо виконання цього закону.

Наведені вище дані характеризують стан проблеми у цілому, але не є дороговказом у виборі технічних та організаційних рішень щодо поводження з відходами в Україні. Прийняття рішень про поводження з ТПВ є складною проблемою та має враховувати багато факторів. До основних факторів можна віднести пріоритетний напрямок утилізації — енергетичний або санітарний, економічний стан держави, рівень життя населення, тобто його можливість оплачувати технологічний процес утилізації відходів від збору до перероблення, знешкодження та захоронення залишків, кліматичні умови в регіоні, характерний для даного міста або регіону склад відходів та їх обсяг.

При розгляді проблеми енергетичного використання відходів в Україні необхідно вирішити низку задач, необхідних для вибору технологій утилізації та організації попередньої підготовки для утилізації та транспортування. Необхідно визначити кількість відходів для даного міста, поселення або регіону, оцінити частку відходів, яка може бути спрямована для використання як енергетична сировина, який склад відходів найбільш характерний для даного міста або місцевості, дослідити їх густину та фракційний склад.

Принципово важливим питанням є визначення потужностей енергетичних установок утилізації відходів, вирішити переваги будівництва одиничних підприємств великої потужності чи розбити процес утилізації на ряд відносно невеликих потужностей з урахуванням транспортних витрат та наявності територій для їх розміщення. Необхідно вирішити питання про цілеспрямованість енергетичного використання (на отримання переважно електричної або теплової енергії або іншого виду палива: біогазу, біометану, іншого газоподібного) генераторного або синтез-газу, рідкого у вигляді важкого котельно-пічного палива або твердого у вигляді пелет RDF (Refuse Derived Fuel).

Визначення кількості відходів

Тверді побутові відходи, частка яких може бути використана як енергетичний ресурс, утворюються в більшості у містах та селищах міського типу, оскільки в них здійснюється організоване їх збирання.

Виробником ТПВ є житловий сектор та бюджетні установи. Як зазначалося, середній обсяг утворення відходів на людину становить 270–300 кг/рік, але дослідження, виконане проектними установами деяких міст України, показують, що він може суттєво відрізнитися від середнього значення як в одну, так і в іншу сторону.

Так, за даними на 2003–2004 рр., у багатоповерхових будинках у Харкові утворення відходів складало 0,9, а в Одесі 2,66 м³/чол. на рік, причому у приватному секторі питомий обсяг ТПВ був більшим, ніж у багатоповерхівках. Це означає, що для кожного міста перед вибором рішення щодо поводження з відходами їх обсяг потрібно визначати окремо.

Частка відходів як потенційної енергетичної сировини

Спираючись на дані Євростату, Європейська торгівельна асоціація постачальників технологій «Відходи в енергію» (European Suppliers of Waste-to-Energy Technology (ESWET)) відзначає тенденцію країн-членів ЄС збільшити до 2030 р. частку рециклінгу ТПВ до 65 %, частку захоронення їх зменшити до 10 %.

Ця тенденція особливо помітна в Естонії, Литві та Фінляндії, де створюються нові потужності по переробленню та енергетичному використанню ТПВ. У результаті на енергетичне використання буде спрямовуватися приблизно 25 % відходів. Одночасно зазначається, що у таких країнах, як Болгарія, Кіпр, Хорватія, Чехія, Греція, Угорщина, Латвія, Португалія, Румунія та Іспанія, резерв переробки ТПВ великий, оскільки 40 % ТПВ потрапляє на звалища [5]. У той же час у багатьох літературних даних ця частка оцінюється у 40 %.

В роботі [6] з посиланням на [7] наведено усереднений склад відходів для України (табл.2).

З табл.2 видно, що частка горючих відходів (з пластмасою, без харчових відходів) становить 37,8 %. Таким чином, частку ТПВ, яка може бути спрямована для отримання енергетичних продуктів, можна приймати у межах 30–50 % (остання цифра — для Швеції, див. табл.1).

Таблиця 2. Усереднений склад відходів для України

№.№ п./п	Відходи	Маса, %
1	Харчові	36,1
2	Папір та картон	14,3
3	Садові (зелені) відходи	9,8
4	Деревина	1,9
5	Гума, шкіра, кістки, солома	2,2
6	Тканина	3,4
7	Інші органічні	0,4
8	Метал	2,3
9	Будівельні матеріали	3,6
10	Скло та кераміка	6,2
11	Пластмаса	5,8
12	Інші неорганічні	14,1

Енергетичне використання харчових відходів

Частка харчових відходів порівнянна з часткою горючих відходів, її енергетичний потенціал достатньо великий, але в Україні не використовується. Суть енергетичного використання харчових та змішаних відходів полягає у їх ферментації з виробництвом біогазу, який у співвідношенні близькому до 50 : 50 складається в основному з метану та оксиду вуглецю. Після видалення з біогазу CO₂ залишається газ із вмістом метану більше 90 %, близьким до складу природного газу. Такий газ називають біометаном або іноді «відновленим природним газом». Слід прийняти до уваги, що на практиці при виносі технологічного обладнання за межі міст до харчових відходів приєднують відходи сільського господарства. Наведена далі інформація у більшості отримана з численних повідомлень директора консалтингової компанії з питань біогазу «Акорд» Ю.Елштейна у Фейсбуку [8].

Потреба у анаеробній ферментації харчових та змішаних відходів у майбутній круговій економіці буде зберігатися та навіть зростати. Вона є наріжним каменем менеджменту відходів та кругообігу біомаси, а також циркуляції поживних речовин. Крім того, це поновлюване джерело енергії (біогаз), здатне забезпечувати не лише базове навантаження електромереж, але й гнучкий баланс між попитом та пропозицією.

Звіт Європейської біогазової асоціації показав, що кількість біогазових комплексів у Європі за останнє десятиріччя стабільно зростала та у 2017 р. досягла 17783 од., кількість заводів з ви-

робництва біометану — 540. Загальна встановлена потужність біокомплексів склала 10532 МВт, обсяг виробленої з неї електроенергії становив 65179 ГВт-год. Виробництво біометану виросло до 19352 ГВт-год. У 2017 р. виробництво біометану здійснювалося у 15 європейських країнах; у 2018 р. до них приєдналися Бельгія, Естонія та Ірландія. У даний час сектор зазнає зрушення по відношенню до кінцевого продукту в сторону «відновленого природного газу», причому це стосується як діючих комплексів, так і тих, що будуються.

Кількість біогазових станцій у Німеччині у 2018 р. становила 9494 од. Обсяг виробництва біогазу в Німеччині становить сьогодні близько 50 % від всього обсягу, що виробляється у ЄС. Існують проблеми щодо зеленого тарифу та використання великої кількості площ під злакові культури, що використовуються для виробництва біогазу.

Компанія з Нідерландів Bright Biomethane оголосила про початок будівництва першого заводу з виробництва біометану в Бельгії. Завод будується на базі існуючого біогазового комплексу, який буде доукомплектований обладнанням для виробництва біометану. В даний час комплекс щорічно переробляє 35 тис. т садових та харчових відходів місцевих домогосподарств. Замовником є компанія по управлінню відходами IOK Afvalbeheer.

У Китаї, як повідомляє агентство Синьхуа, освоєнням виробництва біогазу займається Китайська корпорація атомної енергетики CGN. Обсяг поставок біогазу у 2018 р. має скласти 500 млн м³ (за матеріалами news, Rambler.ru).

У даній роботі не розглядаються технологічні особливості та відмінності технологій з виробництва біогазу та біометану. З посиланням на дані компанії Акорд Лтд. далі розглядаються вартісні показники виробництва біогазу та біометану.

Вартість проекту по виробництву біогазу потужністю 1 МВт варіюється у межах 3–4 тис. євро за 1 кВт. Чим менша потужність біогазової станції, тим більша її питома вартість. При потужності 50–100 кВт вартість 1 кВт встановленої потужності становить 10–12 тис. євро. Недоцільність будівництва малих біостанцій для виробництва електричної енергії очевидна. Це не стосується саморобних побутових установок для виробництва біогазу для власних потреб. Таких установок чимало у Китаї, Індії, країнах Південно-Східної Азії та Африканського континенту.

Вартість біогазового комплексу встановленою потужністю 5 МВт з додатковою системою доочищення біогазу до біометану становитиме

не більше 22–23 млн євро. При завантаженості 8000 год/рік він вироблятиме 9 млн м³ біометану. При вартості метану 350 євро/тис. м³ прямий термін окупності комплексу становитиме 7 років. Для виробництва непотрібне придбання концесії, відсутні рентні платежі, сировиною можуть бути відходи та побічні продукти тваринництва та рослинництва, харчові відходи людської життєдіяльності.

У численних публікаціях підкреслюється, що виробництво електроенергії з біогазу та виробництво біометану для закачування у газові мережі має отримувати державну підтримку. Така підтримка здійснюється в усіх європейських країнах та в Україні. Так, у Великобританії діє так званий RHI-тариф, згідно якому тариф на біометан становить 5,6 пенси за 1 кВт·год. По цьому тарифу оплачуються перші 40 тис. МВт·год теплової енергії, що подається у вигляді біометану у газові мережі. Тариф встановлюється на період 20 років після початку роботи біогазового комплексу. В Україні тариф на електроенергію, отриману з біогазу, встановлено у розмірі 12,38 євроцент/кВт·год, що у 2,2 рази перевищує тариф для населення. Зараз в Україні використовується біометану 84 млн м³/рік для виробництва електроенергії за «зеленим» тарифом (100 МВт). У Німеччині для виробництва електроенергії використовується 8,3 млрд м³ біометану, встановлена потужність генерації дорівнює 4 ГВт; коефіцієнт її використання 0,8 на відміну від значно гіршого використання вітрових та сонячних потужностей. За останні 10 років Німеччина наросила виробництво біометану у 5 разів.

Використання біометану у транспортній енергетиці

Існує сектор економіки, в якому ефективність використання біометану достатньо висока для того, щоб уникнути субсидування. Таким сектором є транспортна енергетика, а саме: використання біометану та природного газу для заміщення ними рідких моторних палив. У Європі та ряді країн світу зростає інтерес до використання природного газу як моторного палива з економічних та екологічних міркувань. Газ використовується як у газоподібному, так і у зрідженому стані. Використання стиснутого (CNG – compressed natural gas, CBG – compressed biogas), або зрідженого природного газу, або біометану (LNG, LBG – liquefied natural or biogas) є поширеним трендом останнього часу у транспортній енергетиці.

У цьому секторі розроблені та впроваджуються об'ємні комплексні програми, які охоплюють декілька країн або великі регіони. Особлива увага приділяється великовантажним перевезенням та громадському транспорту. Шведсько-фінська компанія Gasum створює цілу систему використання зрідженого біометану та природного газу для міждержавних перевезень у країнах Північної Європи: Швеції, Фінляндії та Норвегії. Створена мережа заправок трейлерів зрідженим метаном. На початок 2018 р. функціонувало 4 заправокних станцій, на 2018 р. було заплановано будівництво 10-ти та визначено місця запланованого будівництва ще 36 станцій LNG та LBG.

Програма базується на таких перевагах використання газового палива, як технічна доступність, цінова конкурентоспроможність, екологічність, менших у порівнянні з дизельним паливом викиди твердих часток, оксидів азоту та вуглецю. Зазначаються конкурентні переваги також перед електротранспортом у зберіганні запасу енергії на борту транспортного засобу. Для зберігання енергії, еквівалентної 100 л дизельного палива, необхідно приблизно 3,5 т літій-іонних батарей (відповідно до щільності енергії батареї 280 Вт/кг). Вантажівки, що працюють на ринку LNG, здатні забезпечити пробіг більше 1600 км з обертовим моментом та силовими характеристиками, еквівалентними дизельному пальному.

За даними Європейської асоціації по транспорту, на природному газі (Natural Gas Vehicles Association Europe – NGVA) на цей час в Європі працюють на CNG 16 тис. автобусів та 10 тис. вантажівок; 4000 вантажівок працюють на LNG. Транспорт на газі обслуговують 3525 заправок CNG та 182 заправок LNG, з них в Італії – 1270, у Німеччині – 852, у Швеції – 182. В Україні налічується близько 300 газонаповнювальних компресорних станцій та близько 20 тис. транспортних засобів на газі. У перспективі можна очікувати, що ця кількість буде збільшуватися за рахунок біометану при будівництві нових потужних біогазових заводів, у яких для виробництва біогазу будуть використовуватися поряд із сільськогосподарськими харчові відходи міст та поселень.

Програма широкого використання метану як моторного палива на транспорті прийнята у штаті Нью Джерсі, США. Відомі автобудівні компанії розробляють нові моделі цього типу транспортних засобів. Деякі приклади подібних розробок наведені на рис.1.

Компанія Iveco визначає ключову роль природного газу та біометану в енергетичному

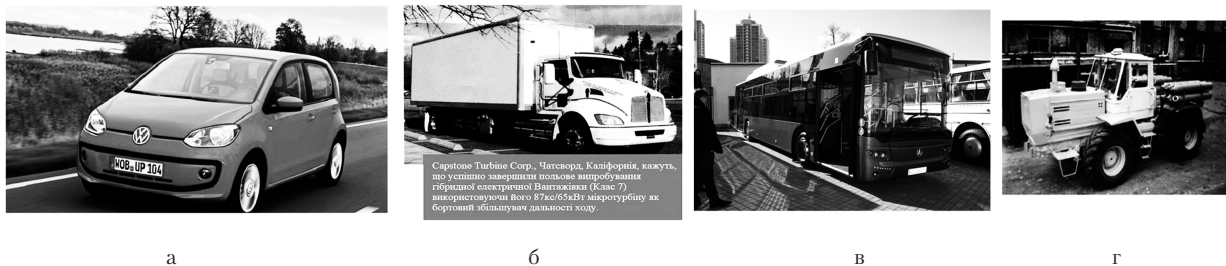


Рис.1. Транспортні засоби: а – легковий автомобіль на стиснутому метані фірми Volkswagen (Німеччина), витрата газу – $4 \text{ м}^3/100 \text{ км}$; б – рефрижератор фірми Capstone (США) з гібридним двигуном – газова мікротурбіна + LiIon акумулятор; в – міський автобус на стиснутому газі компанії «Львівські автобусні заводи» (Україна); г – трактор Т-150 на стиснутому метані (Україна).

переозброєнні транспортного сектору. Свою концепцію представники компанії представили на відкритті нового заводу по виробництву біометану та станції для заправки біометаном, побудованих силами компаній Pot au Pin Energie, Air Liquide і Carrefour у місті Цестас у Франції (igrader.ru 13.08.2018). Після очищення біометан надходить у газорозподільну мережу GRDF, яка доставляє його на газові заправні станції по всій країні. Газові вантажівки мережі супермаркетів Carrefour використовують біометан для транспортування товарів, завершуючи тим самим цикл безвідходної економіки. Компанія Iveco пропонує повний асортимент екологічно чистих транспортних засобів, до якого входять легкі комерційні автомобілі Daily Blue Power Hi-Matic Natural Power, вантажні автомобілі Eurocargo NP и Stralis NP, мікроавтобуси Daily Minibus NP, автобуси Urbanway и Crealis, а також нещодавно випущений туристичний автобус Crossway LE NP.

В Естонії біометан становить третину від всієї енергії, що виробляється відновлювальними джерелами. Виробництво дотується Центром екологічних інвестицій. Центр підтримує будівництво 12 газозаправних станцій загальною вартістю 2,23 млн євро.

Біометан з відходів стає об'єктом міжнародної торгівлі. Голландська компанія Essent вперше в історії заключила контракт на імпорт біогазу з біогазового заводу Великобританії. У 2017 р. заводом було поставлено на експорт 20 млн м^3 біометану, що відповідає річному його виробництву біогазовим комплексом встановленою потужністю 5 МВт.

Компанія Акорд Лтд. наводить розрахунки, які говорять про нібито недоцільність оснащення біогазових установок системами виробництва біометану: для отримання 1000 м^3 біометану потрібно 2000 м^3 біогазу, при спалюванні якого можна отримати (нетто) 4000 кВт·год електроенергії та продати її державі за майже 500 євро

при вартості 1000 м^3 природного газу близько 350 євро. При цьому не враховується, що 1000 м^3 біометану можуть замінити 1000 л рідкого моторного палива, які в еквіваленті коштують в цей час в Україні 830 євро (925 дол.)

Ще кращі показники мають місце при виробництві біометану з газу звалищ, коли витрати на виробництво біогазу відсутні. Собівартість виробництва біометану становить менше 150 євро за 1000 м^3 ; муніципальний біометановий комплекс працює без зеленого тарифу, без приєднання до газових або електричних мереж. Економія від переведення великовантажного муніципального транспорту з дизельного пального на біометан дає можливість швидко повернути необхідні інвестиції.

З енергетичної точки зору представляє інтерес використання біогазових комплексів як балансуєчих потужностей електромереж. Компанія Акорд Лтд. з посиланням на німецькі матеріали надає характеристики одного з таких комплексів, побудованого у 2012 р. Назва комплексу – Naturenergie Osteraue, його встановлена потужність 837 кВт, він працює близько 16 год/доб із середньою потужністю 563 кВт. Об'єм газосховища – 6000 м^3 , робоча температура – 40 °С. Покупець електроенергії – ENERGY2MARKET (E2M). Теплова енергія використовується для опалення та гарячого водопостачання приватних домогосподарств; дигестат використовується володарем як добриво. Обсяг інвестицій – 2500 тис. євро.

Таким чином, харчові відходи є вагомим енергетичним ресурсом. Їх слід піддавати ферментації окремо або у суміші з сільськогосподарськими відходами приміських господарств з метою отримання біогазу або в кінцевому результаті біометану. Виробництво електроенергії з біогазу та біометану не є самоокупним, тому потребує державної підтримки у вигляді спеціальних тарифів на вироблену енергію. Економічно виправданим є використання біометану як

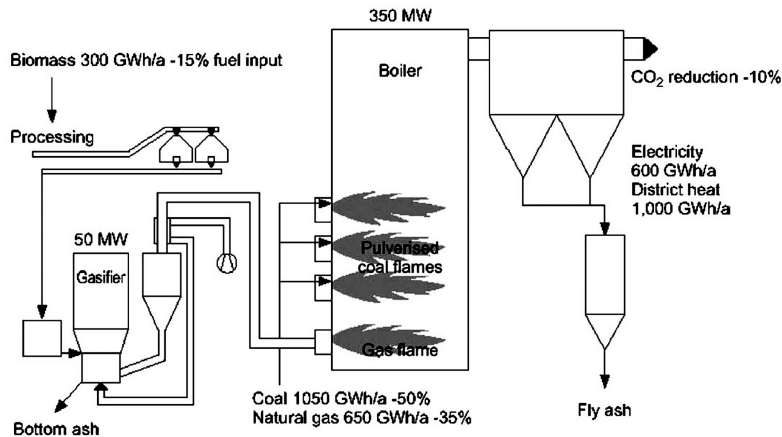


Рис.2. Газифікаційна установка компанії Foster Wheeler у місті Lahti (Фінляндія).

моторного палива транспортних засобів. Цей напрямок набуває все більшого поширення у світі. Сортування ТПВ з метою вилучення з них харчових відходів та ферментацію можна здійснювати безпосередньо на площадках сміттєспалювальних заводів (ССЗ).

Основні технології енергетичного використання ТПВ

Газифікація відходів. У світі розроблено значну кількість технологій газифікації органічних речовин: у стаціонарному шарі, киплячому шарі, у потоці, у соляному розплаві. Основним аргументом для застосування газифікаційних технологій є екологічне чисте спалювання генераторного газу, продукти спалювання якого потребують мінімальних витрат на очищення порівняно з вихідним твердим паливом. При газифікації певних видів сировини, наприклад, деревинних відходів побічні продукти газифікації можуть являти самостійну цінність; у наведеному прикладі це деревинне вугілля.

Принциповими труднощами процесу газифікації твердих відходів, особливо ТПВ, є їх гетерогенність. Можливим рішенням проблеми є виробництво штучного палива з органічної частини відходів – RDF (refuse derived fuel) – гомогенного з контрольованими характеристиками. Розширений огляд застосування газифікаційних технологій наведено у [9]. Автори роботи віддають перевагу комбінованим процесам з використанням декількох палив: вугілля, природного газу та генераторного газу, отриманого газифікацією біопалив.

Приклад такого енергоблоку потужністю 350 МВт показаний на рис.2. Енергоблок збудований компанією Foster Wheeler у 1999 р. у Фінляндії. Частки вугілля, природного газу та біопалива становлять відповідно 50, 35 та 15 %. Основна мета такої комбінації палив – зменшення викидів CO₂ в атмосферу. Вид біомаси не вказаний, але з вигляду схеми можна припустити, що вона гомогенізована. Однак виникають сумніви щодо можливості використання для попередньої газифікації непідготовлених ТПВ за цією технологією.

Представляє інтерес рекуперативний процес газифікації несортованих відходів, розроблений компанією Bellwether Gasification Technologies Ltd. [10]. Повідомляється, що запропонована технологія (рис.3) дає можливість переробляти, крім несортованих ТПВ, також промислові відходи: автопокривки, залишки від рециклінгу, сільськогосподарські відходи, біомасу, а також небезпечні відходи. Деякий час завод працював у м. Брашов (Румунія), але був демонтований, як повідомила компанія-розробник, з економічних причин. Максимальна потужність заводу – 12 т/год, теплова потужність по генераторному газу – 17 МВт. Аналогічний завод втричі меншої потужності по IMG-технології був збудований у місті Anxin (Китай), який згодом був перенесений в іншу місцевість. Після удосконалення та доведення технології подібні ССЗ могли б бути прийнятні для будівництва у малих та середніх містах України.

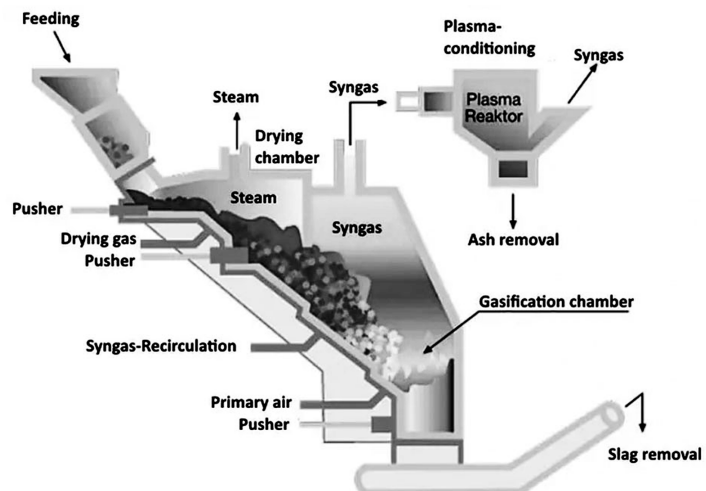


Рис.3. Сміттєспалювальний завод за IMG-технологією газифікації [10].

Інформації про практичну реалізацію технологій газифікації ТПВ небагато, внаслідок складності технологій їх суть не розкривається. Французька компанія SUEZ повідомляє, що вона керує повним циклом поводження з відходами у багатьох регіонах Великобританії, працюючи за контрактами Приватної фінансової ініціативи та Державно-приватного партнерства. Компанія експлуатує сім об'єктів WtoE, які виробили у 2017 р. 1195 ГВт·год електроенергії, та у цей час будує установку газифікації відходів у графстві Surrey для перероблення 250 тис. т відходів потужністю 25 МВт. Про технологію газифікації не повідомляється.

Компанія Synova Power запатентувала технологію газифікації, яка, як зазначено у повідомленні, здатна переробляти всі види відходів: муніципальні, сільськогосподарські, лісні, комерційні – на вуглецево нейтральний синтетичний природний газ, який може бути використаний як паливо або хімічна сировина. Суть технології не розкривається, але стверджується, що її використання може забезпечити близько 15 % світової потреби в енергії, що слід розглядати як перебільшення [11]. У підсумку можна зробити висновок, що газифікаційні технології перероблення ТПВ будуть мати обмежене застосування, оскільки їх використання обмежується необхідністю спеціальної підготовки вихідної сировини з метою її гомогенізації та відповідно додатковими витратами.

Піроліз. Піроліз найчастіше пропонується для використання енергетичного потенціалу біомаси та ТПВ, але він ще не знайшов широкого застосування.

Детальний опис цієї технології за аналізом її недоліків та переваг показує, що установки такого типу після детальних випробувань могли б бути використані в Україні для утилізації підготовлених ТПВ у вигляді RDF та мулів стічних вод у невеликих та середнього розміру містах [12]. При цьому як матеріал корпусу та шнека доцільно було б використати кислотоустійкий чавун, алюмо-кремнієвий сплав або інші підходящі матеріали та покриття, дослідити хімізм процесу та його екологічні характеристики, визначити допустимі значення вологості та зольності. Слід приймати до уваги витрати на попередню підготовку палива.

Спалювання ТПВ. Це найбільш поширений підхід до утилізації ТПВ, який реалізується за технологіями спалювання у киплячому шарі, обертових печах, котлах з рухомим подом. Ще у 2010 р. у країнах ЄС працювало 395 ССЗ, серед них 128 у Франції, 73 у Німеччині, 51 в Італії, 22 у Великобританії, 30 у Швей-

царії, 22 у Бельгії. В Україні є один ССЗ. Сміттєспалювальні заводи будуються у Великобританії, Литві, Польщі, Китаї, Індії, Австралії, Дубаї та інших країнах. Їх будівництву сприяє заборона депонування сміття та мулу на полігонах. Не можна обійти увагою участь енергетичних компаній у розширенні ресурсної бази енергетики за рахунок використання різноманітних відходів, у першу чергу ТПВ, та забезпечення вирішення двоєдиної задачі енергетики та екології. Як приклад, у цей час під Стокгольмом завершується будівництво крупного ССЗ за рахунок інвестицій від німецької компанії E.ON. Інвестиції складають близько 500 млн євро; термін окупності становить 40 років.

Тут не розглядатимуться технології спалювання ТПВ у киплячому шарі та обертових печах. Киплячий шар потребує сировини однорідного фракційного складу та значних витрат на її підготовку, а обертові печі пов'язані з великими капіталовкладеннями.

Далі розглядаються два приклади організації технології спалювання у котлах, які можуть бути використані в Україні.

Сміттєспалювальний завод у м. Уппсала, Швеція, введений в експлуатацію у 2008 р., знаходиться, як і більшість ССЗ, у державній власності. Завод забезпечує дві третини потреб міста в електроенергії та газі. Чисельність населення міста – близько 160 тис. осіб. Схема заводу показана на рис.4. Він знаходиться на відстані 300 м від житлової забудови [13]. Близько 70 % електроенергії, що виробляється, витрачається на підігрівання води, яка через теплообмінники подається у міські теплові мережі. Кількість працівників – 100 чол., половина з яких є водіями сміттєвозів. У кожній зміні зайнято 15 працівників; підприємство максимально автоматизовано. Завод переробляє власне сміття, надає послуги з утилізації сміття, завезеного з Великобританії. За переробку 1 т британського сміття завод одержує 70 євро.

У періоди пікових навантажень при нестачі сміття для виробництва необхідної кількості електроенергії на заводі використовується торф, що імпортується з Білорусі. Торф спалюється в окремій котельні на території заводу, оскільки спалювання торфу не потребує складної системи очищення. Використання торфу економічно більш вигідне, але основний дохід підприємство отримує не за продаж електроенергії або газу, а від платні за утилізацію сміття. Передбачається заміна торфу деревинними відходами. У собівартості перероблення відходів близько 40 % становлять витрати на заходи екологічної безпеки.

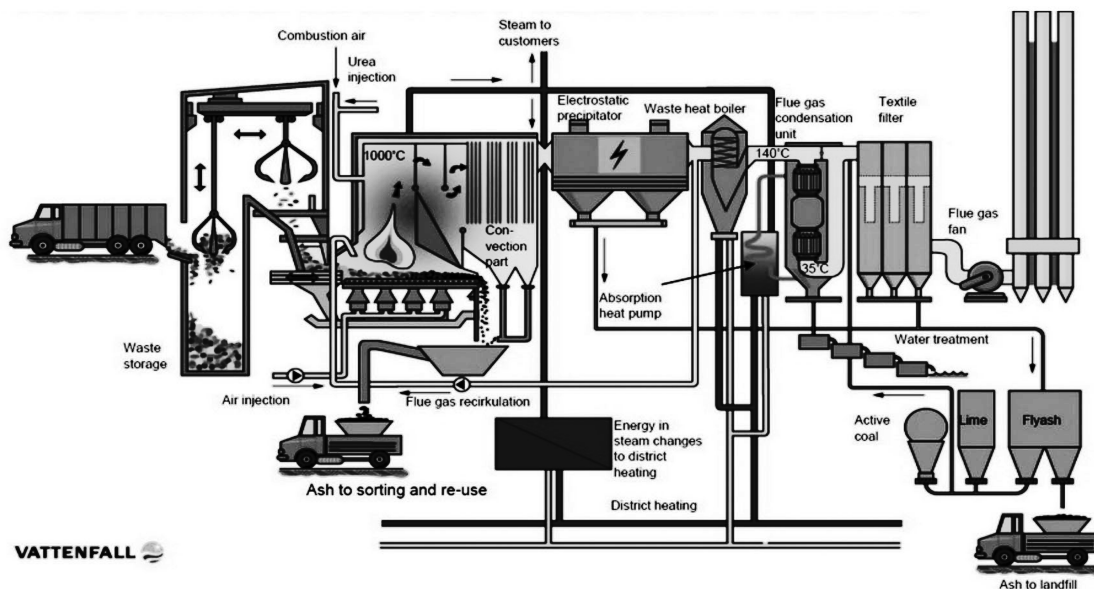


Рис.4. Схема сміттєспалювального заводу у м. Уппсала, Швеція [13].

У статті [13] розвінчується розповсюджений в Україні міф про необхідність попереднього повного сортування сміття перед спалюванням. На заводі в м. Уппсалі відсортовуються лише харчові відходи, з яких виробляється біогаз, а з нього — біометан, на якому працює муніципальний транспорт. Усі нехарчові відходи спалюються разом. Далі зі шлаку магнітами вилучається метал, на ситах просіюються залишки скла, кінцевий залишок, кількість якого близько 1 %, використовується як дешевий будівельний матеріал.

Функціонування заводу розвінчує також ще один розповсюджений в Україні (і не тільки) міф про шкідливість спалювання сміття внаслідок викидів у повітря токсинів. Однак, сусідство житла із заводом нікого в місті не хвилює, тому що при спалюванні витримується технологія, насамперед температура спалювання. Токсини утворюються при температурах близько 650 °С, а стандартна температура при спалюванні становить 1200 °С. При її зниженні нижче 850 °С система безпеки автоматично припиняє спалювання. Неприємний запах від виробництва біогазу відчувається лише у приміщенні переробного цеху, але завдяки досконалії системі вентиляції не відчувається ззовні. Таким чином, при дотриманні нормативів переробка сміття може бути абсолютно безпечною.

Важливою обставиною у справі будівництва ССЗ є фінансовий фактор. У роботі [13] зазначається, що навіть при самих досконалих технологіях переробка сміття не може

вийти навіть на собівартість. Необхідні кошти забезпечуються населенням: середнє домогосподарство сплачує близько 83 євро в рік за утилізацію ТПВ та ще 23 євро за харчові відходи. В умовах України вартість утилізації сміття для населення була б дещо менше відповідно до різниці в оплаті праці.

Для України необхідність будівництва ССЗ невідворотна як з екологічних та енергетичних, так і політичних міркувань, оскільки Україна у відповідності з Угодою про асоціацію з ЄС повинна прийняти нове законодавство про відходи та збільшити частку відновлювальної енергетики в енергобалансі країни.

Реалізація Національного плану управління відходами у частині будівництва ССЗ можлива лише при високому ступені довіри населення до доброчесності переробників, як це має місто у Швеції, де ССЗ знаходиться по суті всередині міської забудови. Для України був би справжнім проривом початок роботи з досягнення Європейських стандартів у справі поводження з відходами та спростування міфів у цьому питанні.

У наведеному прикладі ССЗ у Швеції технологія мінімізації шкідливих викидів достатньо складна: селективне відновлення оксидів азоту інжекцією аміаку в топковий простір, рециркуляцію димових газів, наявність абсорбційного теплового насоса, подвійну фільтрацію димових газів у електро- та тканинних фільтрах.

Помітно простішою є технологія спалювання відходів, застосована у м. Брно, Чехія (рис.5).

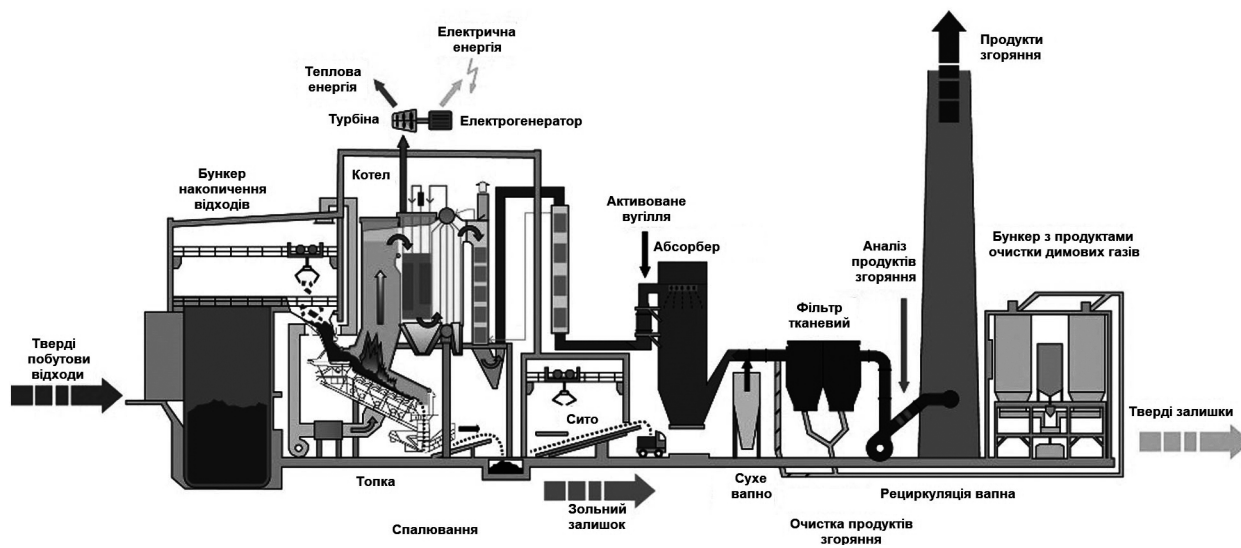


Рис.5. Технологічна схема сміттєспалювального заводу у м. Брно, Чехія.

Потужність заводу не наведена, але відзначається, що вона розрахована на обслуговування території з населенням 2 млн чол. Технологічна лінія облаштована двома котлами з реверсними похило-перештовхуючими решітками та конденсаційною двоступінчастою турбіною. Ступінь високого тиску турбіни використовується для виробництва електроенергії; пара використовується для виробництва теплоти для системи централізованого опалення м. Брно. Відзначається зменшення ваги відходів до 28 % та обсягу до 10 % від початкових значень. Кількість органічних речовин у шлаку знаходиться у межах 1–5 %. Система очищення гарантує мінімальну емісію в оточуюче середовище, рівень якої порівняний з емісією від електростанцій на природному газі.

Детальний опис технологічної схеми наведений у роботі [14]. Зважувальна система автоматизована та керується спеціальною програмою. Сировина, що підлягає спалюванню, розподіляється на два потоки. Один з них направляє на спалювання, другий — на додаткове сортування. Шихта подається у котли через вісім отворів. Будучи один раз запаленою, вона не потребує додаткового палива. У котли подається хімічно очищена вода. Вихідні гази піддають напівсухий обробці вапном, після чого вони подаються у мокрі абсорбери. У випадку перевищення кислотних компонентів у димових газах у потік між абсорберами та тканинними фільтрами автоматично вприскується сухе вапно. Кінцевий продукт системи газоочищення

складається зі з'єднань вапна, летючої золи, активованого вугілля та надлишку реагентів. Ефективність системи очищення оцінюється у 99 % та відповідає екологічним вимогам.

З порівняння систем очищення з робіт [13, 14] можна зробити висновок, що для умов України при деякому віддаленні майбутніх ССЗ від житлових масивів доцільно розробити систему очищення викидних газів переважно на основі чеської розробки з додаванням деяких елементів з системи очищення ССЗ у м. Упсала, зокрема додати до лінії очищення електрофільтр.

Перед прийняттям рішення про будівництво ССЗ необхідно вирішити важливе питання про його потужність. З наведених вище даних про кількість ССЗ у країнах Європи, яка становить десятки заводів, можна зробити висновок про їх відносно невелику потужність. Будівництво невеликих ССЗ можна розглядати як тенденцію у вирішенні питання енергетичного використання відходів малих міст та регіонів. При їх проектуванні використовуються прості та надійні випробувані рішення. Як приклад, компанія Steinmüller Babcock Environment будує другу чергу ССЗ у невеликому місті Premnitz у природному парку біля Берліну [15]. На ССЗ як паливо буде використовуватися суміш побутових, комерційних відходів та RDF у кількості 150 тис. т/рік (приблизно 0,9 т/год); тепла потужність 56 МВт. Як основне обладнання буде використано котел з похило-перештовхуючою решіткою замість

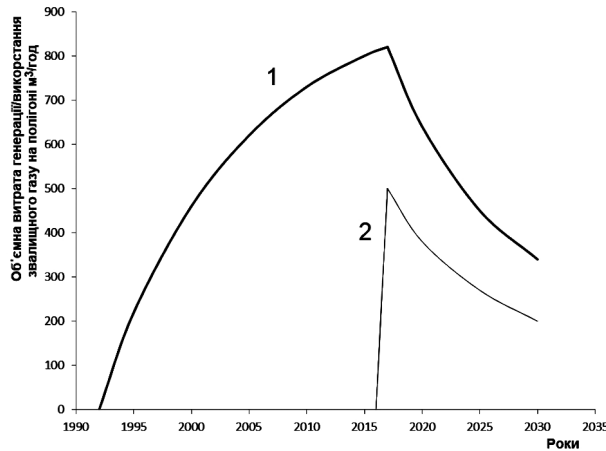


Рис.6. Загальна емісія (1) та збір біогазу (2) з тіла полігону ТПВ [6].

котла з киплячим шаром, що використовується у першій черзі заводу. Оскільки власне споживання енергії невелике, електрична та теплова енергія будуть поставлятися місцевим промисловим споживачам та населенню. Таку тенденцію можна пояснити складністю організації збору сміття на великих територіях, а також суттєвою вартістю перевезень сміття та залишків від його перероблення.

Звалищний газ. Свіжі відходи підлягають використанню за однією з зазначених або інших технологій. На старих полігонах доцільно вилучати так званий звалищний газ, а решту переробляти залежно від віку полігону та вмісту у ньому органічних речовин. Звалищний газ є по суті біогазом та складається з метану, діоксиду вуглецю та домішок: азоту, невеликої кількості сірководню та кисню. Виділення звалищного газу починається через 7–10 років після введення в експлуатацію полігону та відбувається на протязі 20–25 років. По мірі вилучення газу його склад змінюється в сторону збільшення у ньому азоту та зменшення метану. Кількість вилученого біогазу становить приблизно чверть від всього обсягу, що виділяється за весь період життя полігону (рис.6).

Автори дослідження [6] мають значний досвід проектування та введення у дію установок з виробництва електроенергії з використанням звалищного газу. На цей час на 20 полігонах побудовано системи збору біогазу з використанням його для виробництва електроенергії та продажу за «зеленим» тарифом. Установки мають системи очистки газу, двигуни внутрішнього згоряння та електрогенератори. Загальна встановлена потужність генераторів 18,4 МВт. Але не можна не нагадати, що вилучення біоме-

тану з газу звалищ та використання його як моторного палива є економічно більш ефективним та самоокупним заходом.

Висновки

Технологію використання відходів для кожного міста або регіону слід вибирати з урахуванням їх кількості, складу, теплотворної спроможності, транспортних витрат.

Загальний енергетичний потенціал відсортованих побутових відходів в еквіваленті природного газу оцінюється в Україні у 1,5 млрд м³. Використання відсортованих харчових відходів у суміші з відходами сільськогосподарства або спеціально вирощеними рослинами може збільшити цю величину у кілька разів. Наприклад, у Німеччині в енергетичних цілях виробляється та використовується 8,3 млрд м³ біометану, встановлена потужність генерації становить 4 ГВт.

Інвестиційно привабливими є технології виробництва біогазу з харчових відходів, наступним виробництвом з нього електричної енергії, продажу її за «зеленим» тарифом та виробництвом біометану. Міжнародний досвід свідчить про участь відомих енергетичних компаній у виробництві біогазу та будівництві сміттеспалювальних заводів. В Україні у вирішенні таких проблем могли б прийняти участь НАК «Нафтогаз України», ДПЕК, Енергоатом, місцеві адміністрації та територіальні громади.

У транспортній енергетиці набуває поширення використання біометану, отриманого з відходів, як моторного палива для транспортних засобів. Розроблені та виконуються програми його широкомасштабного використання поряд з природним газом у стиснутому та зрідженому стані. В їх виконанні беруть участь енергетичні та автовиробничі компанії Gasum, Iveco, Capstone, Volkswagen.

Слід відзначити використання біогазових комплексів як балансуєчих потужностей енергомереж.

Серед технологій енергетичного застосування ТПВ найбільшого поширення у світі набула технологія їх спалювання з виробництвом електричної та теплової енергії. Газифікація та піроліз відходів вимагають їх спеціальної підготовки: ретельного сортування, подрібнення, гомогенізації, систем видалення смоли та інших включень з генераторного газу та пірогазу. При виготовленні з відходів RDF додаються операції грануляції, торефікації, подрібнення, що призводить до подорожчання процесу.

Для України можна вважати найбільш прийнятною просту, надійну та випробовану технологію

спалювання ТПВ з відсортуванням лише харчових відходів, спалюванням решти органічної маси у котлах з рухомим подом, випробуваною відносно недорогою системою очищення вихідних газів.

Список літератури

1. Енергетична стратегія України до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
2. Національна стратегія управління відходами до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р.
3. Войціховська А. Розчистити Україну: місія (не) здійснена? — https://dt.ua/ECOLOGY/rozchistiti-ukrayinu-misiya-ne-zdiysnenna-254196_.html.
4. Закон України № 187/98-ВР «Про відходи» 5 березня 1998 року. Ред. від 04.10.2018. *Відомості Верховної Ради України*. 1998. № 36–37. С. 242.
5. ESWET Responds to Eurostat Findings on Municipal Waste Treatment in EU. Інформаційний лист ISWA — міжнародної асоціації твердих відходів (International Solid Wastes Association) від 05.02.2019 р.
6. Жук Г.В., Нікітін Є.Є., Сміхула А.В., Дутка О.В., Іванів О.С. Визначення оптимальних схем поводження з твердими побутовими відходами міст України. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2018. № 1. С. 48–59.
7. Ukraine Landfill Gas Model // Landfill Methane Outreach Program US Environment Protection Agency Washington DC, 12/2009, 28 p. — https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_manual.pdf
8. Інформація від компанії Акорд Лтд. — Режим доступу: www.bio-gas.com.ua/biogas
9. Belgiorno V., G. De Feo*, C. Della Rocca, R.M.A. Energy from gasification of solid wastes. *Waste Management*. 2003. Vol. 23. pp. 1–15.
10. [Презентація Рекуперативний процес газифікації]: Integrated Multifuel Gasification technology (IMG) of Bellwether Recuparative Gasification Ltd. 2017. — <http://bwrs.eu/>
11. Clean Investment Firm Full Cycle Backs Waste Gasification Technology. *Newsletter*. 2018. 11 November. — <http://waste-management-world.com>.
12. Карп І.М., П'яних К.Є., П'яних К.К. Утилізація осадів стічних вод. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2019. № 2. С. 34–48.
13. Панченко Ю. Мусорний завод возле дома: три мифа об утилизации отходов в Швеции. *Европейская правда* (Уппсала, Швеція). 09.11.2018.
14. [Презентація] Technical Overview of the Waste-to-Energy Plant in Brno, Plant for Region with 2 mil. people. 2017. — <http://www.sako.cz/page/en/607/waste-to-energy/>
15. *Newsletter*. 2019, 14 April. URL: <http://waste-management-world.com>

Надійшла до редакції 18.08.2019

Карп І.Н., *акад. НАН України, докт. техн. наук, проф.*,

П'яних К.Є., *докт. техн. наук*

Інститут газу НАН України, Київ

ул. Десятрєвская, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: karpkiiev@gmail.com

Технологические аспекты энергетического использования твердых бытовых отходов

Проанализированы технологические аспекты энергетического использования твердых бытовых отходов и возможности применения некоторых технологий в Украине. Определены мировые тренды в технологиях утилизации отходов. При частичной сортировке отходов можно использовать для производства энергии половину их энергетического потенциала, что для Украины оценивается в эквиваленте природного газа в 1,5 млрд м³. Доля пищевых отходов близка к 40 %. Их целесообразно перерабатывать в смесях с отходами сельскохозяйственной деятельности и энергетическими растениями в биогаз и биометан. Производство электрической и тепловой энергии из биогаза нуждается в помощи государств в виде специальных тарифов. Получает распространение использование биометана наряду с природным газом в сжатом и сжиженном состоянии как моторного топлива. При этом производство биометана можно увеличить в несколько раз. Биогазовые комплексы используются как балансирующие мощности электросетей. Наиболее распространенной технологией использования энергетического потенциала твердых бытовых отходов является сжигание. Системы очистки выхлопных газов мусоросжигающих заводов достигли степени совершенствования, которая позволяет размещать их вблизи жилой застройки. *Библ. 15, рис. 6, табл. 2.*

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, пищевые отходы, биометан, сжигание.

Karp I.M., Academician of NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences,
 Professor, **Pyanykh K.Ye.**, Doctor of Technical Sciences
The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
 39, Degtyarivska Str. 03113 Kyiv, Ukraine, e-mail:karpkiev@gmail.com

Technological Aspects of Energy Use of Solid Household Waste

Technological aspects of energy use of solid waste and their constituents and possibility of applying certain technologies in Ukraine are analyzed. Global trends in waste management technologies are identified. When organizing waste sorting, half of their energy potential can be used, which is estimated to be 1.5 billion m³ of natural gas equivalent in Ukraine. Share of food waste is close to 40 %. It is advisable to recycle them in biogas and biomethane mixtures with agricultural waste and energy plants. Biomethane production can be increased in several times. Electricity and heat production from biogas require government assistance in form of special tariffs. Biomethane is being used alongside natural gas in compressed and liquefied state as a motor fuel. Biogas complexes are used as balancing power of grids. The most common technology for utilizing the energy potential of municipal solid waste is incineration. Emissions systems for waste incineration plants have reached a level of perfection that allows them to be placed close to residential areas. *Ref. 15, Fig. 6, Tab. 2.*

Key words: municipal solid waste, food waste, biomethane, incineration.

References

1. [«Ukraine's Energy Strategy for 2035: Security, Energy Efficiency, Competitiveness».] Ordinance of the Cabinet of Ministers of Ukraine of August 18, 2017 No. 605-p. (Ukr.)
2. «Nacionalna strategiya upravlinnya vidhodamy do 2030 roku». Ordinance of the Cabinet of Ministers of Ukraine of August 18, 2017 No 820-p. (Ukr.)
3. Voytsikhovska A. [Clearing Ukraine: mission (not)possible?]. — https://dt.ua/ECOLOGY/rozchistiti-ukrayinu-misiya-ne-zdiysnenna-254196_.html. (Ukr.)
4. [Law of Ukraine No. 187/98-BP «On Waste» March 5, 1998. Revision of 04.10.2018. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*. 1998. No. 36–37. pp. 242. (Ukr.)
5. ESWET Responds to Eurostat Findings on Municipal Waste Treatment in EU. Information sheet of ISWA — International Solid Waste Association from 02/05/2019.
6. Zhuk G.V., Nikitin E.E., Smikhula A.V., Dutka O.V., Ivaniv O.S. [Determination of optimal schemes of solid waste management in Ukrainian cities]. *Energotehnologii i Resourcosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2018. No. 1. pp. 48–59. (Ukr.)
7. Ukraine Landfill Gas Model. Landfill Methane Outreach Program US Environment Protection Agency Washington DC, 12/2009, 28 p. — https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_manual.pdf
8. Information from Accord Co., Ltd. — Access mode: www.bio-gas.com.ua/biogas
9. Belgiorno V., G. De Feo, C. Della Rocca, R.M.A. Energy from gasification of solid wastes. *Waste Management*. 2003. 23. pp. 1–15.
10. Integrated Multifuel Gasification technology (IMG) of Bellwether Recuperative Gasification Ltd. 2017. — Access: <http://bwrs.eu/>.
11. Clean Investment Firm Full Cycle Backs Waste Gasification Technology. *Newsletter*. 2018. 11 November. — <http://waste-management-world.com>.
12. Karp I.M., Pyaniy K.Ye., Pyaniy K.K. Utilization of Sewage Sludge. *Energotehnologii i Resourcosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2019. No. 2. pp. 34–48. (Ukr.)
13. Panchenko Y. [Waste plant near home: three myths about waste disposal in Sweden]. *European Truth*, Uppsala, Sweden. 11/09/2018 .(Rus.)
14. Presentation Technical Overview of the Waste-to-Energy Plant in Brno, Plant for Region with 2 mil. people. 2017. — <http://www.sako.cz/page/en/607/waste-to-energy/>
15. *Newsletter*. 2019, 14 April. URL: <http://waste-management-world.com>

Received August 18, 2019