

УДК 662.73

ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ КОМПОЗИТНОГО ПАЛИВА

Снежкін Ю.Ф.¹, академік НАН України, Петрова Ж.О.², докт. техн. наук,
Михайлик В.А.³, канд. техн. наук., Петров А.І.⁴, аспірант, Новікова Ю.П.⁵, аспірантка

¹Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, професор
Isnezhkin@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7871-8774>

²Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, старший науковий співробітник, bergelzhanna@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-7385-8495>

³Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, старший науковий співробітник, mhlk45@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2712-1382>

⁴Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, monoton10@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-4851-3115>

⁵Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, yuliiyanovikova3@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7385-8495>

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2023.1>

В статті наведено результати досліджень термічного аналізу композитного палива на основі твердого залишку торфу після екстрагування та стебл кукурудзи. Визначено температурні інтервали та швидкість зневоднення, термічного розкладання органічних і мінеральних речовин, вологість та вміст золи. Оцінено умовний тепловий ефект термічного розкладання органічних речовин композитного палива та його компонентів.

This article presents the results of thermal analysis of composite fuel based on the solid residue of peat after extraction and corn stalks. Temperature intervals and speed of dehydration, thermal decomposition of organic and mineral substances, humidity and ash content were determined. The conditional thermal effect of thermal decomposition of organic substances of composite fuel and its components is estimated.

Бібл. 9, табл. 3, рис. 7.

Ключові слова: фрезерний торф, стебла кукурудзи, твердий залишок торфу після екстрагування.

ТЗФТ – твердий залишок фрезерного торфу;

СК – стебела кукурудзи;

Т – крива зміни температури зразка;

ТГ – крива маси зразка;

ДТГ – крива диференціальної термогравіметрії;

ДТА – крива диференціального термічного аналізу;

УТЕ – умовний тепловий ефект.

Вступ. Однієї з основних проблем сучасного світу – це пошук і надходження відновлювальних енергетичних ресурсів, які могли би скласти вагомую конкуренцію нафті і природному газу. В останні роки, людство вступає в еру біотехнології, що використовує відновлювану сировину для виробництва енергії та матеріалів. Ці нові технології дозволяють запобіганню забруднення навколишнього середовища, знижують об'єми викидів газів, які викликають парниковий ефект. Використання відновлювальних джерел енергії із відходів сільськогосподарської сировини відмічається в США, Японії, Бразилії, Китаї, Канаді, країнах ЄС.

Альтернативна енергетика розглядає біопаливо як варіант заміни традиційного – вугілля, нафти, природного газу і т.д. Біопаливо відноситься до поновлюваних видів енергії, його основна перевага – екологічність, а

сучасні методи виробництва дозволяють отримувати такі зразки палива, які за своїми характеристиками і вартістю перевершують традиційні [1].

Біопаливо розрізняють від агрегатного стану та вихідного матеріалу (рис. 1.). Залежно від агрегатного стану розрізняють три види біопалива: рідке, тверде та газоподібне. Залежно від вихідного матеріалу, що використовується для виробництва, біологічне паливо поділяють на кілька поколінь: першого покоління, другого покоління та третього покоління.

Біопаливо першого покоління виробляють здебільшого з джерел сировини, які відносяться до продуктової групи, що викликає хвилю критики, так як виробництво біопалива скорочує кількість продуктів і викликає зростання їх вартості. Інший недолік – такий вид біопалива достатньо дорогий, для його виробництва потрібна додаткова підтримка (субсидування) держави.

Біопаливо другого покоління виробляють з біомаси. Сучасні технології дозволяють отримати корисну сировину з волокнистої або деревної біомаси, в яких міститься лігнін або цукор, з яких надалі отримують біопаливо.

Для виробництва біопалива третього покоління використовують водорості. Водорості – високопродуктивне і одночасно – дешева сировина. Проблемним є питання відведення площ, на яких буде проводитися вирощування водоростей у промислових масштабах.

В Україні великі поклади торфу, який відноситься до твердого біопалива, але який використовують і як добриво.

Торф – органічна порода, що утворилася внаслідок неповного біохімічного розкладу відмерлих болотних рослин в умовах надлишкового зволоження при нестачі кисню, яка містить до 50 % мінеральних компонентів на суху речовину і які відносяться до біопалива другого покоління. Торф – геологічно наймолодша ланка в ланцюгу каустобіолітів „торф – буре вугілля – кам’яне вугілля – антрацит”, має найнижчий рівень карбонізації і, відповідно, найменше значення теплоти згоряння. Поверхнєве розташування торфових родовищ та порівняно невеликі витрати на організацію і ведення видобувних робіт роблять цю корисну копалину потенційно ефективним місцевим видом палива [2]. Теплота згоряння фрезерного торфу 9,0...9,7 МДж/кг і зольністю біля 20%.

В Україні запаси торфу мають промислове значення. Геологічні запаси складають 2,04 млрд. т, що еквівалентно 660 млрд. м³ природного газу [3].

Сьогодні торф, який містить велику кількість гумусових речовин більше використовують, як добрива для сільського господарства ніж як паливо. Ці речовини не водорозчинні і стають такими лише в лужному середовищі. Якщо з нього вилучати гумінові речовини, а залишок після екстракції спалювати, то цей унікальний природний ресурс можливо використовувати більш раціонально. Основний спосіб отримання гумінових речовин - це лужна реакція розчинами аміаку або гідрооксидами калію, натрію. Така обробка перетворює їх в водорозчинні солі - гумати калію або натрію з високою біологічною активністю [4]. І це більш ефективно ніж просто використовувати торф як добриво.

Гумінові кислоти є найважливішою складовою ґрунтового гумусу. Чим більше їх вміст, тим родючий ґрунт. Однак в природному стані гумінові кислоти нерозчинні в воді і малодоступні рослинам. Доступними вони стають тільки після непрямої дії – мінералізації ґрунту, коли вони переродилися в прості мінеральні сполуки або на лужних ґрунтах. Використання гумусових речовин в аграрному секторі забезпечує зростання врожайності на 25 – 40%, втричі прискорює відновлення гумусового шару ґрунтів.

Внаслідок зростання попиту на гумінові препарати необхідна організація їх промислового виробництва у

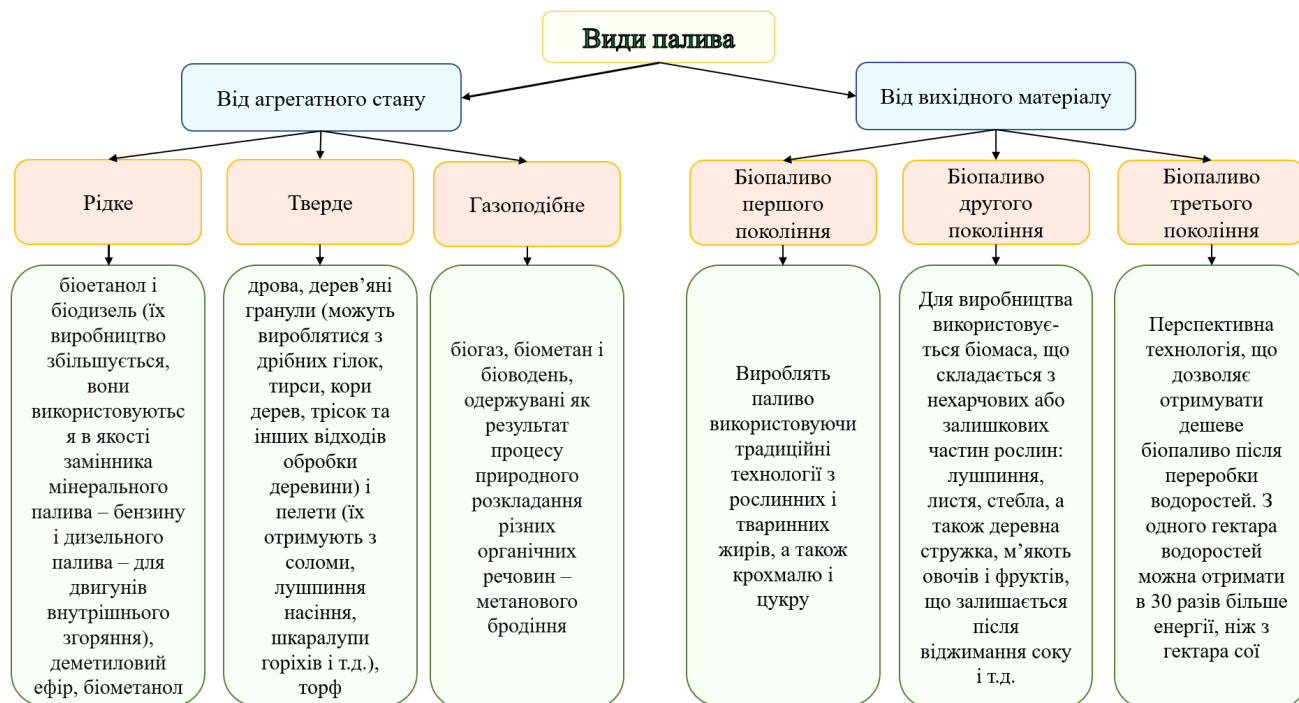


Рис. 1. Види палива

великих масштабах. Це дозволить швидше впровадити гумінові кислоти та інші препарати на їх основі в промисловість і сільське господарство [5].

Таким чином торф крім альтернативного виду палива є ще і ефективною сировиною для добрива. В ІТТФ НАН України розроблена теплотехнологія, яка дозволяє використовувати торф як паливо і добрива. Спочатку з торфу екстрагують гумінові речовини, а до залишеного після екстракції торфу додають біомасу і отримують композитне паливо з теплотворною здатністю понад 12,0 МДж/кг і зольністю біля 10%.

Метод і методика досліджень. Для досліджень використано відповідні матеріали, такі як фрезерний торф та поживні рештки кукурудзи з с. Сосонка Вінницька обл., для проведення експериментів (рис. 2). Фрезерний торф має теплоту згорання 9,65 МДж/кг, початкову вологість 13,18 % та зольність 27,23%. Поживні рештки кукурудзи мають теплоту згорання 14,0 МДж/кг, вологість 8,45% та зольність 3,5 %.

Згідно розробленої теплотехнології екстракція з торфу гумінових добрив полягає у підготовці зразка торфу. Наважку екстрагували відповідною концентрацією лугу гумінові кислоти, з подальшою нейтралізацією кислотою розчину. Після нейтралізації гумінові кислоти випадали в осад, розчин фільтрували, сушили і визначали загальну кількість гумінових речовин.

Після проведення екстрагування з фрезерного торфу було отримано твердий залишок (рис. 3, а) з вологістю 81,5%, зольністю 40% та рідкі гумінові добрива (рис. 3, б) в кількості 20%.

Поживні рештки кукурудзи подрібнювали до розміру 0,5 мм (рис. 3, в). Після цього проводиться змішування поживних решток кукурудзи та твердого залишку після екстрагування з торфу гумінових добрив в співвідношенні 1:1.

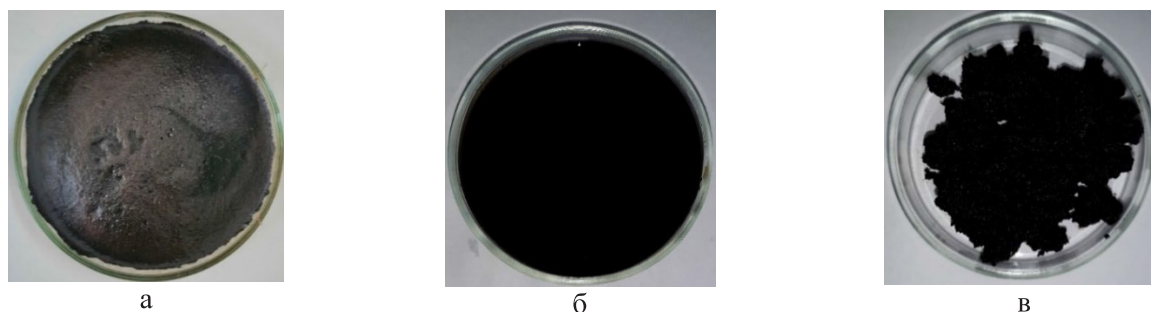
Створений композит залишали на деякий час для усереднення вологості суміші та фасували. Тепло- та згорання отриманого композитного біопалива біля 10,0 МДж/кг.

Термічний аналіз проводили в дериватографі Q-1000 системи Paulik-Paulik-Erdey (фірма «МОН», Угорщина) в діапазоні 21...1003 °С при швидкості нагрівання 7,4 К/хв. Зразки розміщували в відкритий конічний платиновий тигель без стискання. Атмосферою слугувало нерухоме повітря. Як інертну речовину в тиглі порівняння використовували оксид алюмінію. Збір та обробку інформації здійснювали за допомогою прикладної комп'ютерної програми «Q-1500 mini».

Дериватографічний метод дозволяє отримати інформацію про зміни в матеріалах в умовах програмованого нагріву. Аналіз процесів термічного розкладання палив при нагріванні, здійснюється за кривими зміни



Рис. 2. Вихідна сировина: а) фрезерний торф; б) поживні рештки кукурудзи



**Рис. 3. Екстрагування гумінового залишку з торфу :
а) суміш торфу та розчину солей КОН після екстракції; б) рідкі гумінові добрива;
в) твердий залишок після екстракції**

температури зразка (Т), його маси (ТГ), диференціальної термогравіметрії (ДТГ) та диференціального термічного аналізу (ДТА). Крива ДТА представляє різницю температур між зразком та інертним матеріалом, вона дає можливість ідентифікувати теплові процеси.

Результати досліджень. Процес термічного розкладання ТЗФТ, що представлений дериватограмою (рис. 4), має виражений стадійний характер.

Перша стадія – видалення води, що відбувається в інтервалі 23 – 184 °С. Маса гранули при цьому змінюється несуттєво, що свідчить про невисоку вологість зразка – 13,93 % (табл. 1). Максимальна швидкість зневоднення спостерігається при 82 °С. Зневоднення супроводжується ендотермічним ефектом, що представлений піком на кривій ДТА.

Друга стадія – термічне розкладання органічних речовин. Воно супроводжується активним газоутворенням та тепловою генерацією. Як було відмічено у попередніх дослідженнях [6], обробка торфу розчином NaOH призводить не тільки до утворення розчинних у воді гумусових речовин (солей гумінових кислот), а й до якісних змін в органічних речовинах, що залишаються в твердому залишку. Тому термічне розкладання органічних речовин ТЗФТ на відміну від органіки вихідного торфу відбувається в більш широкому температурному інтервалі і проходить в три етапи.

Перший етап знаходиться в інтервалі 184...324 °С, другий – 324...580 і третій – 580...786 °С. Середня швидкість розкладання на цих етапах, відповідно складає 0,97, 0,51 та 1,18 % СМ/хв. (табл. 2).

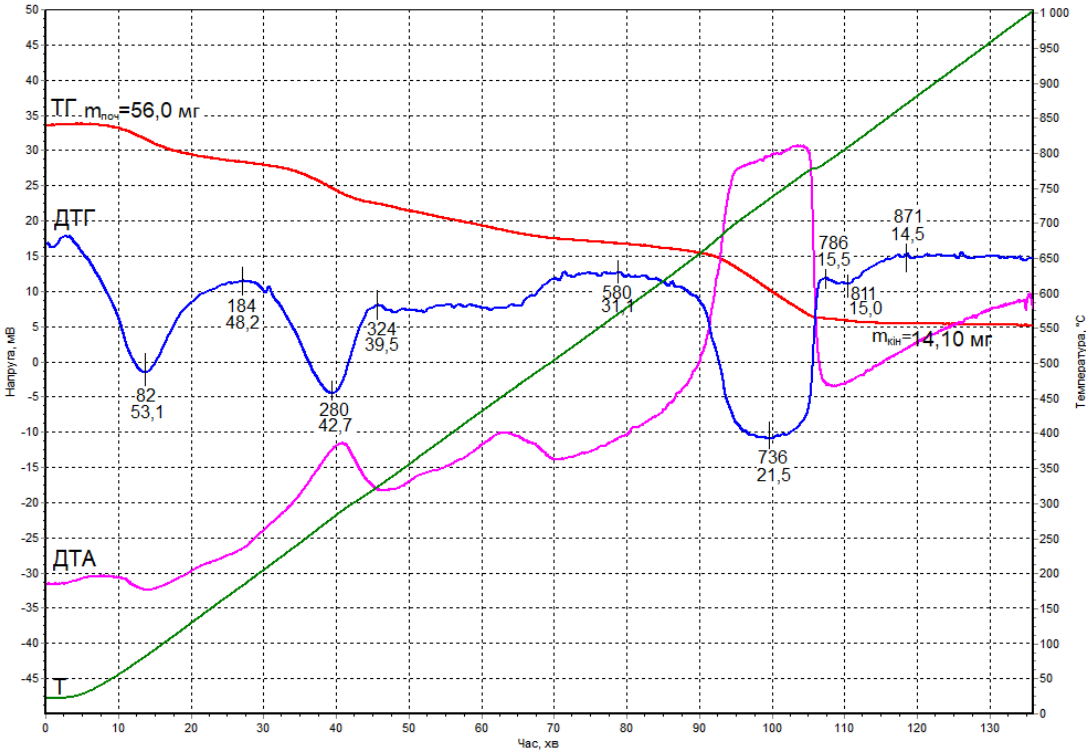


Рис. 4. Дериватограма твердого залишку фрезерного торфу

Таблиця 1. Результати аналізу термічного розкладання

№ з/п	Матеріал	Видалення води		Термічне розкладання речовин				Зола
				органічних		мінеральних		
		інтервал, °С	вологість, %	інтервал, °С	вміст, % СМ	інтервал, °С	вміст, % СМ	% СМ
1	ТЗФТ	23–184	13,93	184–786	67,84	786–1002	2,91	29,25
2	СК	21–122	8,23	122–505	95,76	505–1002	0,98	3,26
3	Композитне паливо (50 % ТЗФТ +50 % СК)	21–145	12,55	145–752	82,75	752–1003	0,44	16,81

Після завершення розкладання органічних речовин в інтервалі 786...871 °С спостерігається термічна дисоціація карбонатів кальцію та магнію з виділенням CO_2 і утворенням оксидів Ca та Mg, яка супроводжується поглинанням теплоти.

Вміст золи в дослідженому зразку (29,25%) виявився досить високим. Результати визначення вологості, вмісту органічних і мінеральних речовин та зольності представлено в таблиці 1.

Зразок СК (рис. 5, табл. 1, 2) має кінетику термічного розкладання, яка характерна для рослинної сировини [7]. Повне зневоднення відбувається в інтервалі температур 21 – 122°C. Максимальна швидкість видалення води реєструється при 67°C. Термічне роз-

кладання органічних речовин відбувається в інтервалі 122 – 505°C і має виражені 2 етапи. На першому (122 – 355 °С) матеріал стрімко деградує, спостерігається висока швидкість розкладання (2,37 % СМ/хв.) з максимальним значенням при 302 °С та потужне зростання тепловиділення.

На другому етапі (355 – 505°C) швидкість розкладання органічних речовин зменшується до 1,21 СМ/хв. Подальше зростання температури (до 1002 °С) викликає незначну зміну маси.

Після завершення розкладання органічних речовин в інтервалі 786...871 °С спостерігається термічна дисоціація карбонатів кальцію та магнію з виділенням CO_2 і утворенням оксидів Ca та Mg, яка супроводжується поглинанням теплоти.

Таблиця 2. Кінетика розкладання органічних речовин

№ з/п	Матеріал	1 етап		2 етап		3 етап		Загальна середня швидкість розкладання, % СМ/хв.
		інтервал, °С	швидкість розкладання, % СМ/хв.	інтервал, °С	швидкість розкладання, % СМ/хв.	інтервал, °С	швидкість розкладання, % СМ/хв.	
1	ТЗФТ	184–324	0,97	324–580	0,51	580–786	1,18	0,85
2	СК	122–355	2,37	355–505	1,21	–	–	1,87
3	Композитне паливо (50 % ТЗФТ +50 % СК)	145–365	1,77	365–498	1,10	498–752	0,34	1,02

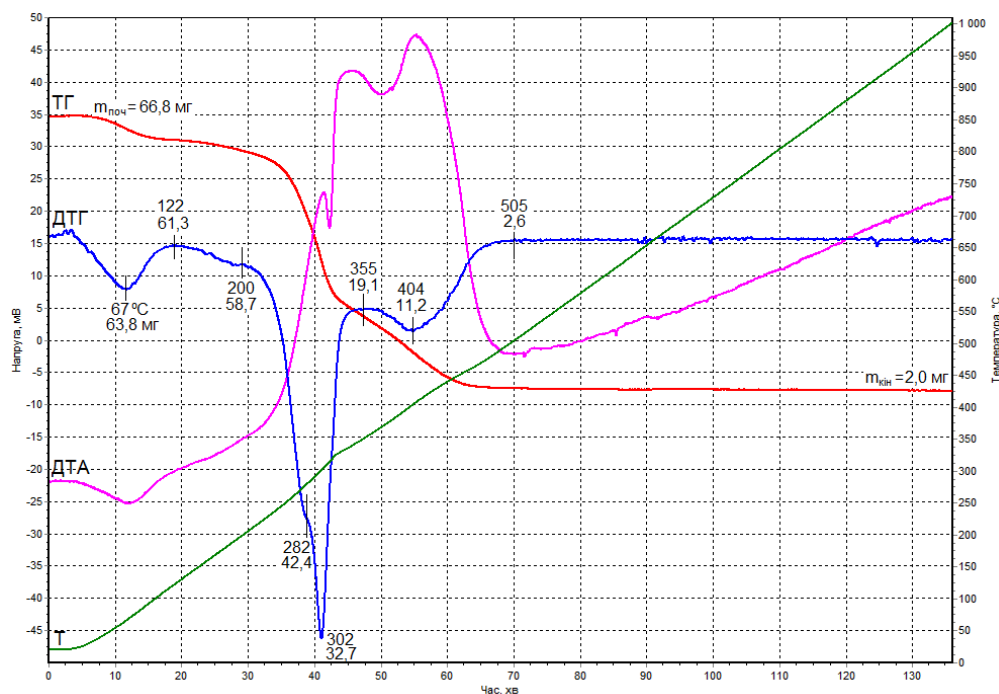


Рис. 5. Дериватограма стебел кукурудзи

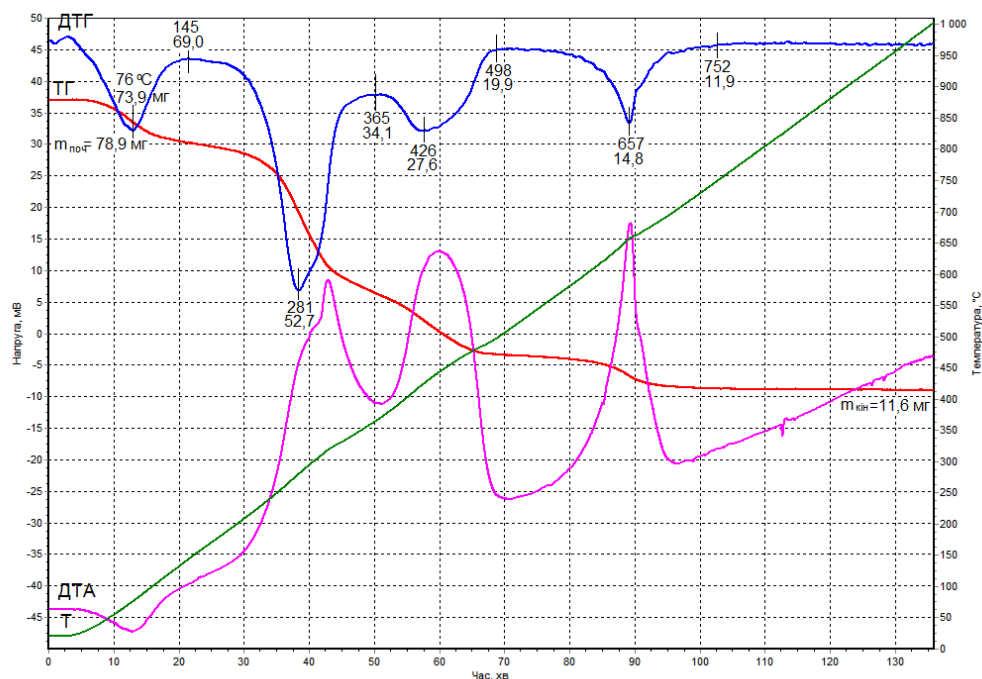


Рис. 6. Дериватограма композитного палива

Вміст золи в дослідженому зразку (29,25%) виявився досить високим. Результати визначення вологості, вмісту органічних і мінеральних речовин та зольності представлено в таблиці 1.

Зразок СК (рис. 5, табл. 1, 2) має кінетику термічного розкладання, яка характерна для рослинної сировини [7]. Повне зневоднення відбувається в інтервалі температур 21 – 122 °С. Максимальна швидкість видалення води реєструється при 67 °С. Термічне розкладання органічних речовин відбувається в інтервалі 122 – 505 °С і має виражені 2 етапи. На першому (122 – 355 °С) матеріал стрімко деградує, спостерігається висока швидкість розкладання (2,37 % СМ/хв.) з максимальним значенням при 302 °С та потужне зростання тепловиділення. На другому етапі (355 – 505 °С) швидкість розкладання органічних речовин зменшується до 1,21 СМ/хв. Подальше зростання температури (до 1002 °С) викликає незначну зміну маси.

Порівняно зі зразком ТЗФТ зразок СК має більшу у 2,2 рази інтенсивність термічного розкладання органічних речовин та у 9 разів меншу зольність.

Дериватограма композитного палива представлена на рисунку 6, а результати термічного аналізу в таблицях 1 та 2.

Видалення води закінчується при 145 °С, що на 39 °С нижче ніж у ТЗФТ та на 23 °С вище ніж у СК. Максимальна швидкість зневоднення реєструється при 76 °С.

Змішування ТЗФТ та СК призводить до зменшення інтервалу розкладання органічних речовин на 5 °С порівняно з ТЗФТ (табл. 1). Розкладання органічних речовин композитного палива проходить, як і у ТЗФТ, в 3 періоди. Проте сама кінетика розкладання має дещо іншу інтенсивність. В паливі інтенсивність розкладання, в порівнянні з ТЗФК, у 1,8 та 2,1 разів вище у першому і другому періодах відповідно і у 3,5 разів нижча у третьому (табл. 2).

Для кращого наочного сприйняття процесів, що відбуваються при термічному розкладанні композитного палива та його компонентів виконано суміщення кривих ДТА (рис. 7).

За методикою, що викладена в [8] було визначено умовний тепловий ефект (УТЕ) термічного розкладання органічних речовин композитного палива та його компонентів.

З даних таблиці 3 видно, що УТЕ термічного розкладання стебел кукурудзи на 5,7% вищий за УТЕ термічного розкладання твердого залишку фрезерного торфу. УТЕ термічного розкладання органічних речовин композитного палива виявився на 15,0% вищий за УТЕ термічного розкладання стебел кукурудзи.

Важливою характеристикою ефективності композитного палива є вартість одиниці енергії при його спалюванні. Якщо враховувати, що поживні рештки кукурудзи коштують до 1500 грн/т при теплотворній здатності 14,0 МДж/кг, а фрезерний торф коштує до

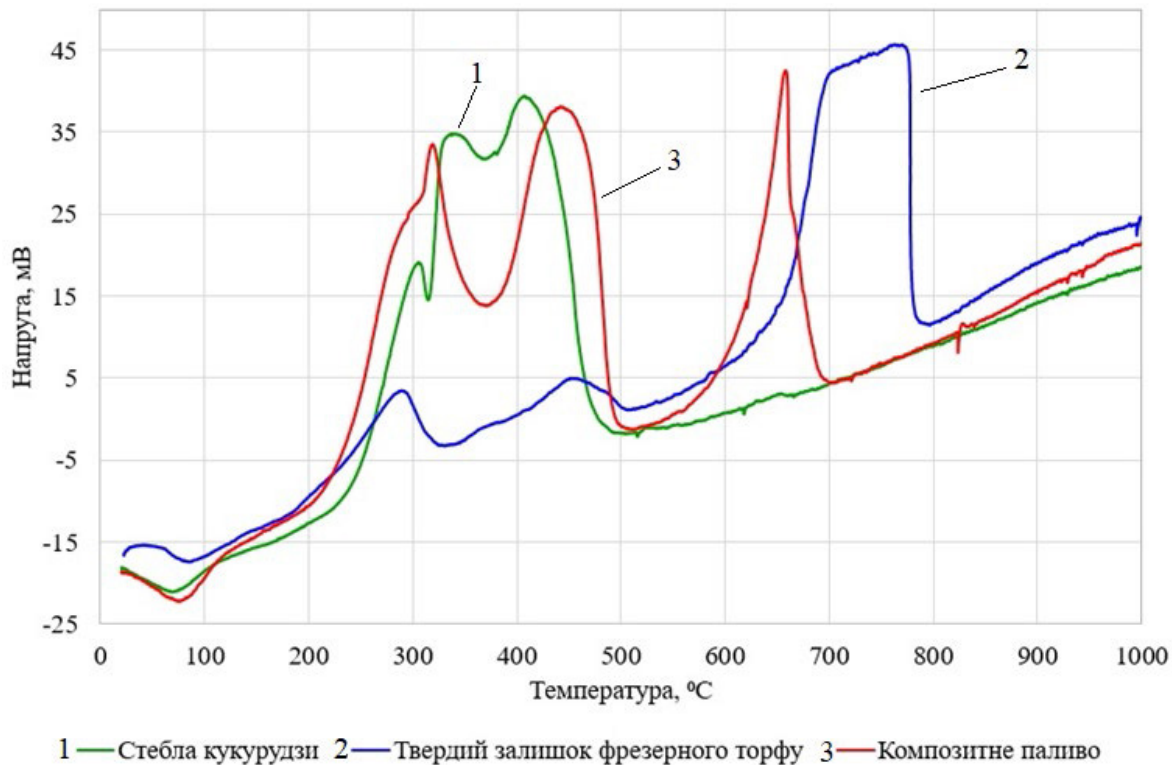


Рис. 7. Суміщені криві ДТА

Таблиця 3. Умовний питомий тепловий ефект термічного розкладання органічних речовин в зразках

№ з/п	Матеріал	Умовний питомий тепловий ефект термічного розкладання, мВ•с•мг ⁻¹ СМ
1	ТЗФТ	918,17
2	СК	970,23
3	Композитне паливо (50 % ТЗФТ +50 % СК)	1116,14

1300 грн/т при теплотворній здатності біля 9,6 МДж/кг, але після екстракції з нього гумінових речовин його теплотворна здатність зменшується менш ніж до 6,0 МДж/кг. Тоді підрахунки показують, що вартість одиниці енергії отриманого композитного палива враховуючи співвідношення компонентів 1:1 становить приблизно 140 грн/ГДж. Порівняння вартості одиниці енергії в різних енергоносіях в Україні наведене в роботі [9] показує, що вартість одиниці енергії композитного палива менша ніж у природного газу в 2 – 8 рази (в залежності від його вартості для населення чи промисловості), електричної енергії в 3 – 7 раз, вугілля в 1,5 рази, мазуту 2,1 рази, гранул з деревини 2,5 раз, гранул з лушпиння в 2,0 рази, деревної тріски в 1,2 рази і тільки дорожче за тюки соломи чи стебла кукурудзи в 1,4 рази. Але якщо вартість торфу віднести в розрахунок собі вартості отримання гумінових добрив тоді одиниця енергії цього композитного палива становить

75 грн/ГДж і вона буде в 1,4 рази менша ніж у тюків з соломи чи стебл кукурудзи. Ця суттєва різниця в ціні зумовлює ефективність розробленого композитного палива на основі торфу після екстракції з нього гумінових речовин та поживних решток кукурудзи.

Висновки. Методами термогравіметрії та диференційного термічного аналізу досліджено композитне паливо та його компоненти: подрібнені твердий залишок фрезерного торфу після екстрагування з нього гумусових речовин та стебла кукурудзи.

Визначено температурні інтервали та швидкість зневоднення, термічного розкладання органічних і мінеральних речовин, вологості та вміст золи.

Завершення термічного розкладання органічних речовин композитного палива відбувається на 34 °С нижче за відповідну температуру ТЗФТ, та на 247 °С вище – СК.

Загальна середня швидкість розкладання органічних речовин композиційного палива на 20% вища за швидкість розкладання ТЗФТ та на 45% нижча за швидкість розкладання СК.

Додавання до твердого залишку фрезерного торфу стебел кукурудзи в кількості 50% від загальної маси дозволяє отримати композитне паливо з зольністю, що у 1,7 рази нижча за зольність ТЗФТ.

Оцінено умовний тепловий ефект термічного розкладання органічних речовин композитного палива та його компонентів. Виявлено, що УТЕ термічного розкладання органічних речовин композитного палива вищий за УТЕ компонентів палива. Пояснити цей феномен поки що не вдалося.

Створене композитне паливо, як показали проведені дослідження вартості одиниці енергії є ефективним альтернативним видом палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Біопаливо: види і джерела отримання*. Режим доступу: <https://eenergy.com.ua/baza-znan/biopalyvo-vydydzherela/>
2. Снєжкін Ю. Ф., Корінчук Д.М. Торф – ефективний альтернативний вид палива // Теплофізика та теплоенергетика. – 2022. – Т.44. – № 3. – С.5-15. <https://doi.org/10.31472/tpe.3.2022.1>
3. *Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України*. НАН України. Інститут відновлюваної енергетики. – Київ, 2012 р. – 69 с.
4. Petrova Zh., Vyshnevskiy V., Novikova Yu. Nonwaste Technology of Receipt of Humic Fertilizers from Peat // Materials of the 2nd International Scientific Conference «Chemical Technology and Engineering» (Proceedings), Ukraine, Lviv, June 24-28th, 2019. - Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2019. – P. 278-279. <https://doi.org/10.23939/cte2019.01.278>
5. Sniezkin Yu., Petrova Zh., Novikova Yu., Petrov A. Technology of complex processing of peat // Енергетика та автоматика. – №5. – 2020. – С. 32-41. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.05.032>
6. Михайлик В.А., Снєжкін Ю.Ф., Корінчівська Т.В., Корінчук Д.М. Вивчення термічних властивостей твердого залишку торфу після екстрагування гумусових речовин // Промислова теплотехніка. – 2015. – Т. 37, – № 3. – С. 54-64.
7. Корінчівська Т.В., Михайлик В.А. Термічна деструкція гранульованого палива з міскантуса // Scientific Works. – 2020. – Т.84, Вип.1. – С. 10-15. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v84i1.1862>
8. Михайлик В.А., Снєжкін Ю.Ф., Корінчук Д.М. Термічне розкладання гранул палива на основі торфу та деревини // Промислова теплотехніка. – 2014. – Т. 36, №2. – С. 11-19.
9. Гелетуша Г.Г. Желєзна Т.А., Драгнєв С.В. Можливості скорочення і заміщення споживання природного газу в централізованому теплопостачанні України // Теплофізика та Теплоенергетика. – 2022. – 45(2). – С. 64-69.

THERMAL ANALYSIS OF COMPOSITE FUEL AND ITS COMPONENTS

**Sniezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Mykhailik V.A.,
Petrov A.I., Novikova Yu.P.**

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine,
2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2023.1>

One of the main problems of the modern world is the search for and supply of renewable energy resources that could compete with oil and natural gas. In recent years, humanity has entered the era of biotechnology, which uses renewable raw materials for the production of energy and materials.

The energy industry considers biofuel and peat as alternative types of fuel. Biofuel is a renewable type of energy, its main advantage is environmental friendliness, and modern production methods make it possible to obtain fuel samples that often exceed traditional samples in terms of their characteristics and cost.

In Ukraine, there are large deposits of peat, which belongs to solid biofuel, and which is also used as fertilizer. Today, peat, which contains a large number of humic substances, is used more as fertilizer for agriculture than as fuel. These substances are not water-soluble and become so only in an alkaline environment. If humic substances are extracted from it, and the residue after extraction is burned, then this unique natural resource can be used more rationally.

The paper presents a study of thermal analysis of composite fuel based on the solid residue of peat after extraction of humic substances and corn stalks from it.

Composite fuel and its components were investigated using the methods of thermogravimetry and differential thermal analysis: crushed solid residue of milled peat after extraction of humic substances and corn stalks in an alkaline medium, and temperature intervals and rates of dehydration, thermal decomposition of organic and mineral substances, humidity and ash content were determined.

The conditional thermal effect of thermal decomposition of organic substances of composite fuel and its components is estimated. It was found that the conditional thermal effect of the thermal decomposition of organic substances of the composite fuel is higher than the conditional thermal effect of the fuel components.

It is shown that the created composite fuel is an effective alternative type of fuel, the cost per unit of energy of which is lower than that of traditional fuels.

Bibliograph. 9, tables 3, figures 7.

Key words: milled peat, corn stalks, solid residue of peat after extraction.

1. *Biopalyvo: vydy i dzherela otrymannia*. [Biofuel: types and sources of production]. Access mode: <https://energy.com.ua/baza-znan/biopalyvo-vydy-dzherela/> (Ukr.)

2. *Sniezhkin, Y., Korinchuk, D. M. Torf – efektyvnyi alternatyvnyi vyd palyva* [Peat is an effective alternative fuel]. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 46(3), 5-15. <https://doi.org/10.31472/tpe.3.2022.1> (Ukr.)

3. *Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovliuvanykh ta netradytsiinykh dzherel enerhii Ukrainy* [Atlas of the energy potential of renewable and non-traditional energy sources of Ukraine]. The Institute of Renewable energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, 2012. 69p. (Ukr.)

4. *Petrova Zh., Vyshnevskiy V., Novikova Yu. Nonwaste Technology of Receipt of Humic Fertilizers from Peat*. Materials of the 2nd International Scientific Conference «Chemical Technology and Engineering» (Proceedings), Ukraine, Lviv, June 24-28th, 2019. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2019. P. 278-279. <https://doi.org/10.23939/cte2019.01.278>

5. *Sniezhkin Yu., Petrova Zh., Novikova Yu., Petrov A. Technology of complex processing of peat*. *Energy and Automation*, 2020. №5. P. 32-41. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.05.032>

6. *Mykhailik V.A., Sniezhkin Yu.F., Korinchevska T.V., Korinchuk D.M. Vyvchennia termichnykh vlastyvopei tverdoho zalyshku torfu pislia ekstrakuvannia humusovykh rehovyn* [Study of the thermal properties of the solid residue of peat after extraction of humic substances.]. *Promyslova teplotekhnika*, 2015. V. 37, № 3. P. 54-64. (Ukr.)

7. *Korinchevska T.V., Mykhailik V.A. Termichna destruktsiia hranulovanoho palyva z miskantusa* [Thermal destruction of miscanthus granulated fuel]. *Scientific Works*, 2020. V.84, Issue1. P. 10-15. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v84i1.1862> (Ukr.)

8. *Mykhailik V.A., Sniezhkin Yu.F., Korinchuk D.M. Termichne rozkladannia hranul palyva na osnovi torfu ta derevyny* [Thermal decomposition of fuel pellets based on peat and wood.]. *Promyslova teplotekhnika*, 2014. V. 36, №2. P. 11-19. (Ukr.)

9. *Heletukha H.H. Zheliezna T.A., Drahnev S.V. Mozhlyvosti skorochennia i zamishchennia spozhyvannia pryrodnoho hazu v tsentralizovanomu teplopостachanni Ukrainy* [Possibilities of reducing and replacing natural gas consumption in the centralized heat supply of Ukraine]. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 2022. V. 45(2). P. 64-69. (Ukr.)

Отримано 05.01.2023

Received 05.01.2023