
ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

УДК 628.47:504.064:502.17

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.26>

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДХОДІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ЇХ ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГІЇ

Маркіна Л.М., Власенко О.В., Ковтунов О.В.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ

Розглянуті характерні особливості енергетичного використання відходів, зазначена необхідність впровадження системної логістики та своєчасного сортування й переробки ТПВ, ефективної організації відповідних робіт із управління побутовими відходами. Проблема відходів на сьогодні – актуальна і масштабна. Вона є однією з ключових екологічних викликів в Україні та важливою з огляду на ресурсний потенціал.

Невід’ємною складовою сучасного життя суспільства є споживання енергії різного походження. Викопне паливо, вугілля, природний газ та нафта – це основні джерелами енергії. Серед недоліків їх використання можна виділити, зокрема, утворення побічних продуктів перетворення (продукти горіння, відходи, тощо) та обмеженість їх запасів, що значно ускладнює процес використання. Значні обсяги утворення відходів призводять до техногенного навантаження на природне середовище та значних матеріальних затрат на їх захоронення чи утилізацію. Переробка відходів з отриманням енергії може розв’язати як проблему поводження з відходами, так і потребу в альтернативних джерелах енергії.

Зважаючи на зростання вартості природних ресурсів, їх вичерпність, негативний вплив на довкілля постає необхідність у постійному пошуку альтернативних джерел енергії.

Утворення та накопичення відходів зумовлює зростаючу загрозу екологічній безпеці країни. Так, за статистичними даними утворення відходів у країні зростає, в тому числі й хімічно небезпечних. Проте варто зазначити, що ефективні технології щодо використання з відходів як вторинної сировини впроваджуються не повною мірою. Порівняно з міжнародними практиками щодо активного поводження з відходами, в Україні на душу населення на рік їх утворюється вдвічі більше, ніж, приміром, у країнах Європи.

За останні роки в Україні спостерігається постійне збільшення обсягів накопичення відходів, а отже, й місць їх захоронення (звалища, полігони, тощо), що призводить до погіршення санітарно-епідеміологічного стану населених пунктів. Тому існуючі методи, процеси утворення, накопичення, зберігання, переробки, обробки та знешкодження відходів є передумовами для виникнення та розвитку екологічних загроз. *Ключові слова:* відходи, альтернативне паливо, утилізація, поводження з відходами, джерела енергії.

Determination of waste characteristics for use them as raw materials for receiving energy. Markina L., Vlasenko O., Kovtunov O.

The distinctive features of energy utilization from waste have been considered, highlighting the need for the implementation of systematic logistics and timely sorting and processing of MSW (Municipal Solid Waste), as well as the efficient organization of relevant household waste management activities. The issue of waste management today is both topical and extensive. It is one of the key environmental challenges in Ukraine and is crucial considering the available resource potential.

An integral part of modern society's life is the consumption of energy from various sources. Fossil fuels, coal, natural gas, and oil are the main sources of energy. Among their disadvantages, we can highlight the formation of by-products of transformation (combustion products, waste, etc.) and the limitation of their reserves, which significantly complicates the utilization process. Substantial waste generation leads to anthropogenic stress on the natural environment and significant material costs for their disposal or utilization. Waste processing for energy generation can solve both the waste management issue and the need for alternative energy sources

Therefore, considering the increasing cost of natural resources, their depletion, and their negative impact on the environment, the issues of seeking alternative energy sources are currently being emphasized.

The formation and accumulation of waste pose a growing threat to the country's environmental safety. According to statistical data, the quantity of waste in the country is increasing, including hazardous waste. However, it is worth noting that effective technologies for using waste as secondary raw materials are not fully implemented. Compared to international practices in waste management, Ukraine generates twice as much waste per capita per year as, for example, European countries.

In recent years, Ukraine has witnessed a continuous increase in the volume of waste accumulation and, consequently, the places for their disposal (landfills, dumps, etc.), leading to deteriorating sanitary and epidemiological conditions in populated areas and creating conditions for the emergence and development of environmental threats. *Key words:* waste, alternative fuel, disposal, waste management, energy sources.

Постановка проблеми, актуальність. Проблема відходів в Україні на сьогодні – актуальна і досить масштабна. Основними чинниками є домінування ресурсомістких багатовідхідних технологій, а також довготривала відсутність своєчасного реагування. Застаріла технологічна база поводження з відхо-

дами зумовлює інтенсивні темпи їх утворення та накопичення.

Проблема відходів є ключовою екологічною проблемою в Україні та важливою з огляду на ресурсний потенціал. Високий рівень утворення відходів у різних галузях народного господарства призводять до того, що в Україні щорічно накопичується величезна кількість твердих побутових відходів, з яких лише невелика частина використовується як вторинний ресурс.

Яскравою особливістю проблеми поводження з відходами в Україні порівняно з іншими розвинутими країнами – це відсутність інфраструктури поводження з відходами [4]. Загалом характеристики системи поводження з відходами відображені на рис. 1.

Отже, зважаючи на значну кількість відходів, які щорічно утворюються та накопичуються в Україні, необхідно визначити першочергові заходи щодо підвищення рівня використання відходів як вторинної сировини та участі у виробництві. Особливо важливим є пошук, вибір і розробка ефективних технічних рішень і заходів, спрямованих на запобігання їх утворенню, утилізації, нейтралізації та екологічно безпечного видалення. Розв'язання зазначених проблем має великий потенціал у забезпеченні енергетичної та ресурсної незалежності країни, раціональному використанні природних матеріалів та джерел енергії [4].

Тому, з огляду на поглиблення екологічної кризи та погіршення соціально-економічної ситуації,

затверджено Національну стратегію поводження з відходами України до 2030 року (розпорядження КМУ від 08.11.2017 р. №2 820 р.) [4]. Аналіз даних таблиці 1 засвідчує: найбільшу кількість відходів, що переробляються шляхом переробки, становлять неорганічні відходи (до 52%).

Водночас слід зазначити, що основними методами утилізації органічних відходів залишаються компостування та ферментація. Однак порівняно з об'ємом відходів, що підлягають компостуванню, частка відходів, які пройшли зброджування, досить низька – 77 700 тон і 619 800 тон відповідно [5].

Відповідно до Закону України «Про відходи» та інших нормативно-правових актів виділяють кілька груп:

1. За сферою утворення – відходи виробництва і споживання, побутові.
2. За ступенем небезпеки та характеру впливу на навколишнє природне середовище ілюдину – токсичні, вибухові, вогнебезпечні, радіоактивні і т.д. (небезпечні відходи).
3. В залежності від стану, в якому вони знаходяться, – газоподібні, рідкі, тверді, змішані.

Окрему категорію утворюють відходи як вторинна сировина. До них відповідно до Закону України «Про відходи» належать ті, для утилізації та переробки яких в Україні є відповідні технології та виробничо-технологічні і/або економічні спроможності. Прикладом таких є металобрухт. Правове регулювання операцій, пов'язаних з його збиранням і прийомом, здійснюється Законом України «Про



Рис. 1. Особливості системи поводження з відходами в Україні

Таблиця 1

Напрямки утилізації відходів в Україні

Напрямок утилізації	Обсяг відходів за роками, тис. т					Усереднений показник, т
	2015	2017	2018	2019	2020	
Всього утилізовано	92463,7	100056,3	103658,1	108024,1	100524,6	100945,36
Утилізація / регенерація розчинників	65,3	82,1	103,9	137,1	111,2	99,92
Рециркуляція / утилізація органічних речовин, що не застосовуються як розчинники	443,2	4357,9	397,6	474,8	320,0	1198,7
Компостування органічних відходів	651,1	755,2	671,6	619,8	549,8	649,5
Ферментація органічних відходів	86,7	68,1	88,5	77,7	63,5	76,9
Переробка паперу та картону	24,0	31,6	0,3	0,3	0,3	11,3
Рециркуляція / утилізація металів та їх сполук	6515,8	5445,2	5798,9	5592,7	5356,2	5741,76
Рециркуляція / утилізація інших неорганічних матеріалів	58958,1	46294,3	55930,2	58763,3	43068,9	52602,96
Регенерація кислот і основ	0,4	2,8	0,8	1,0	2,1	1,42
Рекуперація компонентів, що використовуються для зменшення забруднення	13718,7	29228,1	26649,4	27348,7	36553,7	26699,72
Рекуперація компонентів каталізаторів	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,62
Повторна перегонка використаних нафтопродуктів чи інше їх повторне використання	29,0	16,5	12,5	14,7	13,5	17,24
Обробка ґрунту, що справляє позитивний вплив на землеробство чи поліпшує екологічну обстановку	10763,3	12480,0	12320,3	13263,0	13501,3	12465,58
Використання відходів, отриманих від будь-якої з вищеперелічених операцій	1208,1	1291,4	1684,1	1731,0	984,1	1379,74

Джерело: «Економічна статистика України 2015–2020 р.».

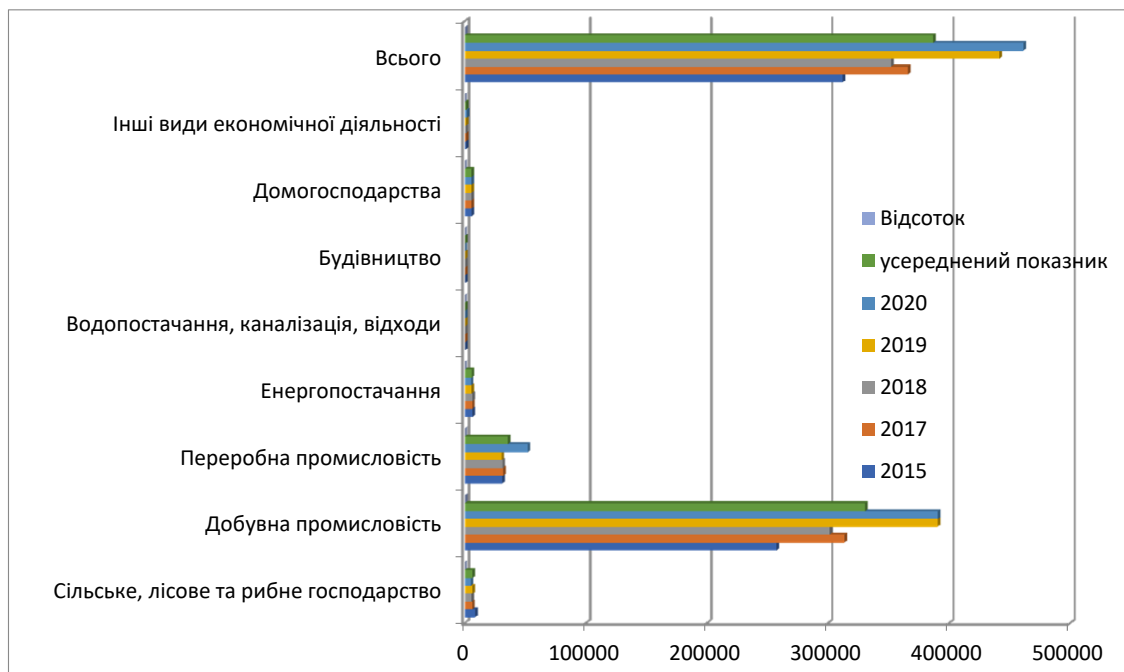


Рис. 2. Структура утворення відходів за галузями промисловості

Джерело: Економічна статистика України 2015–2020 р.



Рис. 3. Структурна діаграма загального обсягу утворюваних відходів в Україні

Джерело: Економічна статистика України 2015–2020 р.

металобрухт». Закон вводить поняття металобрухту та поводження з ним, визначає вимоги до суб'єктів господарювання, які здійснюють з ним операції, державне регулювання, контроль і нагляд за виконанням відповідних дій [4].

Систематизований перелік відходів і кодів, які закріплюються за ними, міститься в Державному класифікаторі відходів, який ведеться з метою надання різнобічної та обґрунтованої інформації.

Відповідно до Державного класифікатора України «Класифікатор відходів» ДК 005-96, затвердженим наказом Держстандарту України від 29.02.1996 р. (із змінами, внесеними згідно з наказом Державного комітету України по стандартизації, метрології та сертифікації від 30.03.2000 р.), до відходів виробництва відносяться:

- залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів і т. д., утворені в процесі виробництва продукції або виконання робіт і втратили повністю або частково вихідні споживчі властивості;

- розкривні і супутні гірські породи, що видобуваються в процесі розробки родовищ корисних копалин;

- залишкові продукти збагачення та інших видів первинної обробки сировини (шлак, пил, відсів і т.д.);

- речовини і їх суміші, утворені в термічних, хімічних та інших процесах і які не є метою даного виробництва (шлак, зола, кубові залишки, інші тверді і пастоподібні утворення, а також рідини та аерозолі), залишки сільськогосподарського виробництва (в т.ч. тваринництва), лісового господарства та лісозаготівель;

- бракована, некондиційна продукція усіх видів економічної діяльності або продукція, забруднена небезпечними речовинами і непридатна до використання;

- не ідентифікований товар, застосування (експлуатація) або вживання якого може спричинити

непередбачувані наслідки, в т. ч. Мінеральні добрива, отрутохімікати, інші речовини;

- зіпсовані (пошкоджені) і непридатні до ремонту або відпрацьовані, фізично або морально зношені вироби та матеріали, що втратили свої споживчі властивості (відходи споживання);

- залишки продуктів харчування, побутових речей, пакувальних матеріалів і т. д. (побутові відходи);

- осади очисних промислових споруд, комунальних та інших служб;

- залишки від медичного та ветеринарного обслуговування, медико-біологічної та хіміко-фармацевтичної промисловості, аптечної справи;

- залишки всіх видів діяльності підприємств, установ, організацій і населення;

- матеріальні об'єкти і субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені діючими нормами, за умови, що використання цих об'єктів та субстанцій не передбачається (радіоактивні відходи).

До категорії відходів належать також непридатна до експлуатації продукція, вироби, медичні препарати, які втратили свої споживчі властивості і в яких містяться певні хімічні та біологічні компоненти, що вимагають небезпечного видалення.

Зазначена категорія відноситься до відходів споживання, серед яких окремо виділяють побутові [4].

Щорічно світова кількість відходів зростає приблизно на 3%. Склад твердих побутових відходів залежить від багатьох факторів: рівня розвитку країни та регіону, культурного рівня населення та його звичаїв, пори року та інших причин. Склад ТПВ та їх кількість на душу населення може суттєво різнитися. У великих містах побутові відходи містять найбільше органічну фракцію (харчові відходи тощо), а також низка компонентів, що можуть використовуватися як вторинна сировина (папір, металеві банки, скло, пластикові пляшки, однак, як показала прак-

тика, сортування відходів з метою отримання вторинної сировини дозволяє отримати її від 8 до 15%).

Для прикладу. На рис. 4 наведена порівняльна діаграма складу ТПВ на одну людину у різних країнах за 2019 р. [5].

Понад третину ТПВ складають харчові відходи і ще третину – пакувальні матеріали, кількість яких безперервно збільшується. ТПВ характеризуються багатокомпонентністю та неоднорідністю складу, малою щільністю та нестабільністю (здатністю до загнивання). Джерелами ТПВ можуть бути як житлові, так і громадські будівлі, торгові, видовищні, спортивні та інші підприємства. У зарубіжній практиці назві «ТПВ» відповідає термін «тверді муніципальні відходи» (Municipal Solid Waste) [5].

В Україні обсяг ТПВ у 2021 році склав 51 млн. м³ [5].

Житлові та промислові райони утворюють різні за складом відходи. Накопичення значної кількості твердих побутових відходів (ТПВ) та нераціональне використання – це серйозна екологічна проблема, яка, на жаль, на сьогодні спостерігається. А недосконала система поводження з ними зумовлює постійне накопичення та захоронення на полігонах, які, від-

повідно, є переповненими та зумовлюють складну екологічну ситуацію на прилеглих територіях. Тому вивчення морфологічному складу та ресурсо-енергетичного потенціалу ТПВ і шляхів його реалізації є надзвичайно актуальним питанням сьогодення.

Питання поводження з побутовими відходами нині є однією з найгостріших проблем сучасних міст. У країнах Європи накопичено великий досвід зі збирання, транспортування та переробки сміття. Основні заходи спрямовані на скорочення обсягу відходів, що підлягають похованню, переробку відходів та перетворення їх на вторинну сировину. Даний матеріал присвячений питанням організації робіт по поводженню з побутовими відходами, відповідальності органів виконавчої влади, діяльності приватних компаній.

Коли розглядається можливість енергетичного використання відходів, то насамперед оцінюється їхня теплотворна здатність. Теплотворна здатність побутових відходів відповідає бурому вугіллю. У середньому вона коливається в межах від 1000 до 3000 ккал/кг. У великих містах теплотворна здатність ТПВ становить 1900–2400 ккал/кг, але іноді може досягати 3300 ккал/кг.

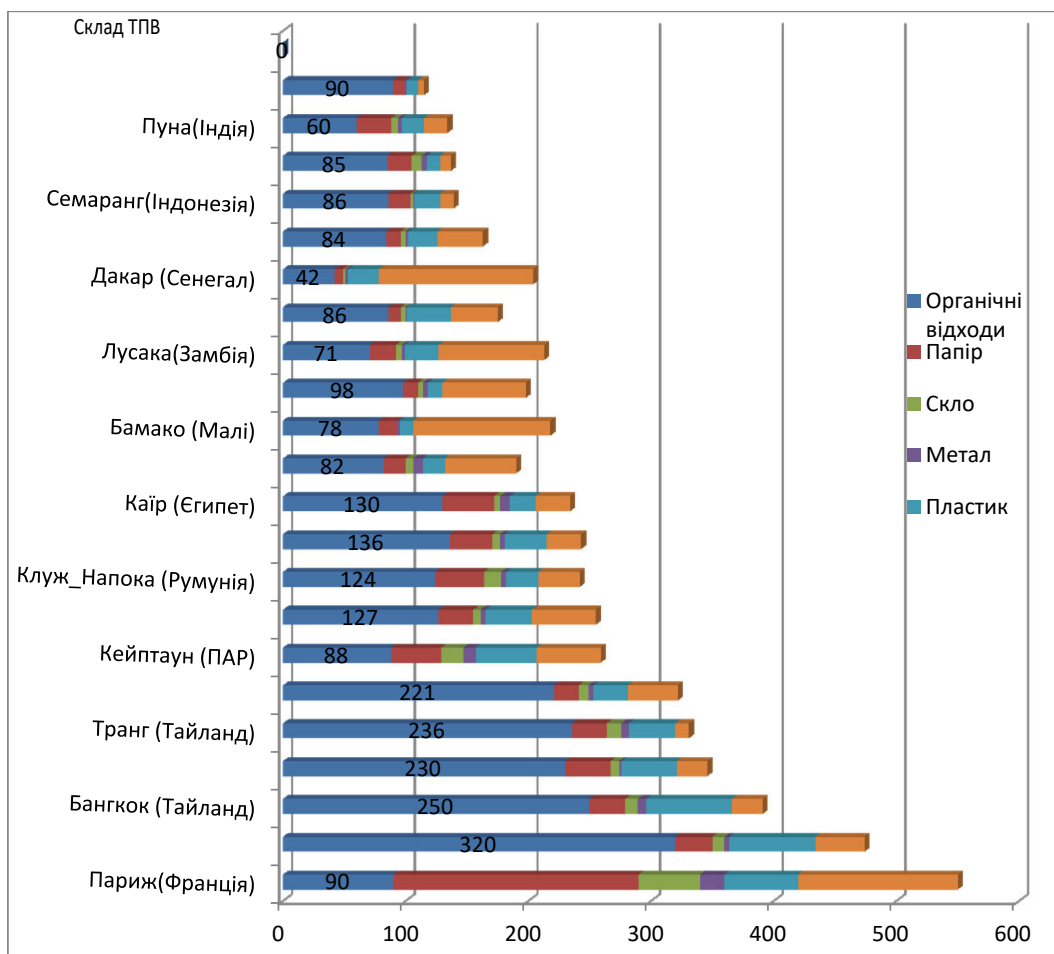


Рис. 4. Склад ТПВ на душу населення (кг/на душу населення/рік) у різних містах світу за 2019 р.

Залежність теплотворної здатності від вологості для змішаних ТПВ, а також для деяких найбільш характерних компонентів ТПВ, відображена на рисунку 5.

Характерно, що теплотворна здатність ТПВ може змінюватися в діапазоні від 3...5 МДж/кг (переважно вміст харчових відходів) до 15...18 МДж/кг (переважно вміст паперу, картону, текстилю, деревини). Теплотворна здатність середньостатистичних ТПВ може перебувати в діапазоні 8...12 МДж/кг при вологості 30...50%. Теплотворна здатність ТПВ у конкретному місці може змінюватися протягом року в залежності від погодних умов і сезонних особливостей споживання. Моніторинг зміни складу ТПВ для одного з полігонів України (м. Миколаїв) протягом майже двох років показав, що теплотворна здатність ТПВ може змінюватись від 6.5 до 12.0 МДж/кг.

Вважається, що граничним значенням теплотворної здатності для комерційної термічної утилізації є величина 6 МДж/кг. Зазначимо, що термічна утилізація часто застосовується для обов'язкового знезараження небезпечних відходів (наприклад, медичних) [4].

В такому випадку теплотворна здатність відходів не впливає на прийняття рішення щодо використання технології. Теплотворна здатність 10 МДж/кг відповідає 2.8 МВт·год теплової енергії на тону відходів. Найефективніші ССЗ (наприклад, Ramboll, Denmark) отримують з тони ТПВ 0.67 МВт·год електричної та до 2.0 МВт·год теплової енергії. ТПВ може змінюватись від 6.5 до 12.0 МДж/кг [3].

У таблиці 2 наведено енергетичний потенціал складових частин ТПВ п'яти міст України (згідно з даними Національного проєкту «Чисте місто») [1].

У Миколаївській області протягом 2021–2022 рр. над визначенням морфологічного складу та ресурсо-енергетичного потенціалу ТПВ та шляхів його реалізації працювали автори досліджень.

Процес дослідження ресурсо-енергетичного потенціалу ТПВ в Миколаєві та області проходив у кілька етапів. На першому та другому етапах досліджено процеси формування та морфологічний склад ТПВ, що дозволило продовжити наступні дослідження.

У таблиці 3 наведені результати досліджень, здійснених авторами статті, морфологічного складу твердих побутових та промислових відходів на полігоні м. Миколаєва у 2021–2022 роках [2].

Після відбору, сортування, відповідно до декількох методик, науковцями аналізувались температура деструкції відходів, відновна маса, склад твердих залишків. Також проводився хімічний аналіз методом хроматографії за показниками, вологості, вмісту вуглецю та важких металів. Згідно з дослідженнями, рівень теплотворної здатності ТПВ залежать від пори року, вологості, місця розташування тощо.

Дослідження підтвердили, що для підвищення енергетичної здатності ТПВ необхідно розвивати систему сортування ТПВ. Це дозволить не тільки вилучати цінні компоненти, а й підвищити енергетичний потенціал ТПВ шляхом відділення складової з високим вмістом вологи. ТПВ потрібно сортувати так, щоб відходи, які підлягають переробці, містили мінімальну фракцію мінералів і небезпечних відходів [4].

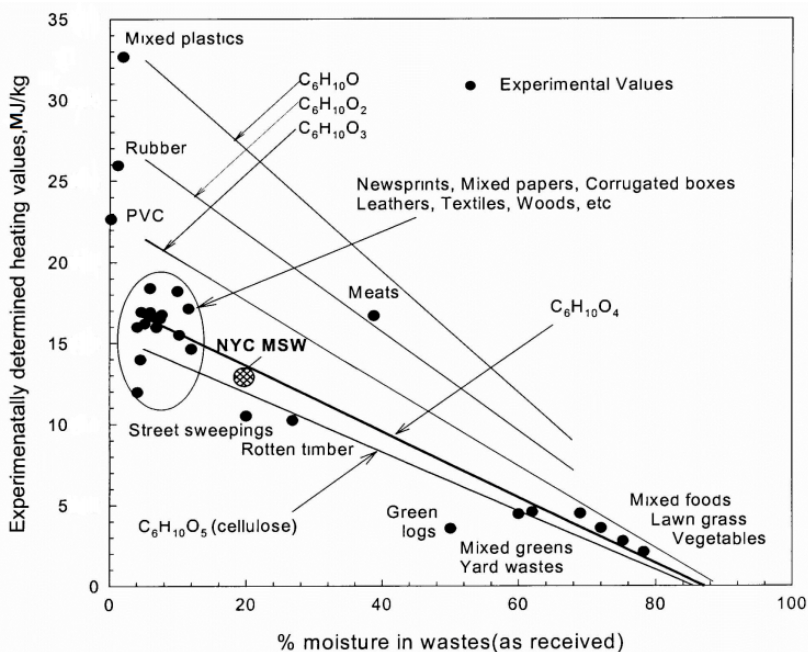


Рис. 5. Залежність теплотворної здатності від вологості різних видів палива

Джерело: WTE Guidebook, EEC / IDB, July 2018

Таблиця 2

Енергетичний потенціал складових частин ТПВ п'яти міст України

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

Таблиця 3

Морфологічний склад ТПВ на полігоні м. Миколаєва у 2021–2022 р.

Склад відходів	ТПВ житлового фонду %	ТПВ громадських торгових підприємств %
Харчові відходи	38–45	40–46
Папір, картон	10–15	13–16
Деревина	10–18	10–15
Чорні метали	3–4	3–4
Кольорові метали	0,5–1,5	1–4
Текстиль	3–5	3–5
Кістки	0,5–1,5	1,5–3
Скло	2–3	1–2
Дрібні будівельні відходи	0,5–1	2–3
Шкіра, гума	0,5–1	1–2
Полімери	18–22	20–25
Вуличний зміт, листя	8–12	10–15
Комбіновані відходи	2–2,5	2–3
Небезпечні відходи	1–3	2–5
Інше	1–2	2–3
Відсів (фракція менше)	5–7	5–7

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

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

При цьому менше значення характерне для ручного сортування, більше – для автоматичного оптико-механічного сортування. Процес попереднього сортування може істотно впливати на теплотворну

здатність. Оскільки з потоку ТПВ частково вилучаються найбільш калорійні полімери, папір і картон, теплотворна здатність може знизитися з 9,0 до 8,4 МДж/кг для ручного сортування і до 6,8 МДж/кг у випадку оптико-механічного сортування. Навпаки, сушка та компостування залишку після сортування, наприклад, у процесі механіко-біологічного оброблення може збільшити теплотворну здатність потенційного палива до 10...15 МДж/кг.

Також потрібно впроваджувати системну логістику відходів, ТПВ мають розміщуватись на добре

контрольованих звалищах, необхідно реалізувати постійний моніторинг стану звалища відходів та його параметрів; вживати заходів щодо сортування відходів: окремо сухі ТПВ та органічні відходи (як природні лісові, так і харчові відходи); мають забезпечуватися належні швидкості переробки та компостування.

В рамках досліджень представлені рекомендаційні пропозиції до регіональної політики управління ТПВ за технологіями відновлення енергії з відходів. Тверді побутові відходи, мають значний потенціал рециклінгу, відповідно рекомендовано для успішного повторного використання:

- вдосконалення сортування та логістики ТПВ, з врахуванням світового досвіду;
- впровадження в практику роздільного збору ТПВ у різні типи контейнерів;

- впровадження нових логістичних схем вивозу ТПВ;
- централізоване сортування ТПВ;
- обов'язкове використання технологій переробки ТПВ.

Результати досліджень внесені до регіонального плану управління відходами у Миколаївській області відповідно до Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. Їх дані є важливими при визначенні економічної та інвестиційної привабливості. Це проєктування сортувальних ліній, сміттєпереробних комплексів тощо. Таке дослідження – науково обґрунтована основа, на якій базуватимуться подальші рішення щодо управління ТПВ [2].

Методом порівняння, відповідно до отриманих даних, визначено, що у південному регіоні України створюється на 8–10% більше харчових та на 5% полімерних ТПВ ніж в інших регіонах.

Література

1. Розпорядження Кабінет Міністрів України від 8 серпня 2012 р. № 695-р. «Деякі питання підготовки до реалізації національного проєкту «Чисте місто» – система комплексів з переробки твердих побутових відходів». Київ: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2012-p#Text>.
2. Стратегія розвитку Миколаївської області на період до 2027 року URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/derzhavna-rehional-na-polityka/strategichne-planuvannya-regionalnogo-rozvytku/strategichne-planuvannya-regionalnogo-rozvytku-na-period-do-2027-roku/regionalni-strategiyi-rozvytku-na-period-do-2027-roku/strategiya-rozvytku-mykolayivskoyi-oblasti-na-period-do-2027-roku/>
3. Кращі європейські практики управління відходами/ Посібник при підтримці Європейського Союзу Львів • 2019 р./ Видавництво: «Компанія “Манускрипт”» URL: http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2019/07/Krashchi_ES_praktuku_NET.pdf
4. Управління відходами URL: <https://ecolog-ua.com/theme/upravlinnya-vidhodami>
5. Економічна статистика. Навколишнє природне середовище URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm