

*В. М. Чупа, Я. О. Адаменко, К. О. Чупа
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РІЗНОМАНІТНИХ СУМІШЕЙ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ДО ТВЕРДОПАЛИВНИХ ПЕЛЕТ

В статті розглянуто актуальне для сьогодення питання поводження з твердими побутовими відходами та акцентовано увагу на те, що найбільш ефективним методом скорочення обсягу відходів є термічна обробка. Приділено увагу такому важливому параметру при спалюванні твердих побутових відходів як калорійність.

Проведено дослідження калорійності різних типів відходів, деревних твердопаливних пелет зроблених з різної деревини. Проби відходів були отримані під час виїзної експедиції на полігон твердих побутових відходів (ТПВ) с. Рибне. Проведено аналіз рівня калорійності суміші відходів, що відповідає морфологічному складу полігону ТПВ в с. Рибне, що придатне для спалювання. Також, проведено аналіз калорійності суміші деревних твердопаливних пелет, що було зроблене з різних видів деревини. Досліджено рівень теплової енергії для різних видів відходів (пластик, біо-відходи, гума, папір, текстиль, дерево, тощо) та різних видів твердопаливних деревних пелет (дуб, бук, хвоя, тощо). Розраховано показник калорійності різних сумішей відходів і пелет при різних відсоткових значеннях компонентів у суміші. Для спрощення розрахунку застосовувалось програмне забезпечення Microsoft Excel. При визначенні використовувались реальні значення калорійності, що були отримані під час лабораторного дослідження за допомогою калориметра ІКА С1.

Шляхом перетворень, співвідношень та розрахунків встановлено залежності для кожного з типів відходів та твердопаливних деревних пелет. Використовуючи значення теплотворної здатності, які були отримані під час спалювання було знайдено мінімальні та максимальні рівні калорійності при різних відсоткових значеннях компонентів. Створено алгоритм розрахунку, за яким можна визначити кількість теплової енергії при різноманітних відсоткових співвідношеннях типів відходів до деревних твердопаливних пелет.

Ключові слова: тверді побутові відходи, термічне знешкодження, сміттєспалювання, калорійність.

Постановка проблеми. Проблема твердих побутових відходів (ТПВ) надзвичайно актуальна, оскільки в Україні спостерігається стала тенденція до збільшення обсягів утворення твердих побутових відходів, що вивозяться і захоронюється на сміттєзвалищах і полігонах. В свою чергу це призводить до утворення величезних звалищ ТПВ поблизу території великих міст.

Основним законом ЄС у сфері управління відходами є «Рамкова директива ЄС про відходи», яка поширюється на всі види відходів та встановлює правила управління з відходами та їх ієрархію, їх кваліфіковане збирання, утилізацію та переробку [1].

Технології перетворення відходів в енергію (Waste-to-energy - WtE) визначаються як різноманітні технології очищення від відходів, що реалізують перетворення відходів у різні види енергії або матеріали: електроенергію, тепло, паливо чи інші корисні матеріали, а також продукують на виході ряд залишків, в тому числі й золу, шлак, котельну золу, стічні води та викиди (зокрема й парникові гази).

В останні роки у всіх країнах спостерігається інтерес до нових екологічно безпечних і безвідходних технологій термічного знешкодження побутових відходів з утворенням горючих газів. Універсального методу поводження з ТПВ, який би задовольняв сучасні екологічні та економічні вимоги, немає. Найбільш прийнятним є комбінований метод, який передбачає використання відходів як джерела енергії та вторинної сировини [1,2].

Метою статті є визначення показника калорійності відходів, по різних їх типах, а також, кількість теплової енергії яка утворюється при різноманітних відсоткових співвідношеннях типів відходів до деревних твердопаливних пелет.

Викладення основного матеріалу. При плануванні процесу спалювання суміші ТПВ враховується чимало параметрів: технологія, за якою буде утилізуватись сміття, морфологічний склад, необхідність попередньо підготовки (сортування, подрібнення), агрегатний стан відходів,

фракційний склад, вологість відходів тощо. Одним із найважливіших показників є калорійність або теплота згорання відходів [3].

Оцінку морфологічного складу ТПВ проведено на основі усереднених даних показників ТПВ за 2020 – 2021рр., які надані КП «Полігон ТПВ» і одержані згідно Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів, затверджених наказом Міністерства з питань житловокомунального господарства України від 16.02.2010 № 39 [4]. Встановлено орієнтовний відсоток ТПВ, придатних для відновлення енергії від загальної маси ТПВ, що надходять на полігони складає діапазон від 64-68%. Близько 32% ТПВ непридатні для одержання енергії - це несортований залишок (негорючий), скло, метал, які при подальших лабораторних дослідженнях та обчисленні енергетичного потенціалу ТПВ не враховуються.

Відбір проб відходів здійснено на полігоні ТПВ с. Рибне, в осінній період. Загальна кількість зразків становила 7 проб, по 1 кг., кожного виду ТПВ (рис. 2).



Рис. 1. Морфологічний склад ТПВ, що придатне для спалювання



Рис. 2. Відбір проб ТПВ на полігоні с. Рибне

Підготовлено 7 проб по 1 кг. згідно встановленого компонентного складу, що наведено в табл. 1, також була підготовлена інша група дослідних зразків (твердопаливні пелети). Групи проб відходів та твердопаливних пелет готувались до проведення аналізів з метою визначення фізичних і хімічних характеристик, а також для встановлення теплотворної здатності за допомогою калориметра. Для проведення передбачених досліджень проби покомпонентно подрібнювалися ножовим подрібнювачем до величини часток не більше 0,1 мм.

З обраних і відповідним чином підготовлених зразків ТПВ та деревних твердопаливних пелет було сформовано пробу палива за допомогою преса. Також, була сформована проба суміші відходів відповідно до відсоткового складу ТПВ, придатного для рекуперації енергії за даними, наведеними на рис. 1. Маса сформованої таблетки зразка відповідала $1 \text{ г} \pm 0,05$, і було зроблено три таблетки для кожного із видів відходів чи пелет, для зменшення похибки у вимірюваннях. Підготовка зразків включала в себе: (а) – готування суміші, (б) – підготовка тигля і калориметричної бамбочки, (в) – проведення вимірювань теплової енергії калориметром ІКА С1 (рис. 3).

За допомогою калориметра ІКА С1 було встановлено калорійність для кожного із зразків твердопаливних деревних пелет та їх усередненої суміші (табл. 2), та різних типів відходів, а

також суміші ТПВ відповідно до морфологічного складу придатного для спалювання, полігону с. Рибне.

Різні відходи мають різні характеристики, що стосуються рівня їх теплотворної здатності з табл. 3, рівень калорійності змінюється від 9,6 кДж/г. до 39,9 кДж/г. залежно від виду відходів.

Таблиця 1

Опис компонентів ТПВ у зразках

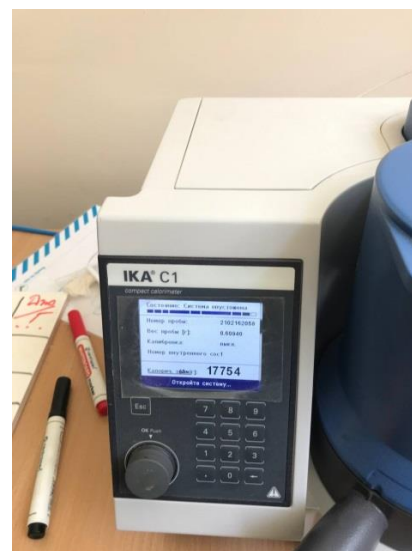
Компоненти ТПВ	Код	Опис проб ТПВ
Папір та картон	7730.3.1.01	Папір та картон різного розміру та різної щільності не придатний для сортування як сировина через забрудненість
Пластик	7730.3.1.02 7710.3.1.04	PET – 21,8%; LDPE – 1,85%; LDDE – 1,8%; PP – 3,49%; HDPE – 8,7%; PS – 1,3%; інші невстановлені види пластику – 61,1%
Дерево	7710.3.1.11 7710.3.1.06	Гілки дерев та тирса різного розміру
Текстиль	7710.3.1.15	Шматки різноманітних тканин
Гума та шкіра	7710.3.1.17 7710.3.1.14	Взуття, ущільнення тощо
Біо-відходи	7710.3.1.11	Суміш органічних решток (фрукти, овочі тощо)
Несортований горючий залишок	772 7720 7720.3.1.01	Шматки пінопласту та інший несортований горючий залишок



а)



б)



в)

Рис. 3. Підготовка зразків ТПВ і пелет для визначення калорійності

Таблиця 2

Рівень калорійності твердопаливних деревних пелет

Вид палива	Хвоя-30% Бук-30% Дуб 40%	Хвоя-50% Бук-30% Дуб 20%	Топіамбур	Бук	Хвоя (1)	Хвоя (2)	Дуб	Усереднена суміш пелет
Середня маса проби, г	1 г ± 0,05							
Калорійність, Дж/г	18597	17943	17586	17936	17754	17908	18315	17866
	18325	17665	17743	17673	17455	17478	18346	17791
	18274	18037	17854	17990	17721	17694	18278	18184
Середня калорійність, Дж/г	18399	17882	17728	17866	17668		18313	17947,1667

Рівень теоретично можливої теплотворної здатності сумішей ($K_{\text{суміш}}$) відходів та твердопаливних деревних пелет розраховувався за формулою:

$$K_{\text{суміш}} = \sum_{i=1}^n (K_i \times d_i), \quad (1)$$

де: K_i – калорійність одного із компонентів суміші; d_i – відсоткове значення компоненту суміші.

Таблиця 3

Рівень калорійності відходів полігону ТПВ с. Рибне

Вид палива	Папір, картон	Пластик	Текстиль	Гума	Біо-відходи	Несортований горючий залишок	Суміш відходів Рибненського полігону
Середня маса проби (г)	1 г. ± 0,05						
Калорійність (Дж/г)	12467	41234	16732	32169	14375	8964	18579
	14451	38975	18324	33210	13743	9753	18343
	13452	39702	17683	31740	12793	10148	18542
Середня калорійність (Дж/г)	13457	39970	17580	32373	13637	9622	18487,9067

Дану формулу можна масштабувати і застосовувати для більш складніших сумішей. Формула не враховує вологість компонентів, оскільки лабораторний аналіз калориметром ІКА С1, передбачає використання висушених зразків. Формульні розрахунки були проведені на базі програмного забезпечення Microsoft Excel. Враховувались співвідношення від 10% відходів, 90% твердопаливних деревних пелет до 90% відходів, 10% твердопаливних пелет. На рис. 4 наведений приклад рівня калорійності сумішей при співвідношенні 50% відходів, 50% твердопаливних деревних пелет.

Калорійність суміші при співвідношенні 50%-відходів, 50%-пелет								
Вид палива	50%	Хвоя-30% Бук-30% Дуб 40%	Дуб	Усереднена суміш пелет	Хвоя-50% Бук-30% Дуб 20%	Топінамбур	Хвоя (разом)	Бук
50%	Середня калорійність (Дж/г)	18399	18313	17947,1667	17882	17728	17693	17668
Пластик	39970	29184,667	29141,67	28958,75	28926,17	28849,16667	28831,67	28819,17
Гума	32373	25386	25343	25160,0833	25127,5	25050,5	25033	25020,5
Суміш відходів Рибненського полігону	18487,9067	18443,453	18400,45	18217,5367	18184,95	18107,95333	18090,45	18077,95
Текстиль	17580	17989,333	17946,33	17763,4167	17730,83	17653,83333	17636,33	17623,83
Біо-відходи	13637	16018	15975	15792,0833	15759,5	15682,5	15665	15652,5
Папір, картон	13457	15927,833	15884,83	15701,9167	15669,33	15592,33333	15574,83	15562,33
Несортований горючий залишок	9622	14010,333	13967,33	13784,4167	13751,83	13674,83333	13657,33	13644,83

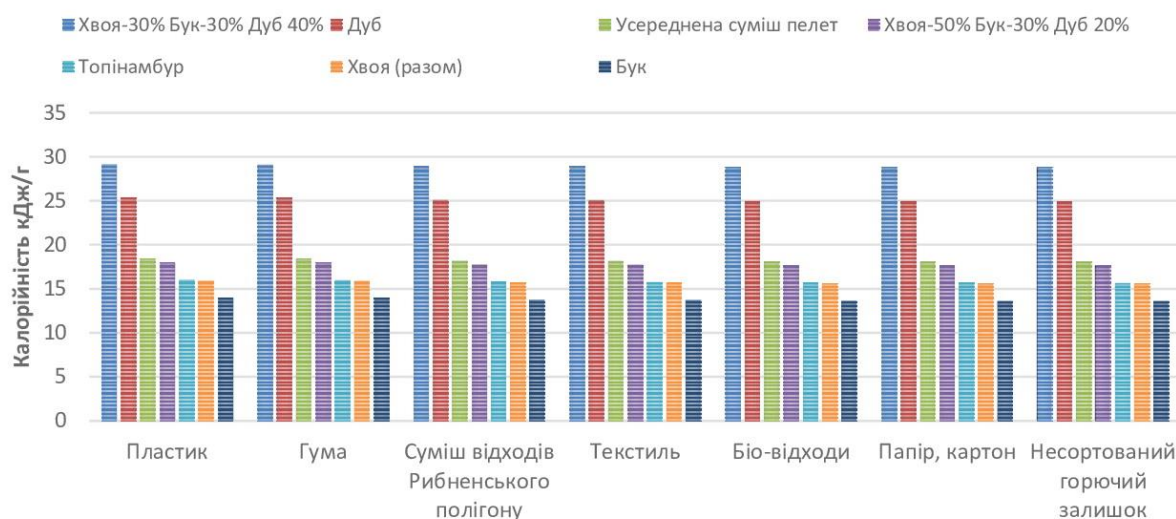


Рис. 4. Калорійність суміші при співвідношенні 50%-відходів, 50%-пелет

Дані щодо теплотворної здатності суміші ТПВ полігону с. Рибне до усередненої суміші пелет, при різних відсоткових значеннях наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Рівні калорійності суміші ТПВ полігону с. Рибне до усередненої суміші пелет

<i>Рівні калорійності суміші ТПВ полігону с. Рибне до усередненої суміші пелет</i>									
<i>Суміш відходів Рибненського полігону</i>	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
<i>Усереднена суміш пелет</i>	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
<i>Калорійність суміші (Дж/г)</i>	18001,24	18055,31	18109,39	18163,46	18217,54	18271,61	18325,68	18379,76	18433,83

Згідно із табл. 4 можна побачити тенденцію збільшення теплової енергії, що утворюється при спалюванні, при збільшенні кількості відходів у суміші.

Висновки. Досліджено рівні калорійності для різних груп відходів та твердопаливних деревних пелет. Пластикові відходи мають найбільшу ступінь калорійності, а найменшу калорійність біо-відходи та не сортований горючий залишок. Визначено рівні калорійності для різних відсоткових співвідношеннях ТПВ до твердопаливних пелет.

Розроблено алгоритм, за яким можна визначити сумарну кількість теплової енергії, що утворюється в процесі термічної утилізації сумішей різноманітних відходів.

Література

- 1 Директива 2008/98/ЄС про відходи. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text
- 2 Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди. Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/%202010_75_%D0%84%D0%A1.pdf
- 3 Kanfoud S., Kouloughli S. Municipal Solid Waste Management in Constantine, Algeria. Journal of Geoscience and Environment Protection. 2017. № 5. P. 25–31.
- 4 Про звіт комунального підприємства «Полігон ТПВ» за 2019 рік та затвердження плану розвитку на 2020 рік [Електронний ресурс] // Івано-Франківська міська рада. – 2020. – Режим доступу: <http://www.namvk.if.ua/prdt/462069/>.

V. Chupa, Ya. Adamenko, K. Chupa
Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas

RESEARCH OF THE THERMAL POTENTIAL OF VARIOUS MIXTURES OF HOUSEHOLD SOLID WASTE TO WOOD PELLETS

The article deals with the current issue of solid household waste management and focuses on the fact that the most effective method of reducing the amount of waste is heat treatment. Attention is paid to such an important parameter when burning solid household waste as caloric content.

A study of the calorific value of various types of waste, wood solid fuel pellets made from different types of wood was conducted. Waste samples were obtained during an on-site expedition to the municipal solid waste landfill (MSW) in the village of Rybne An analysis of the calorific value of the waste mixture, which corresponds to the morphological composition of the landfill (MSW) in the village of Rybne what suitable for burning. Also, an analysis of the calorific value of the mixture of wood solid fuel pellets, which was made from different types of wood, was carried out. The level of thermal energy for different types of waste (plastic, bio-waste, rubber, paper, textiles, wood, etc.) and different types of solid wood pellets (oak, beech, pine, etc.) was studied. The calorific index of different mixtures of waste and pellets at different percentage values of the components in the mixture was calculated. Microsoft Excel software was used to simplify the calculation. Real caloric values obtained during a laboratory study using an IKA C1 calorimeter were used in the determination.

Through transformations, ratios and calculations, dependencies were established for each of the types of waste and solid fuel wood pellets. Using the values of calorific value, which were obtained during combustion, the minimum and maximum levels of caloric content at different percentage values of the components were found. A calculation algorithm has been created, which can be used to determine the amount of thermal energy at various percentage ratios of waste types to wood solid fuel pellets.

Key words: solid household waste, thermal disposal, incineration, caloric content.

Reference

1. Dyrektyva 2008/98/Yes pro vidkhody. Rezhy m dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text
2. Dyrektyva 2010/75/Yes pro promyslovi vykydy. Rezhy m dostupu: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/%202010_75_%D0%84%D0%A1.pdf
3. 3Kanfoud S., Kouloughli S. Municipal Solid Waste Management in Constantine, Algeria. Journal of Geoscience and Environment Protection. 2017. № 5. P. 25–31.
4. Pro zvit komunalnoho pidpriemstva «Polihon TPV» za 2019 rik ta zatverdzhennia planu rozvytku na 2020 rik [Elektronnyi resurs] // Ivano- Frankivska miska rada. – 2020. – Rezhy m dostupu: <http://www.namvk.if.ua/prdt/462069/>.

Надійшла до редакції 05 грудня 2022 р.