

## PROSPECTS OF THE USE OF FUEL FROM MUNICIPAL SOLID WASTE AT TPP OF SUGAR FACTORIES

**O. Bulyandra**

*National University of Food Technologies*

**L. Haponych, I. Golenko, O. Topal**

*Institute of Coal Energy Technologies of NAS of Ukraine*

---

**Key words:**

*Municipal solid waste  
Solid recovered fuel  
Morphological  
composition  
Waste-to-Energy  
Heat of combustion  
Sugar factory*

---

**Article history:**

Received 16.04.2020

Received in revised form  
30.04.2020

Accepted 18.05.2020

---

**Corresponding author:**

L. Haponych

**E-mail:**

haponych@ukr.net

**ABSTRACT**

The problem of municipal solid waste (MSW) management is a worldwide concern. The purpose of this investigation was to study the current state of MSW management and estimate the prospects for their energy use in Ukraine. The volume of MSW collection during the recent years in Ukraine reached 11—12 million tons. In 2019, only 5.6% of MSW was recycled and utilized, of which only 1.7% was burned with energy generation (WtoE). For comparison, 98% of MSW in EU countries is processed, and 28% is incinerated by the WtoE technology.

In this article, the morphological composition is shown and the elemental composition and heat of combustion of the MSW of Ukraine and its different cities are calculated. The MSW heat of combustion for cities of Ukraine is 5.0—7.0 MJ/kg. The lower limiting value of the MSW heat of combustion with electricity generation is 6 MJ/kg. The average value of MSW heat of combustion utilized at WtoE plants is 10 MJ/kg.

Different technologies of the thermal processing of waste were also analyzed. The main tendency for MSW management in EU countries lies in their complex processing: separate collection, sorting, mechanical and biological processing, and the production of fuel from the remaining MSW fractions. The article summarizes information on the experience of production and use of MSW fuels RDF and SRF in the world. Our calculations show that Ukraine has potential for producing 2—3 million tons of RDF/SRF fuels with heat of combustion of 10—15 MJ/kg annually. By attracting these fuels into the energy sector, about 1500 GWh of electricity and 3000 GWh of heat can be obtained annually. The potential for replacement of natural gas is more than 0.6 billion m<sup>3</sup>.

The use of RDF/SRF at combined heat and power plants (TPPs) of sugar factories is able to replace partially Ukraine's scarce natural gas and coal in electricity and heat production according to the EU waste management requirements. In addition, the use of RDF/SRF as fuel at the TPPs of sugar factories can ensure their continuous operation throughout the year.

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА З ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА ТЕЦ ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ

О. Буляндра

Національний університет харчових технологій

Л. Гапонич, І. Голенко, О. Топал

Інститут вугільних енерготехнологій НАН України

У статті вивчено сучасний стан поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) та оцінено перспективи енергетичного використання в Україні, оскільки проблема раціонального поводження з ТПВ є актуальною в усьому світі. В Україні обсяги збирання ТПВ в останні роки сягають 11–12 млн тонн. У 2019 р. було перероблено й утилізовано всього 5,6% ТПВ, з них тільки 1,7% спалено з генерацією енергії (WtoE). Для порівняння: в країнах ЄС 98% ТПВ обробляється, 28% спалюється за технологією WtoE.

Визначено морфологічний склад, розраховано елементний склад і теплоту згорання ТПВ. Теплота згорання ТПВ для міст України становить 5,0–7,0 МДж/кг. Найнижче граничне значення теплоти згорання ТПВ для спалювання з генерацією електроенергії — 6 МДж/кг. Середнє значення теплоти згорання ТПВ, що утилізуються на заводах WtoE, — 10 МДж/кг.

Проаналізовано різні технології термічної переробки відходів. Основна тенденція в країнах ЄС полягає у комплексній переробці ТПВ: роздільному збиранні, сортуванні, механіко-біологічній обробці та виробництві палива з фракцій ТПВ, що залишилися. Узагальнено інформацію щодо досвіду виробництва і використання палив з ТПВ — RDF та SRF. Розрахунки показують, що в Україні є потенціал для виробництва 2–3 млн тонн RDF/SRF з теплою згорання 10–15 МДж/кг щорічно. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 1500 ГВт·год електрики та 3000 ГВт·год теплоти. Потенціал заміщення природного газу при цьому понад 0,6 млрд м<sup>3</sup>.

Використання на ТЕЦ цукрових заводів як палива RDF/SRF здатне частково замінити дефіцитні в Україні природний газ і вугілля при виробництві електроенергії й теплоти з дотриманням вимог ЄС щодо поводження з відходами. Крім того, використання RDF/SRF на ТЕЦ цукрових заводів може забезпечити їхню безперервну роботу протягом всього року.

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, тверде відновлюване паливо, морфологічний склад, теплота згорання, відходи в енергію, цукровий завод.

**Постановка проблеми.** Верховна Рада України 07.02.2018 ухвалила зміни до Конституції України щодо стратегічного курсу на набуття повноправного членства в Європейському Союзі (ЄС) та в Організації Північноатлантичного договору [1], якими було підтверджено незворотність європейського курсу країни. Асоціація між Україною і ЄС неможлива без імплементації європейського законодавства у сфері охорони навколишнього середовища, зокрема поводження з відходами. Важливим етапом імплементації вимог директив ЄС у сфері поводження з відходами є розробка та схвалення розпорядженням Кабінету Міністрів України № 820-р від 8 листопада 2017 р. Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. (далі Стратегія), що визначає урядову

політику у сфері поводження з відходами. Завданням Стратегії є очищення навколишнього середовища та зменшення відходів, в тому числі твердих побутових відходів (ТПВ), що надходять до полігонів. Пріоритетний напрямок діяльності — це перетворення відходів на ресурси і зниження обсягів їх утворення. Стратегією передбачено зменшення обсягу захоронення ТПВ до 80% у 2018 р., до 50% — у 2023 р. та 30% — у 2030 р. Відповідно до Директиви № 1999/31/ЄС до 2030 р. передбачається зменшення кількості місць для видалення побутових відходів з 6000 до 1000 та будівництво 19 стаціонарних установок із термічної утилізації відходів.

**Метою дослідження** є вивчення сучасного стану поводження з твердими побутовими відходами та оцінка перспектив їх енергетичного використання в Україні.

**Викладення основних результатів дослідження.** Основним документом, який встановлює класифікацію відходів в Україні, є Державний класифікатор відходів ДК 005-96, де відходи визначаються як будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються в процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення, власник яких позбувається, має намір або повинен позбутися їх шляхом утилізації чи видалення. ТПВ — це відходи, які утворюються в процесі життєдіяльності людини, накопичуються в житлових будинках і закладах соціальної сфери та є непридатними до подальшого використання за місцем їх утворення. Кількісні та якісні характеристики ТПВ не є постійними та залежать від країни, регіону, області, міста чи селища їх утворення. Однак перелік основних компонентів ТПВ в є цілому незмінним і включає [2; 3]: матеріали біологічного походження — харчові відходи, рештки рослинності, папір; потенційну вторинну сировину — папір, метали, скляну та пластикову тару тощо; інертні матеріали — каміння, кераміку, пісок, цеглу, бруд тощо; композиційні матеріали — синтетичний текстиль, пластмаси, електроприлади; небезпечні матеріали — аерозолі, фарби, добрива, інші хімікати.

Усереднений морфологічний склад ТПВ згідно із Шостим національним повідомленням України з питань зміни клімату такий: харчові відходи — від 35 до 50%, папір та картон — від 10 до 15%, вторинні полімери (пластмаса, ПЕТФ пляшки, полімерна плівка, ТетраПак упаковка) — від 9 до 13%, скло — від 8 до 10%, чорні та кольорові метали — 2%, текстильні матеріали — від 4 до 6%, деревина — 1%, будівельне сміття — 5%, інші відходи (вуличний зміт, листя, гігієнічні засоби, кістки, шкіра, гума, комбіновані відходи, небезпечні відходи тощо) — 10%. Частка відходів з органічною складовою — від 60 до 85%.

Для великих міст України середній морфологічний склад ТПВ такий: харчові відходи — від 30 до 45%, картон та папір — від 5 до 15%, вторинні полімери — від 8 до 17%, скло — від 9 до 14%, чорні та кольорові метали від 0,5 до 2,5%, текстильні матеріали від 2 до 5%, деревина від 0,1 до 2%, кістки, шкіра, гума від 0,5 до 1,5%; дрібні будівельні відходи — від 0,3 до 3,5%; вуличний зміт, листя — від 0 до 6%; гігієнічні засоби — від 2,3 до 3,5%; комбіновані відходи — від 0,4 до 1%; небезпечні відходи — від 0,1 до 0,5%, інше від 2 до 22%. Морфологічний склад ТПВ суттєво змінюється протягом року, влітку та восени збільшується частка органічних відходів, взимку — неорганічної речовини.

У табл. 1 наведено елементний склад, вихід летких, густину і теплоту згорання змішаних ТПВ для різних міст та України в цілому. Елементний склад і вихід летких ТПВ розраховано за їхнім морфологічним складом для різних міст України та елементним складом компонентів ТПВ (табл. 2) [2; 4—7]. Елементний склад палива або його компонентів (на робочий стан) — це волога  $W^r$ , зола  $A^r$ , сірка  $S^r$ , вуглець  $C^r$ , водень  $H^r$ , кисень  $O^r$  та азот  $N^r$ . Нижча теплота згорання на робочий склад палива  $Q_i^r$ , МДж/кг, розрахована за формулою Менделєєва:

$$Q_i^r = 4,18(81C^r + 300H^r - 26(O^r - S^r) - 6(9H^r + W^r)) \cdot 10^{-3}.$$

Для порівняння в табл. 1 також наведено інформацію про буре вугілля Кансько-Ачинського та Дніпровського басейнів. Теплота згорання необроблених ТПВ для міст України становить 5,0—7,0 МДж/кг, а утворених у країнах ЄС, Канаді, США — 7—15 МДж/кг [2; 4], тобто ТПВ — це паливо, яке можна порівняти за теплою згорання з бурим вугіллям.

**Таблиця 1. Елементний склад і теплота згорання ТПВ різних міст України та України в цілому, бурого вугілля Кансько-Ачинського та Дніпровського басейнів**

Країна або вугільний басейн	Елементний склад, %							Вихід летких, %	$Q_i^r$ , МДж/кг
	$C^r$	$H^r$	$O^r$	$N^r$	$S^r$	$A^r$	$W^r$		
Змішані ТПВ									
Україна	20,3	2,8	17,5	0,6	0,1	20,2	38,5	57,0	6,9
Вінниця	18,6	2,6	15,8	0,4	0,1	21,8	40,2	57,8	6,3
Київ	17,1	2,4	14,4	0,5	0,1	24,4	40,9	58,8	5,7
Львів	19,6	2,7	15,3	0,6	0,2	17,3	43,8	58,2	6,7
Миколаїв	19,6	2,7	15,3	0,6	0,2	17,3	43,8	56,7	6,7
Мелітополь	20,2	2,9	18,1	0,4	0,1	21,0	40,0	56,8	7,0
Полтава	16,5	2,3	13,6	0,6	0,1	25,4	41,3	51,5	5,5
Харків	18,3	2,6	16,5	0,5	0,1	22,7	38,8	58,9	6,1
Хмельник	18,8	2,7	18,4	0,3	0,1	24,8	34,4	58,6	6,3
Черкаси	20,3	2,8	15,5	0,6	0,2	18,7	41,3	63,5	7,0
Буре вугілля									
Кансько-Ачинський басейн	34,3	2,4	11,8	0,4	0,5	6,7	44,0	48,0	11,8
Дніпровський басейн	30,2	2,6	8,7	0,5	1,5	6,5	50,0	60,0	10,1

**Таблиця 2. Елементний склад, вихід летких і теплота згорання складових ТПВ**

Складова ТПВ	Елементний склад, %							Вихід летких, %	$Q_i^r$ , МДж/кг
	$C^r$	$H^r$	$O^r$	$N^r$	$S^r$	$A^r$	$W^r$		
Папір, картон	39,0	5,2	14,1	0,2	0,2	5,4	11,0	79,0	14,07
Пластмаса	55,1	7,6	24,4	0,9	0,3	10,6	8,0	79,0	24,40
Чорні та кольорові метали	0,8	0,04	0,2	0	0	96,0	3,0	—	0,21
Скло	0,7	0,03	0,2	0	0	97,2	2,0	—	0,19
Текстиль	49,3	5,9	19,5	4,2	0,1	2,2	10,0	74,3	19,48
Шкіра, гума	72,9	10,3	35,3	0	2,0	9,9	5,0	49,0	35,31
Дерево	35,5	4,8	13,0	0,1	0,04	0,8	30,0	67,9	13,04
Харчові відходи	12,6	1,8	3,5	1,0	0,2	4,5	72,0	65,2	3,45
Несортований залишок	15,9	2,4	4,9	0,05	0,05	24,0	40,0	44,0	4,90

За офіційною статистикою обсяги збирання ТПВ в Україні за останні роки сягають 11—12 млн т (50—60 млн м<sup>3</sup>) (табл. 3), хоча тільки 77—78% населення України охоплено послугами зі збирання та вивезення ТПВ. Треба зауважити, що офіційні статистичні дані є оціночними, тому що в Україні практично відсутня практика зважування ТПВ, облік ведеться в одиницях об'єму, а перерахунок в одиниці маси здійснюється через густину ТПВ 0,2—0,3 т/м<sup>3</sup>.

*Таблиця 3. Поводження з ТПВ в Україні в 2014—2019 рр.*

Рік	Обсяги збирання	Пункти вторинної сировини		Сміттєпереробні підприємства		Ділянки компостування	Сміттєспалювальні установки		Полігони	
		тис. т	тис. т	%	тис. т		%	тис. т	тис. т	%
2014	10748	142,3	1,3	73	0,7	0	149,5	1,4	10383,2	96,6
2015	11491,8	132,5	1,2	128,3	1,1	2,8	254,3	2,2	10973,9	95,5
2016	11562,6	126,6	1,1	143,8	1,2	1,6	256,7	2,2	11033,9	95,5
2017	11271,2	146,2	1,3	259,9	2,3	1	246,7	2,2	10617,4	94,2
2018	11857,2	146,5	1,2	260,1	2,2	1,6	208,1	1,8	11240,9	94,8
2019	11459,4	128,6	1,1	303,3	2,6	1,2	199,2	1,7	10827,1	94,6

**Примітка:** джерело — узагальнені дані Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України і Державної служби статистики України.

У 2019 р. в Україні перероблено й утилізовано всього 5,6% ТПВ, з них тільки 1,7% спалено, 3,7% потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні установки. Майже 95% зібраних і необроблених ТПВ в Україні складається на полігонах. Нагадуємо, що згідно зі Стратегією цей показник має бути менше 80%. Таке поведження з ТПВ призводить до щорічної втрати значної кількості енергоресурсів і цінних матеріалів, які містяться у відходах. Роздільне збирання та перероблення відходів — це вагома складова підвищення ефективності використання природних ресурсів, в тому числі робіт зі зменшення споживання викопного палива на ТЕС і ТЕЦ.

В Україні працює тільки один сміттєспалювальний завод «Енергія» (м. Київ). У 2019 р. на ньому було спалено 198,4 тис. т ТПВ. Завод може виробляти 227 тис. Гкал теплової та до 50,7 млн кВт·год електричної енергії в рік. Крім того, експлуатуються сміттєспалювальна установка в м. Люботин Харківської області та дві мобільні сміттєспалювальні установки в м. Харкові.

У Стратегії рівень термічної переробки ТПВ планувалося збільшити до 5% у 2018 р., 7% — у 2023 р. і до 10% — у 2030 р. Цих показників планувалося досягти завдяки будівництву 19 установок термічної утилізації ТПВ до 2030 р., включаючи 2 в 2018 році. Тобто сьогодні в Україні актуальним є завдання збільшення рівня переробки ТПВ, в тому числі термічної.

При термічній переробці ТПВ утворюється енергія, яка може бути використана для виробництва електроенергії й теплоти. Термін «відходи в енергію» («Waste-to-Energy» або WtoE) включає не тільки інсинерацію змішаного потоку ТПВ, а й отримання відновлюваного палива з побутових та/або промислових відходів — RDF (Refuse Derived Fuel), SRF (Solid Recovered Fuel) та біогазу з подальшою їх утилізацією на ТЕС, ТЕЦ або на цементних заводах. Викорис-

тання технології WtoE є одним з найбільш надійних та ефективних шляхів економії органічного палива й зменшення викидів парникових газів.

Інсінератор — це установка для утилізації різних типів відходів (в тому числі RDF/SRF) шляхом високотемпературного контрольованого спалювання з подальшим очищенням димових газів. Інсинерація дає змогу суттєво зменшити об'єм (на 90%) та масу (на 75%) ТПВ і вловлювати шкідливі речовини, які утворюються, та/або зменшувати їх викид. Для інсинерації найбільш широко застосовують три основні види термічної обробки відходів: спалювання — повне окислювальне згоряння (найбільш поширений процес); піроліз — термічну деструкцію органічного матеріалу за відсутності кисню; газифікацію — часткове окислення [2]. Для спалювання ТПВ застосовують такі технології: спалювання на решітках, включаючи зворотно-поступальну, рухому, ланцюгову, решітку, що охолоджується водою, обертові печі та спалювання в різних модифікаціях киплячого шару. Граничним значенням теплоти згоряння ТПВ для комерційної інсинерації є величина 6 МДж/кг.

У країнах Європи в останні роки збільшується частка ТПВ, що підлягає обробці. Так, у 2017 р. там було оброблено майже 98% ТПВ. Інсинерації, в тому числі з отриманням енергії, піддається 25% загального обсягу ТПВ, у країнах-членах ЄС — 28% загального обсягу ТПВ, при цьому цей показник щороку збільшується. Середнє значення теплоти згоряння ТПВ, що утилізуються на європейських заводах WtoE, — 10 МДж/кг. У країнах ЄС у 2013 р. працювало 939 установок термічної переробки відходів, з них 562 за технологією WtoE [4]. На 688 установках застосовувалося сумісне спалювання з вугіллям або біомасою. За даними Конфедерації європейських заводів «Відходи в енергію» (CEWER, Confederation of European Waste-to-Energy Plants) заводи з виробництва енергії з ТПВ в Європі можуть забезпечити електрикою 19 млн та теплою 16 млн мешканців. У 2016 р. на цих заводах було вироблено 40 млн кВт·год електроенергії та 93 млн кВт·год теплоти. Це дає змогу економити до 40—45 млн т викопного органічного палива і, крім того, запобігти викиду до 50 млн т на рік парникових газів (у перерахунку на CO<sub>2</sub>), які могли б виділитися у вигляді CH<sub>4</sub> та CO<sub>2</sub> в разі складування цих відходів на полігоні або звалищі [4]. Найбільше технологію WtoE застосовують у Німеччині, Франції, Великій Британії, Італії, Нідерландах, Іспанії та Австрії. Сьогодні в усьому світі зростає кількість установок WtoE, в тому числі в Китаї, Південній Кореї, Індії та інших країнах, де до цього метод термічної утилізації ТПВ широко не застосовувався. Так, наприклад, у Китаї, де до 2000 р. заводів для спалювання ТПВ практично не було, у 2010 р. перероблялося з генерацією енергії вже понад 24 млн т відходів на рік [8]. Крім того, планується щорічний приріст таких потужностей (близько 4 млн тонн).

Концепція «Recovered» (відновлення) є ключовим елементом інтегрованого поводження з відходами. Перевагами цього підходу до переробки ТПВ є те, що відходи перетворюються на товарну продукцію, яка може накопичуватись, складуватись, транспортуватись. Refuse — в англійських країнах це загальний термін для визначення твердих побутових і комерційних або промислових відходів. Термін RDF, зазвичай, відноситься до відокремленої висококалорійної

фракції перероблених ТПВ. Розроблено дві технології для відокремлення висококалорійної фракції ТПВ, яку можна використовувати як RDF: механіко-біологічне оброблення (МБО) ТПВ із отриманням RDF/SRF палив та/або біогазу і суха стабілізація [9]. МБО відходів об'єднує механічні (роздільне збирання, сортування за допомогою сит, барабанів, магнітів тощо, змішування, сушіння, подрібнення, пресування, гранулювання) і біологічні методи. Така сировина, як папір, скло, пластик і метал ідуть на переробку. Фракції ТПВ, що біологічно розкладаються, можуть бути відправлені на компостування й анаеробне зброджування. Всі інші фракції, а це близько третини ТПВ, є сировиною для твердого відновленого палива — RDF/SRF. При використанні технології сухої стабілізації залишкові відходи (без інертів і металів) піддаються біологічній обробці: ефективно сушаться і стабілізуються за допомогою процесу компостування. При цьому утворюється паливо з високою теплою згорання. Цей процес, розроблений у Німеччині, має торговельну назву «Trockenstabilat». Тобто RDF — це органічне паливо, отримане при видаленні вторинної сировини та негорючих матеріалів із ТПВ. Якісні характеристики RDF можуть варіюватися. Залежно від морфологічного складу ТПВ і технології виробництва може бути отримано паливо з різною теплою згорання (від 8 до 23 МДж/кг) у вигляді порошку або гранул різного розміру й густини.

Тверде відновлюване паливо (Solid Recovered Fuel, SRF) — це тверде паливо, отримане з безпечних відходів, в тому числі твердих побутових, промислових і комерційних відходів, включаючи папір, картон, дерево, текстиль і пластмасу, які можуть будуть використані для виробництва енергії в установках спалювання або спільного спалювання з вугіллям. SRF виробляється відповідно до класифікації та технічних характеристик, викладених у європейському стандарті EN 15359:2011 Solid Recovered Fuels — Specifications and Classes. Схема класифікації SRF використовує три основні параметри: теплоту згорання (економічну інформацію), концентрацію Cl (технічну інформацію) і Hg (екологічну інформацію) (табл. 4). Стандарт EN 15359:2011 прийнятий в Україні методом підтвердження на мові оригіналу (англійській) — «ДСТУ EN 15359:2018 Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи (EN 15359:2011, IDT)».

*Таблиця 4. Класифікація SRF згідно з EN 15359:2011*

Класифікаційний параметр	Статистична міра	Одиниці вимірювання	Класи				
			1	2	3	4	5
Вища робоча теплота згорання	Середнє значення	МДж/кг	≥ 25,0	≥ 20,0	≥15,0	≥10,0	≥3,0
Хлор (Cl)	Середнє значення	% (на суху масу)	≤0,2	≤0,6	≤1,0	≤1,5	≤3,0
Ртуть (Hg)	Середнє значення	мг/МДж	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,50

Кількість RDF/SRF, що виробляється з ТПВ, може змінюватись від 25 до 55% (за масою) залежно від країни, типу збирання, методів обробки та вимог до якості [9]. Виробництво RDF/SRF палив у світі щорічно збільшується. Так, у країнах ЄС у 2003 р. було вироблено близько 3 млн т RDF/SRF, у 2005 р. —

більше 5 млн т, а у 2017 р. вже 17,5 млн тонн. У 2015 р. близько 13,5 млн т RDF/SRF утилізовано на заводах WtoE, при спільному спалюванні з вугіллям при виробництві цементу та на ТЕС і ТЕЦ (як комунальних, так і промислових). Виробництво і споживання RDF/SRF найбільш розвинуто в Німеччині, Італії, Австрії, Великій Британії. Щорічний попит на RDF/SRF в країнах ЄС складає 53—63 млн тонн.

Наші розрахунки показують, що в Україні є потенціал для виробництва 2—3 млн т RDF/SRF з теплою згоряння 10—15 МДж/кг (3—4 класи згідно з EN 15359:201) щорічно. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 1500 ГВт·год електрики та 3000 ГВт·год теплоти. Потенціал заміщення природного газу при цьому понад 0,6 млрд м<sup>3</sup>.

ТЕЦ 25 цукрових заводів, які працювали у виробничий сезон 2015 р. в Україні, споживали природний газ у кількості 214,4 млн м<sup>3</sup>, а ТЕЦ одного цукрового заводу споживала мазут [10]. ТЕЦ 11 цукрових заводів працювали з повною або частковою заміною природного газу. Було витрачено пелет — 15,6 тис. т, біогазу — 6,1 млн м<sup>3</sup>, торфу — 13,2 тис. т, кам'яного вугілля — 68,5 тис. тонн. Це дало змогу в цілому за сезон виробництва замінити альтернативними видами палива близько 100 млн м<sup>3</sup> природного газу. Складова палива та енергії у вартості цукру складає — 27%. Сьогодні актуальним є продовження робіт на цукрових заводах України із заміщення природного газу та вугілля альтернативними видами палива. Крім того, в Україні, починаючи з 2014 р., спостерігається дефіцит вугілля всіх марок. Використання на ТЕЦ цукрових заводів як палива або добавки до основного палива RDF/SRF здатне частково замінити дефіцитні в Україні природний газ і вугілля при виробництві електроенергії та теплоти з дотриманням вимог ЄС щодо поводження з відходами. Крім того, використання RDF/SRF як палива на ТЕЦ цукрових заводів може забезпечити їхню безперервну роботу протягом всього року. Але треба зазначити, що для використання RDF/SRF на ТЕЦ потрібно здійснити реконструкцію.

ТПВ та RDF/SRF є найбільш доступними і одними з найбільш економічно доцільних поновлюваних джерел енергії, що використовується в тепловій енергетиці. Так, вартість електроенергії на СЕС коливається від 230 до 550 євро/МВт·год, ВЕС — від 70 до 300 євро/МВт·год, ТЕС на біомасі — від 50 до 300 євро/МВт·год, геотермальні ТЕС — від 100 до 200 євро/МВт·год, а ТЕС на ТПВ — від 25 до 80 євро/МВт·год [8]. Крім того, при споживанні ТПВ вирішується важливе соціальне завдання — утилізація відходів. Однак затрати на будівництво заводів WtoE на порядок вищі за будівництво ТЕС на вугіллі. Середні капітальні витрати на 1кВт встановленої потужності заводу WtoE складають 7—11 тис. дол. США, а щорічні експлуатаційні витрати — до 400 дол. США на 1кВт встановленої потужності. Причому капітальні витрати залежать від встановленої потужності, технології переробки, теплоти згоряння ТПВ або RDF/SRF, виду виробленої енергії, глибини очищення димових газів.

Враховуючи високу вартість будівництва та експлуатації заводів WtoE, перспективи енергетичної утилізації ТПВ в Україні можливі тільки тоді, коли

захоронення відходів буде дорожче за переробку. Треба зазначити, що на сьогодні в Україні захоронення ТПВ на полігонах залишається найдешевшим з усіх видів поводження з ТПВ. Ставка податку на захоронення ТПВ в Україні складає 7,5 грн/т (37,86 грн/м<sup>3</sup>), або 0,25 євро/т, тоді як у Німеччині — 100—350 євро/т, Нідерландах — 90—180 євро/т, Фінляндії — 50—100 євро/т, Данії — 65 євро/т, Швеції — 38—67 євро/т, Франції — 50—120 євро/т, Італії — 70—120 євро/т [2].

### **Висновки**

1. Проблема раціонального управління відходами є актуальною в усьому світі. Зобов'язання України у цій сфері вимагають змінення поводження з ТПВ. У 2019 р. в Україні перероблено й утилізовано всього 5,6% ТПВ, з них тільки 3,7% потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні установки, а 1,7% спалено з генерацією енергії. Згідно з Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 р. рівень термічної переробки ТПВ у 2018 р. мав досягти 5%, у 2023 р. — 7%, а у 2030 р. — 10%. Цих показників планується досягти завдяки будівництву 19 установок термічної утилізації ТПВ до 2030 року. Тобто сьогодні в Україні актуальним є завдання збільшення рівня переробки ТПВ, в тому числі термічної з генерацією енергії.

2. Основна тенденція в управлінні ТПВ в країнах ЄС полягає у їхній комплексній переробці — окремому збиранні, сортуванні, механіко-біологічній обробці та виробництві енергетичного палива з фракцій ТПВ, що залишилися, — RDF та SRF. Перевагою цього підходу є перетворення відходів на товарну продукцію, що може накопичуватись, складуватись, транспортуватись. Якісні характеристики продукції можуть варіюватися.

3. В Україні є потенціал для виробництва 2—3 млн т RDF/SRF палив з теплою згоряння 10—15 МДж/кг щорічно. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 1500 ГВт·год електрики та 3000 ГВт·год теплоти. Потенціал заміщення природного газу при цьому понад 0,6 млрд м<sup>3</sup>.

4. Використання на ТЕЦ цукрових заводів як палива RDF/SRF здатне частково замінити дефіцитний в Україні природний газ при виробництві електроенергії й теплоти з дотриманням вимог ЄС щодо поводження з відходами. Крім того, використання RDF/SRF на ТЕЦ цукрових заводів може забезпечити їхню безперервну роботу протягом усього року.

### **Література**

1. Закон України «Про внесення змін до Конституції України (щодо стратегічного курсу держави на набуття повноправного членства України в Європейському Союзі та в Організації Північноатлантичного договору)». *Відомості Верховної Ради України*. 2019. № 9. С. 50. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2680-19>.

2. Frederik Neuwahl, Gianluca Cusano, Jorge Gómez Benavides, Simon Holbrook, Serge Roudier; Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration. 2019. 764 p.; EUR 29971 EN; doi:10.2760/761437.

3. Haponych L. S., Golenko I. L., Topal A. I., Legislation, current situation and prospects of using municipal solid waste as energy resource in Ukraine. The problems of general energy, 2019, 3(58): 45—54. URL: doi:<https://doi.org/10.15407/pge2019.03.045>

4. Saveyn H., Eder P., Ramsay M., Thonier G., Warren K., Hestin M. (2016). Towards a better exploitation of the technical potential of waste-to-energy. EUR 28230 EN. URL: DOI:10.2791/870953.
5. Solomon I., Afanaseva V. Composition and properties of municipal solid waste considered when choosing technical methods of water treatment. *Природообустройство*. 2017. № 3. С. 82—90.
6. Komilis D., Evangelou A., Giannakis G., Lympers C. Revisiting the elemental composition and the calorific value of the organic fraction of municipal solid wastes. *Waste Management*. 2012. Vol. 32, Issue 3. P. 372—381. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.034>.
7. Nasrullah M., Vainikka P., Hannula J., Hurme M., Oinas P. Elemental balance of SRF production process: Solid recovered fuel produced from municipal solid waste. *Waste Management & Research*, 2015. Vol. 34, Issue 1. P. 38—46. URL: DOI: 10.1177/0734242X15615697.
8. Tugov A. N. Prospects for the use of municipal solid wastes as secondary energy resources in Russia. *Therm. Eng.*, 2013, 60: 663—668. URL: <https://doi.org/10.1134/S0040601513090139>.
9. Refuse derived fuel, current practice and perspectives (B4-3040/2000/306517/ MAR/E3). WRc, 2003. URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf>.
10. Бутило Р. Огляд ринку: аналіз, прогнози та перспективи. *Цукор України*. 2017. № 1(133). С. 8—23.