



УДК 62-665.3

**TECHNIQUE FOR DETERMINING THE HEAT OF COMBUSTION IN THE PRODUCTION OF FUEL FROM SOLID MUNICIPAL WASTE WITH PREFERRED CHARACTERISTICS****МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПАЛИВ З ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ІЗ НАПЕРЕД ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Sklyarenko E.V. / Скляренко Є.В.

Ph.d. / к.т.н.

ORCID : 0000-0003-3952-6520

Vorobiov L.Y. / Воробйов Л.Й

d.t.s, s.r. / д.т.н., с.н.с.

ORCID : 0000-0001-7958-6996

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, M. Kapnist Str., Kyiv  
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, вул. М. Капніст, 2а, Київ*

**Анотація.** Розглянуті питання утилізації твердих побутових відходів (ТПВ) з виробництвом нових палив на їх основі. Запропонована технологія виробництва палив з ТПВ з наперед заданими теплотехнічними характеристиками, зокрема, їх теплоти згоряння. Проведено аналіз методики калориметричного методу визначення теплоти згоряння палив з ТПВ, його переваг і вад. Показано, що на точність визначення теплоти згоряння ТПВ калориметричним методом, значний вплив має формування представницької дослідної наванжки у відповідності до морфологічному складу вихідних відходів. В роботі розглянута можливість використання бомбових кондуктивних калориметрів для визначення теплоти згоряння ТПВ і запропоновано спосіб підвищення точності таких досліджень.

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, морфологічний склад відходів, теплота згоряння палива.

**Вступ.**

Тверді побутові відходи (ТПВ), об'єми яких постійно зростають, є значним джерелом забруднення навколишнього середовища. Тому проблема їх утилізації і обеззараження є одною з найбільш актуальних задач світу.

Схема поводження з відходами в кожній країні визначається як власними факторами (наявність вільних земель під полігони для захоронення, стан економіки, щільність населення, умови утворення і збирання відходів і ін.), так і міжнародними зобов'язаннями. Наприклад, для України, таким «дороговказом» є Угода про асоціацію з ЄС і розроблена на її основі Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 р.

Базуючись на передовий світовий досвід, прийняті зобов'язання стимулюють впровадження технологій найбільш ефективної утилізації ТПВ, які наносять мінімальну екологічну шкоду довкіллю, мають низькі капітальні витрати та дозволяють отримати прибуток, а це робить вирішення зазначеної проблеми, доволі актуальною науковою та практичною задачею.

**Основний матеріал.**

Тверді побутові відходи (ТПВ) – це відходи, які утворюються в процесі життєдіяльності людини, є непридатними до подальшого використання і потребують їх утилізації, знешкодження та захоронення.



Однак ефективна утилізація ТПВ є складною справою, яка потребує спеціальної техніки і технології. Складність утилізації ТПВ, в значній мірі, обумовлена широким морфологічним складом та низькими теплотехнічними характеристиками цих компонентів (табл.1).

Проблема ускладнюється ще й тим, що кількісні і якісні характеристики ТПВ не є сталими, а постійно змінюються, в залежності від країни, населеного пункту, умов життя населення, пори року, погодних умов та інших факторів їх утворення і збору [2, 3].

**Таблиця 1 - Теплотехнічні характеристики складових ТПВ [1]**

Компоненти ТПВ	Середній склад ТПВ, % по масі	Хімічний склад, %							Вихід легких, % на горючу масу	Q <sub>нр</sub> , МДж/кг
		С <sup>р</sup>	Н <sup>р</sup>	О <sup>р</sup>	Н <sup>р</sup>	С <sup>р</sup>	А <sup>р</sup>	W <sup>р</sup>		
Папір	34	27,8	3,7	28,3	0,16	0,14	15	25	79,0	9,49
Харчові	35	12,6	1,8	8,0	0,95	0,15	4,5	72,0	65,2	3,43
Текстиль	4,5	39,4	4,5	23,2	3,4	1,1	8,0	20,0	84,0	15,72
Деревина	3	40,5	4,8	33,8	0,1	-	0,8	20,0	67,9	14,46
Шкіра, гума	2,5	65,0	5,0	12,6	0,2	0,6	11,6	5,0	49,0	25,8
Пластмаса	1,5	55,1	7,6	17,5	0,9	0,3	10,6	-	89,0	24,37
Відсів < 15 мм	5,5	13,9	1,9	14,1	-	0,1	50,0	20,0	54,0	4,6
Зола, шлак		25,2	0,45	0,7	-	0,45	63,2	10,0	2,7	8,65
Інші відходи	0,5	47,0	5,3	22,7	0,1	0,2	11,7	8,0	60,2	18,14
Кістки, метал, скло, каміння	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Так, наприклад, за даними, Шостого національного повідомлення України з питань зміни клімату, діапазони зміни морфологічного складу ТПВ є такими: харчові відходи — від 35 до 50%, папір та картон — від 10 до 15%, вторинні полімери (пластмаса, ПЕТФ пляшки, полімерна плівка, Тетра Пак 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 (листя, гігієнічні засоби, кістки, шкіра, гума, комбіновані відходи, небезпечні відходи тощо) — 10%. Частка відходів з органічною складовою — від 60 до 85%.

Зміна ж морфологічного складу призводить до зміни елементарного складу відходів, і як наслідок, до зміни їх теплоти згоряння, що є основною енергетичною характеристикою відходів. Так в [4] зазначається, що наприклад, в Японії, лише за останні роки, середня теплота згоряння міського сміття, збільшилась майже у двічі (з 3300 – 4200 до 6300 – 7150 кДж/кг).

Аналіз світового досвіду показує, що утилізація ТПВ здійснюється в трьох основних напрямках:

- повторне використання складових ТПВ, чи їх переробка з отриманням нових корисних продуктів і палив;
- термохімічна конверсія (спалювання, газифікація, піроліз) та інші методи утилізації (біологічні, хімічні, фізико-хімічні і ін.);



- захоронення на полігонах.

На практиці, найбільш оптимальним є комплексний підхід, що передбачає роздільний збір і сортування ТПВ та наступну термохімічну конверсію (переробку) лише тих відходів, які не можуть бути ефективно перероблені іншими методами.

В Україні ж, за даними приведеними в [5], при щорічних обсягах збирання ТПВ в межах 11—12 млн. т, лише до 6% переробляється і утилізується, і з яких всього до 2% спалюється з генерацією теплової та електричної енергії. Це при тому, що в країнах ЄС до 98% ТПВ обробляється, і до 30% спалюється з генерацією енергії.

Тобто, основна маса ТПВ в Україні вивозиться на спеціально обладнані чи стихійні звалища, що потребує значних земельних площ і транспортних витрат. Поряд з цим, екологічний і санітарний стан цих полігонів, призводить до суттєвого забруднення довкілля (землі, повітря, поверхневих та ґрунтових вод). Якраз екологічний чинник є, відповідно до Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030р, основним фактором заборони утворення нових звалищ, зменшення об'ємів захоронення ТПВ на цих полігонах до рівня 30% в 2030 р, а також збільшення кількості стаціонарних установок термічної їх утилізації (піролізу, газифікації чи прямого спалювання).

Враховуючи недоліки полігонного захоронення ТПВ, а також дефіцит і постійне зростання цін на традиційні викопні палива, установки термічної утилізації ТПВ, набули широкого розповсюдження. На сьогодні, в розвинутих країнах світу, експлуатується тисячі сміттєспалювальних установок і їх число постійно зростатиме. На значній кількості з цих установок виробляється тепла і електрична енергія, що суттєво зменшує вартість утилізації відходів і є значним вкладом в енергетику країни. Наприклад, для генерації енергії, в Фінляндії використовується приблизно 10% побутових відходів, в Германії – 25%, Швеції – 30%, Данії – 45%, Швейцарії – 55% [6], а в Японії, взагалі спалюється більше 80% міського сміття, з якого 25...30% з генерацією енергії і лише до 3% захоронюється, або використовується в якості добрива [7].

Серед термічних методів утилізації побутових відходів, найбільшого поширення набули процеси прямого спалювання ТПВ без підготовки і з підсвіткою газом чи мазутом та спалювання з попередньою переробкою і без підсвітки іншим паливом. При цьому, згідно практичного досвіду, процесам прямого спалювання, найбільш доцільно піддавати ТПВ з вологістю 20-40%, середньою зольністю до 25% і теплотою згоряння не нижче 6 МДж/кг.

Друга технологія, хоча і є більш вартісною, вважається більш перспективною, оскільки передбачає попереднє сортування і відбір компонентів які придатні для подальшого використання, а також вилучення шкідливих компонентів. Частина органіки відходів, може бути використана для виробництва компосту після анаеробної ферментації і виробництва горючого газу. Решту відходів піддають сушці, подрібненню та пресуванню для виробництва гранульованого палива, у вигляді гранул чи брикетів. Енергетична щільність нових палив і їх ефективність застосування, в значній мірі залежить від вихідного морфологічного складу ТПВ.



**Метою даної роботи** є покращення методики визначення теплоти згорання калориметричним методом, при виробництві палив з ТПВ із наперед заданими характеристиками.

Тверде паливо з побутових відходів – це тверде паливо, підготовлене з небезпечних відходів і призначене для вироблення енергії на сміттєспалювальних заводах (установках) або установках попутного сміттєспалювання.

Традиційно тверде паливо з побутових відходів розділяють на дві групи - RDF (Refuse Derived Fuel) та SRF (Solid Recovered Fuel). Головна відмінність між ними у тому, наскільки очищений та оброблений кінцевий продукт. SRF - це більш трудомісткий процес, але матеріал, що отримується в результаті, дуже добре підходить для використання в якості палива в промисловості. З іншого боку, RDF менш очищений і зазвичай не такий ефективний, як паливо.

RDF (Refuse Derived Fuel) — це органічне паливо, у вигляді пилу, порошку, гранул, брикетів чи суспензій, отримане при видаленні вторинної сировини та негорючих матеріалів із ТПВ. RDF є загальним терміном, що використовується для змішаних відходів, склад яких, характеристики та властивості не є повністю відомими. Теплота згорання таких палив, в залежності від морфологічного складу вихідних ТПВ, може складати до 14 МДж/кг.

SRF (Solid Recovered Fuel) — це більш якісне тверде паливо, отримане з ТПВ після сортування та сушіння із застосуванням для вироблення палива безпечних матеріалів з високою теплою згорання. Теплота згорання таких палив зазвичай становить більше 15 МДж/ кг.

В той же час сучасні нормативні документи, наприклад ДСТУ EN 15359:2018 [8], розглядають тверде паливо з ТПВ тільки як SRF, розділяючи його на п'ять класів в залежності від вищої теплоти згорання та вмісту хлору і ртуті.

**Таблиця 2. Класифікація SRF згідно з EN 15359:2011 [8]**

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

Крім того за бажанням виробника або за вимогою споживача можуть визначатися вміст важких металів або інших заруднюючих речовин.

Серед найбільш ефективних технологій утилізації ТПВ, широкого поширення набула технологія «Waste-to-Energy» або WtoE. Вона передбачає виробництво теплової і електричної енергії при використанні палив RDF/SRF з побутових і промислових відходів. При цьому, економляться традиційні викопні палива і зменшуються шкідливі викиди у навколишнє середовище.

Наприклад, за технологією фірми PLM Miljoteknik (Швеція) [9], легкі фракції (бумага, текстиль, пластмаса і ін.), які складають 10...15% вихідних



відходів, після зменшення їх вологості з 30 до 15%, пресуються під великим тиском в паливні брикети Brini Fuel. Їх теплота згоряння біля 16,7 МДж/кг, а щільність приблизно 450 кг/м<sup>3</sup>. По цій технології працює більше 8 тис. установок в Північній Європі.

У Франції широкого поширення набув технологічний процес підготовки сміття до його спалювання у вигляді гранул Combor [10]. Технологія передбачає сортування, подрібнення, сепарацію, сушку за рахунок спалювання частини ТПВ і гранулювання решти (40%) відходів. Гранули мають форму циліндрів діаметром 12 – 16 мм і висотою 20 – 70 мм. Теплота згоряння гранул складає 15,1 МДж/кг, вологість 10%, зольність 15 – 20%.

Спалювання палив з ТПВ відбувається в котлах, печах чи спеціальних установках. Найбільш поширеним способом спалювання таких палив є їх спалювання в суміші з іншим паливом (вугіллям, мазутом, газом) [11...14]. Поряд з економією традиційних палив і зменшенням шкідливих викидів в атмосферу, спалювання такої суміші дозволяє уникати значного нагару і корозії поверхонь нагріву. Так в [12] зазначається, що при спалюванні суміші з 50% брикетів і 50% вугілля швидкість корозії поверхонь нагріву в 10 – 30 разів менша, ніж при використанні одних брикетів. При цьому, швидкість корозії різко зростає коли доля брикетів в суміші складає понад 75%.

Таким чином, переробка ТПВ в гранули і брикети і їх використання, крім енергетичних і екологічних зисків, дозволяє отримати і інші переваги. Це транспортабельність, що дозволяє їх використовувати на відстані від місць виробництва, а також можливість їх безпечного складування і довготривалого зберігання.

При виробництві твердих палив з ТПВ, більшість технологій функціонують за принциповою схемою приведеною на рис.1, які включають процеси: сортування, з магнітною сепарацією і повітряною класифікацією, подрібнення, сушіння, брикетування та складування.



**Рисунок 1- Традиційна схема технології виробництва гранульованих палив з міських побутових відходів**

Якість отриманого палива визначається в процесі його сертифікації при відправленні на склад.

Сертифікація передбачає визначення основних теплотехнічних характеристик, зокрема, його вологості, зольності і теплоти згоряння.

Традиційно методика визначення теплотехнічних характеристик палив з ТПВ полягає в наступному:



1. Із вибраної партії палива з ТПВ відбираються точкові проби (мінімальне число точкових проб – 24), що регламентується стандартом EN15442 [15]. При змішуванні точкові проби формують об'єднану пробу. Мінімальні розміри точкових та об'єднаної проб визначаються в залежності від розмірів частинок палива, насипної густини та розмірів об'єкту, з якого відбирається проба. Після подрібнення і гомогенізації з частини об'єднаної проби визначають вологість (EN15414) [16] та зольність (EN15403) [17] вихідного палива.

2. Із іншої частини об'єднаної проби, шляхом її скорочення, подрібнення, гомогенізації і кондиціонування формується лабораторна проба (EN15443) [18]. Метою підготовки проби є її скорочення до однієї чи більше досліджуваних частин, які переважно менші, ніж вихідна проба. Головний принцип скорочення проби полягає в тому, що склад відібраної проби не може бути змінений у ході кожної наступної стадії пробопідготовки і кожна скорочена проба має характеризувати вихідну пробу. Для досягнення цієї мети кожна частка проби повинна мати рівну ймовірність потрапити до частини проби, що зберігається після зменшення маси під час скорочення. Подрібнення проби проводять за допомогою різних типів млинів та дробарок, а зменшення проби за допомогою пристроїв-дільників або вручну, методом квартування. Розмір частинок палива для визначення теплоти згоряння повинен бути менше за 1 мм. Перед вимірюваннями проба повинна пройти кондиціонування в лабораторних умовах, тобто пройти витримку у тонкому шарі до набуття рівноважної повітряно-сухої вологості.

3. При подальшому розділенні, гомогенізації і при потребі, додатковому подрібненні лабораторної проби, формується аналітична проба, з якої відбирається дослідна наважка для калориметричного дослідження теплоти згоряння палива.

При цьому, для отримання релевантного результату вимірювань необхідно забезпечити властивості дослідної наважки такими, що відповідають усередненим значенням вихідного палива. Відбір же такої представницької дослідної наважки, значною мірою ускладнюється тим, що для вимірювання теплоти згоряння палива у бомбовому калориметрі, її маса повинна складати приблизно 1 г. Отримання такої наважки досягається в процесі низки послідовних, ретельно проведених операцій (гомогенізації, розділення, подрібнення фракцій, змішування і ділення проби).

4. Визначення вищої теплоти згоряння палива з ТПВ здійснюють за методикою регламентованою стандартом EN 15400 [19]. Сутність методу визначення вищої теплоти згоряння при постійному об'ємі полягає у повному спалюванні наважки твердого палива в атмосфері стиснутого кисню (3 МПа), в герметично закритій металевій посудині - калориметричній бомбі.

Традиційно, енергію, що виділилася в бомбі вимірюють за допомогою неавтоматизованого водяного калориметра. Хоча зараз часто застосовують автоматизовані водяні або безводні прилади, наприклад, кондуктивні калориметри [20, 21], які дозволяють спростити і пришвидшити процедуру вимірювання.



В результат вимірювання вносять поправки на теплоту розчинення азотної та сірчаної кислоти, що утворюються при спаленні наважки і визначають вищу теплоту згоряння палива. За остаточний результат визначення вищої теплоти згоряння аналітичної проби палива з побутових відходів приймають середньоарифметичне значення результатів двох паралельних визначень. Нижчу теплоту згоряння визначають з врахуванням вмісту вологи та водню у паливі. Результати вимірювань оформлюють у вигляді протоколу із зазначенням всіх відомих параметрів дослідженого зразка палива.

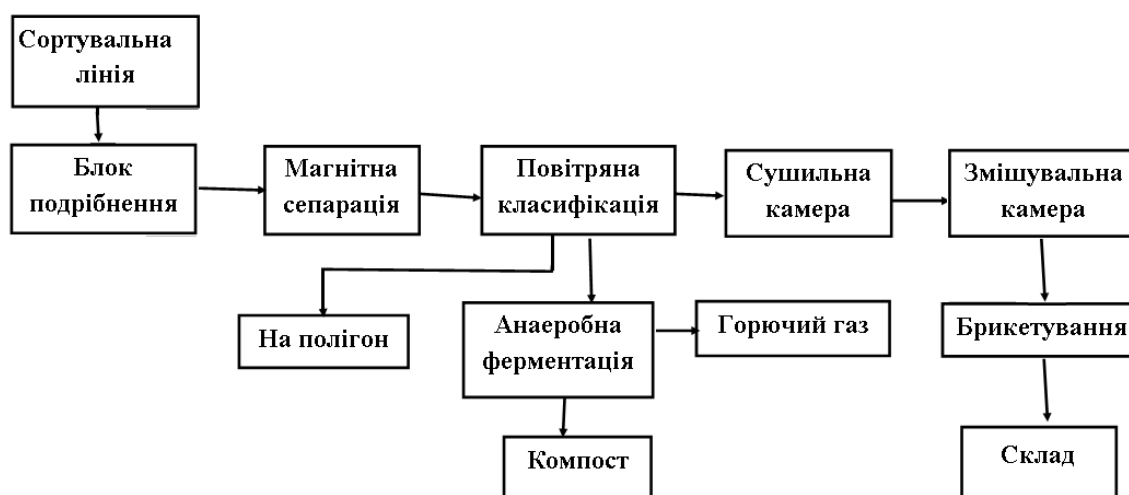
Досвід проведення вимірювань показує, що іноді, незважаючи на ретельну підготовку проби, результати двох вимірювань теплоти згоряння неоднорідних сумішей можуть відрізнятися на декілька відсотків.

У такому випадку пропонується проводити 5...7 дослідів і визначати теплоту згоряння як середнє значення результатів дослідів та розраховувати середньоквадратичне відхилення як оцінку неоднорідності.

Загалом, розглянута методика передбачає визначення теплотехнічних характеристик палива після факту його виготовлення. Але враховуючи широкий і змінний морфологічний склад вихідних ТПВ, можна стверджувати, що теплота згоряння таких палив буде також змінюватись в широких межах. І не дивлячись на те, що дана пропозиція дозволяє підвищити точність визначення теплоти згоряння палива, вона не дозволяє її корегувати (підвищувати) при потребі.

Для вирішення даної проблеми, пропонується технологію утилізації ТПВ і виготовлення гранульованих палив, здійснювати за схемою наведеною на рисунку 2.

На відміну від технології приведеної на рисунку 1, в запропонованій технології додатково вводиться змішувальна камера, де відбувається змішування вихідної суміші ТПВ з додатковими високоенергетичними інгредієнтами (відходи вуглезбагачення, нафтопереробки, біомаса, торф і ін.). Технологія дозволяє виробляти композитне паливо з наперед заданими його теплотехнічними характеристиками.



**Рисунок 2 - Принципова схема утилізації твердих побутових відходів і з виробництвом палив із наперед заданими теплотехнічними характеристиками**



При цьому кількісні співвідношення вихідних ТПВ і додаткових компонентів підбираються на основі попереднього визначення їх теплоти згоряння і планових теплотехнічних характеристик кінцевого продукту. Для цього теплоту згоряння вихідної суміші ТПВ пропонується досліджувати після камери сушіння.

Отримана інформація дозволяє аналітично визначити кількість необхідних додаткових інгредієнтів, із більшою енергетичною щільністю. Тобто теплоту згоряння проектного палива визначають як суму теплоти згоряння відходів ТПВ і додатковий інгредієнтів, з їх ваговими коефіцієнтами, які пропорційні часткам цих компонентів у суміші [22, 23]. Теплоту згоряння кожного з додаткових компонентів визначають або за результатами окремих експериментів, або за літературними даними.

### **Висновки.**

Запропоновано додатково проводити контроль теплотехнічних характеристик палив з ТПВ перед пресуванням з послідуочим додаванням високоенергетичних інгредієнтів, що дозволить отримати кінцевий продукт з більш високими наперед заданими теплотехнічними характеристиками, що значною мірою, підвищить ефективність утилізації ТПВ і використання їх енергетичного потенціалу для генерації енергії.

Для визначення достовірного значення теплоти згоряння палива, в калориметричних дослідженнях, необхідно ретельно проводити процес формування дослідної наважки, що включає: представницький відбір, подрібнення та перемішування у кілька стадій, зменшення обсягу та кондиціонування. У разі розбіжності результатів двох дослідів визначення теплоти згоряння на декілька відсотків рекомендується проводити 5...7 дослідів і визначити теплоту згоряння як середнє значення результатів дослідів.

### **Література**

1. Гольстрем В.А., Кузнецов Ю.Л. Справочник по экономии топливно – энергетических ресурсов. – К.: Техніка, 1985. –С.384.
2. O. Sigal, Q. Boulanger, L. Vorobiov, N. Pavliuk N., R. Serhiienko. Research of the energy characteristics of municipal solid waste in Cherkassy. Journal of Engineering Sciences. Sumy: Sumy State University, 2018. Vol. 5, Is. 1. P. H16-H22.
3. Rajca, P.; Skibinski, A.;Biniek-Poskart, A.; Zajemska, M. Review of Selected Determinants Affecting Use of Municipal Waste for Energy Purposes. Energies 2022, 15, 9057. – p. 17.
4. Waste disposal – waste for the production of energy. Evemi Philip. «Wastes Manag.». 1985, 75. №8, p.430 – 444.
5. Буляндра О., Гапонович Л., Голенко І., Топал О. Перспективи використання палива з твердих побутових відходів на ТЕЦ цукрових заводів. Наукові праці НУХТ 2020. Том 26, №3.
6. Гладунцов А.И. и др. Эффект энергоиспользования в народном хозяйстве Москвы. М.,1982, с.73 – 79.
7. Japanese, Europeans lead in waste –bto – energy incineration. Peterson Charles. «World Wastes», 1985, 28, №6, p.32 – 33.





8. ДСТУ EN 15359:2018 Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи (EN 15359:2011. IDT).
9. Energia dai rifiuti/ Gernuschi Giovanni Battista. «AES», 1985. 7, №3. P.5-8
10. Fabrication de granules combustibles a partir d'ordures E.L.menageres. «Techn.energ.», 1981, №52, p.50 – 51.
11. Получение из бытовых отходов в США. Иидзима Риндзо, «Хай – кибуцу», 1982, 8, №4, p.81 -87.
12. Municipal waste devided fuels, production combustion and environmental aspects. Porteous A. «J. Heat Recov. Syst.», 1984, 4, №5, p.317 – 322.
13. Municipal waste derived fuels. Production, combustion and environmental aspects. Porteous A. «Energy Ecjn. And Manag. Ind. Proc. Eur. Congr., Algarve, 2 -5 Apr., 1984. Vol.1». Oxford e.a., 1985, h.103 – 111.
14. Municipal solid waste for energy a technology review. Peterson Charles, Givonetti Raymond. «Energy Technol. 11:Appl. And Econ. Proc. 11<sup>th</sup> Energy Technol. Conf., Washington, D.C.,19 – 21 Varch,1984». Rockville, Md, 1984, p.1337 – 1356.
15. EN 15442:2011. Solid recovered fuels - Methods for sampling.
16. EN 15414 – 1:2010. Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 1: Determination of total moisture by a reference method.
17. EN 15403:2011. Solid recovered fuels - Determination of ash content.
18. EN 15443:2011. Solid recovered fuels - Methods for the preparation of the laboratory sample.
19. EN 15400:2011 Solid recovered fuels - Determination of calorific value
20. Воробьев Л.И., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. Бомбовые калориметры для определения теплоты сгорания топлив. Инженерно – физический журнал. 1997, т.70, №5. – С. 828 – 839.
21. Воробьев Л.И., Декуша Л.В., Назаренко О.А., Грищенко Т.Г. Применение метода квазидифференциальной калориметрии при реализации прибора для измерения теплоты сгорания. Промышленная теплотехника. – 2017. т.39, №1.- С. 71-75.
22. Склярченко Є.В., Воробйов Л.Й. Калориметричний аналіз композитних палив з біомаси на основі соломи пшениці.The scientific heritage No 32,vol.1,(2019)p.38-43.
23. Склярченко Є. В., Воробйов Л.Й. Теплотехнічний аналіз палив з біомаси. Modern engineering and innovative technologies. 2019, №08-2. - С.19-30.

**Abstract.** The issue of utilization of municipal solid waste (MSW) with the production of new types of fuel based on them is considered. The proposed technology for the production of fuel from solid waste with specified thermal characteristics, in particular, the heat of their combustion. An analysis of the calorimetric method of determining the heat of combustion of solid fuel, its advantages and disadvantages, was carried out. It is shown that the accuracy of determining the heat of combustion of solid waste by the calorimetric method is significantly affected by the formation of a representative sample according to the morphological composition of the original waste. The paper considers the possibility of using bomb-conducting calorimeters to determine the heat of combustion of solid municipal waste and suggests ways to improve the accuracy of such studies.

**Key words:** solid municipal waste, morphological composition of waste, heat of fuel combustion.



*Стаття підготовлена у рамках виконання науково – дослідної тематики ІТТФ НАН України, тема «Розроблення технічних засад нової високоефективної технології спалювання штучних палив з твердих побутових відходів та біомаси у когенераційних енергоустановках з використанням водню, кисню, синтетичного та біометану для забезпечення енергетичної безпеки України».*

Стаття відправлена: 2023р  
Скляренко Є.В., Воробйов Л.Й.