

УДК 662.7

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕРМООБРОБКИ БІОМАСИ ТА ТОРФУ У ВИРОБНИЦТВІ КОМПОЗИЦІЙНОГО БІОПАЛИВА

Снєжкін Ю.Ф., докт. техн. наук, чл.-кор. НАНУ, Корінчук Д.М., канд. техн. наук, Безгін М.М.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна*

Термообробка торфу та біомаси дозволяє підвищити енергетичні характеристики біопалива та потребує визначення режимних параметрів обробки для кожного виду сировини. В статті розглянуто вплив температури обробки торфу та біомаси на кінцеві характеристики біопалива, запропоновано ефективне впровадження термообробки на виробництві.

Термообработка торфа и биомассы позволяет повысить энергетические характеристики биотоплива и требует определения режимных параметров обработки для каждого вида сырья. В статье рассмотрено влияние температуры обработки торфа и биомассы на конечные характеристики биотоплива, предложено эффективное внедрение термообработки на производстве.

Heat treatment of peat and biomass allows to increase the energy performance of biofuels and for each type of treatment raw materials operational parameters necessary to determine. In the article the authors consider the influence of temperature treatment of peat and biomass for biofuels final characteristics and offer the effective implementation of heat treatment at manufacturing.

Бібл. 3, рис. 5.

**Ключові слова:** тверде біопаливо, термічна обробка, зневоднення, розкладання, теплота згорання.

В кінці ХХ століття перед людством гостро постало питання пошуку нових альтернативних джерел енергії. Причиною тому стали паливно-енергетична криза та зростаюче забруднення навколишнього середовища. В альтернативній енергетиці України найбільшого розвитку та розповсюдження здобула біоенергетика завдяки доступній та дешевій сировинній базі, лівовою частиною якої є торф, відходи деревообробки, лісозаготівлі та деревообробки (кора, тирса, тріска) та відходи сільського господарства (солома, лушпиння соняшника, відходи кукурудзи, круп'яного виробництва та ін.). На сьогоднішній день активно зростає інтерес до твердого біопалива, розробляються та вдосконалюються нові методи покращення властивостей біопалива, такі як: подрібнення, сушіння, пресування, а останнім часом і термічна обробка (ТО). Застосування цих методів окремо чи в комплексі повинно бути обґрунтовано із умов зменшення вартості питомої одиниці енергії біопалива, логістичних витрат (витрати при перевезенні та зберіганні) та враховано доступність сировинної бази, об'єми виробництва, попит на ринках збуту та ін. Так подрібнення збільшує насипну вагу, вирівнює гранулометричний склад; пресування збільшує об'ємну щільність, дозволяє використовувати біопаливо в автоматизованих системах опалення; сушіння та термічна обробка дозволяють підвищити питомі енергетичні характеристики біопалива за рахунок видалення вологи та баластних складових.

Методи вільного чи примусового сушіння як правило не дозволяють отримати біопаливо з теплою згорання вище 18 МДж/кг. В результаті проведення термообробки зберігається близько 70 % сухої біомаси і 90 % енергії, що за теоретичними підрахунками дозволить підвищити теплоту згорання до 18...25 МДж. Технологія термообробки передбачає нагрів та витрим-

ку сировини в температурному діапазоні 200...350 °С, і супроводжується процесами зневоднення та термічного розкладання переважно найбільш термолабільної та найменш калорійної складової сировини – геміцелюлози [1].

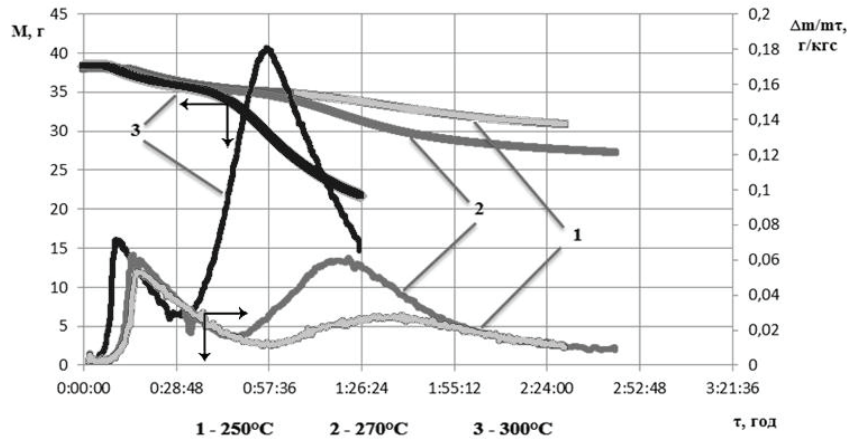
Якість термічно обробленого продукту залежить від режимних параметрів обробки (швидкість теплообмінних процесів, тривалість та температура обробки), фізичних характеристик сировини, її виду. Різні види біомаси та торф відрізняються відсотковим співвідношення основних органічних компонентів. Крім того процес термообробки біосировини супроводжується екзотермічним ефектом, що може призвести до локального перегрівання та неконтрольованого розкладання сировини, виділення внаслідок розкладання горючих газів та виникнення пожежонебезпечної ситуації. Отже, використання єдиного режиму термічної обробки для різної за характеристиками чи видом біомаси призводить до отримання продукції різної чи невідповідної якості.

Проведені дослідження впливу температури обробки на зміну швидкості масових втрат зразків торфу, деревини та соломи за температур обробки 250 °С, 270 °С та 300 °С (рис.1–3). Кожен вид експериментальних зразків мав різну початкову вологість (деревина – 7 %, солома – 9 %, торф – 15 %, торфо-деревинна суміш – 28 %), що вплинуло на тривалість процесів під час обробки.

Представлені графіки зміни масових втрат деревини за різної температури обробки та їх кінетичні криві (рис. 1), що ілюструють швидкість зміни маси або інтенсивність масових втрат під час ТО. Процес ТО можна поділити на ділянки прогріву, сушіння та термічного розкладання (розділяються піками кінетичних кривих). Підвищення температури обробки

прискорює прогрів, сушіння та розкладання сировини, як і наявність екзотермічного ефекту під час розкладання. При збільшенні температури обробки з 250 °С до 270 °С швидкість масових втрат зростає в середньому в 1,7 рази. Обробка при 300°С призводить до суттєвого перегріву сировини, початку процесу коксування, що супроводжується масовими втратами понад 35 %. Через

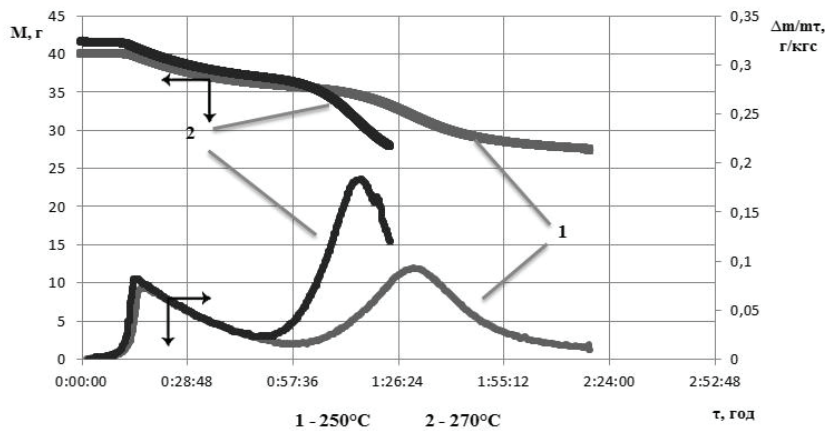
значні втрати калорійного продукту та нерациональність використання такого температурного режиму експеримент було припинено. Тривалість обробки лімітувалась зменшенням швидкості розкладання менше 0,01г/кг·с. Масові втрати зразків по сухій речовині склали 12,1 % при 250 °С, 21,3 % при 270 °С та більше 35 % при режимі обробки в 300 °С.



**Рис. 1. Вплив температури обробки на зміну швидкості масових втрат деревини.**

В результаті термообробки зразків соломи за різних температурних режимів (рис. 2) та порівнянні отриманих кривих виявлено, що зразки соломи характеризуються сильніше вираженим екзотермічним ефектом в порівнянні з деревиною. Протікання термічного розкладання за температури обробки 270 °С та вище, як

і для деревини при 300 °С призводить до локальних перегрівів, втрат калорійного продукту, виділення горючих газів та як наслідок виникнення пожежонебезпечної ситуації. Масові втрати зразків соломи (сухої речовини) під час розкладання за температури обробки 250 °С склали 22,4 %.



**Рис. 2. Вплив температури обробки на зміну швидкості масових втрат соломи.**

Основною відмінністю в обробці торфу (рис. 3) є слабше виражений екзотермічний ефект на ділянці розкладання, що пояснюється його високими адсорбційними властивостями та складною мікро- та макроструктурою: утворенням фізико-хімічних, структурних, іммобілізованих, осмотичних та внутрішньоклітинних водневих зв'язків [2]. При підвищенні температури обробки зразків торфу з 250 °С до 270 °С швидкість масових втрат зростає

в середньому в 1,6 рази та при підвищенні до 300 °С в 2,6 рази. При цьому масові втрати сухої речовини під час розкладання склали 8,1; 9,5; 14,3 % відповідно, що значно менше, ніж для деревини. Відсутність або слабкі прояви екзотермічного ефекту при температурному розкладанні торфу є передумовою використання торфу в композиції з біомасою для вирівнювання температурних полів в зонах локальних перегрівів.

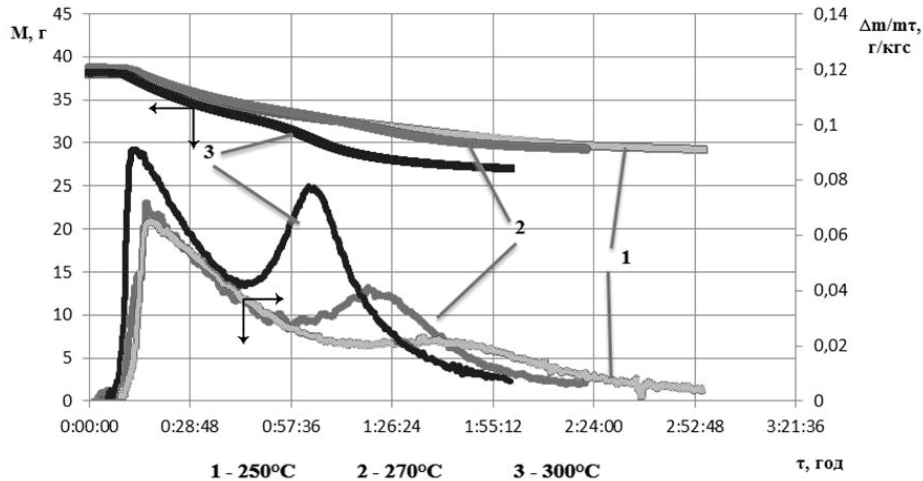


Рис. 3. Вплив температури обробки на зміну швидкості масових втрат торфу.

Експериментальна перевірка підтвердила припущення нормалізуючого впливу торфу в суміші з біомасою. Використання торфу в композиції, наприклад, з деревиною (рис. 4) в масових пропорціях 60 % торфу - 40 % деревини дозволило запобігти перегріванню деревини за температур обробки 300 °С та інтенсифікувати сушіння торфу завдяки різномірній структурі компонентів та накладанню періодів процесів сушіння торфу та термічного розкладання деревини

один на одного.

На ділянці сушіння високі тривалість процесу та інтенсивність масових втрат пояснюється високою початковою вологістю зразків ( $W = 28\%$ ). При підвищенні температури обробки торфу з 250 °С до 270 °С швидкість масових втрат зростає в середньому в 1,6 рази та при підвищенні до 300 °С в 1,9 рази. При цьому масові втрати сухої речовини під час розкладання склали 8,7; 11; 19 % відповідно.

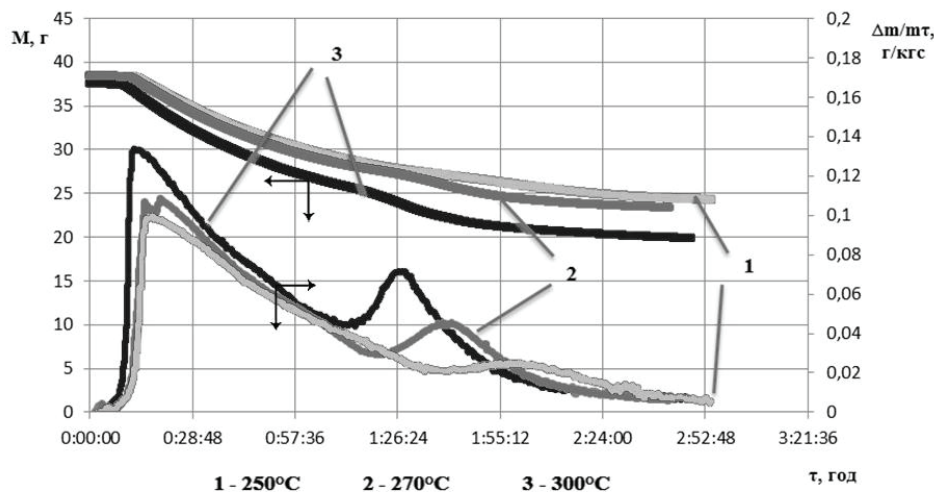


Рис. 4. Вплив температури обробки на зміну швидкості масових втрат торфо-деревинної суміші.

Під час термообробки з сировини видаляється переважно зв'язана вода, діоксид вуглецю та оцтова кислота. Низький вміст баластних газів при спалюванні термічно обробленого біопалива робить його енергоефективним паливом для газогенераторного обладнання та перспективною сировиною для виробництва рідких палив методом швидкого піролізу. Температура обробки, як і властивості сировини, її вид визначають інтенсивність процесів під час ТО, а відповідно визначають і продуктивність лінії. В результаті проведених

досліджень термообробки для різної сировини та їх сумішей, а також вибраного температурного діапазону термообробки (одеса 2015) – 200...320 °С, керуючись факторами ефективності та контролю процесу обробки, якості продукції за мінімальних втрат енергетичної складової сировини були визначені оптимальні температури обробки для кожної сировини. Так для соломи оптимальним температурним діапазоном термообробки є 230...250 °С, для деревини – 250...270 °С, а для торфу – 270...300 °С. За цих температур спостерігається знач-

не підвищення теплоти згоряння усіх обраних зразків в середньому на 25 % в порівнянні з необробленими зразками ( $W = 10...15\%$ ).

Класична схема виробництва твердого біопалива складається з трьох основних ділянок: сушіння, подрібнення та пресування (рис. 5). В якості додаткового методу покращення властивостей біопалива термообробку можливо інтегрувати в класичну схему після сушильного устаткування, після гранулювання чи проводити сумісно зі стадією сушіння в одному апараті (рис. 5). Залучення до класичної технології виробництва біопалива термообробки дозволить отримувати перспективне висококалорійне біопаливо, але й призведе до зростання енергоємності та металоємності лінії.

Термообробка пресованого виробу має як свої переваги так і недоліки [3]. Однакові розмір, форма та висока щільність гранул підвищують ефективність теплообміну та рівномірність прогріву, однак термообробка гранул зменшує їх об'ємну щільність та може призвести до їх руйнування через значне газовиділення

під час обробки (близько 50...70 % геміцелюлоз при температурах термообробки розкладаються з утворенням легких і газоподібних продуктів). Термообробка біомаси, що характеризується неоднорідністю фракційного складу дозволяє отримати паливо з високою масовою та можливою в подальшому (після пресування) об'ємною теплотою згоряння, однак потребує вирішення задач нерівномірності прогрівання сировини під час термообробки. Виробництво висококалорійного термічно обробленого біопалива передбачає використання окремого апарату термообробки, а поєднання процесів сушіння та термічного розкладання в одному апараті дозволить підвищити енергоефективність лінії, зменшити металоємність обладнання та енерговитрати, а відповідно і собівартість продукту. Взаємостабілізуючий вплив компонентів композиційної суміші біомаси та торфу дозволяє використовувати температурний діапазон обробки наближений чи рівний чистому торфу і інтенсифікувати процеси обробки.



**Рис. 5. Можливі місця розташування стадії термообробки на класичній лінії виробництва біопалива:**  
 1 – газовий паливник; 2 – змішувач; 3 – склад сировини; 4 – транспортер; 5 – барабанна сушарка;  
 6 – великий циклон; 7 – шлюзовий затвор; 8 – розподілювач; 9 – молоткова дробарка; 10 – димосос;  
 11 – труба димососа; 12 – відбиральник; 13 – вентилятор; 14 – циклони; 15 – дозатори (шлюзові затвори); 16 – шнекова подача; 17 – гранулятор.

Проведені експериментальні дослідження кінетики сушіння та термічного розкладання виявляють суттєві відмінності протікання цих процесів для різної сировини. Визначення оптимальних режимних параметрів, поєднаних суміщенням процесів сушіння та термічного розкладання, в одному апараті потребує створення математичної моделі. Математична модель має вирішувати задачі тепломасообміну та гідродинаміки суміжних процесів сушіння та термічного розкладання в одному апараті шляхом узгодження швидкості протікання процесів сушіння та термічного розкладання за різних властивостей умов сировини (її походження, фракційний склад, вологість та ін.). Розробка математичної моделі повинна включати наступні етапи: огляд існуючих математичних моделей, розробку фізичної моделі, перевірку адекватності моделей та створення методики розрахунку. На сьогоднішній день поставлені науково-технічні задачі не розглядались, по-

требують комплексного дослідження та математичного рішення.

### Висновки

Термообробка є методом покращення енергетичних характеристик, що дозволяє досягти максимально можливої енергетичної концентрації біопалива на рівні 19...23 МДж/кг.

Термообробка торфу та різномірних видів біомаси суттєво відрізняється, а отримання якісного продукту потребує для кожного з них різних режимних параметрів обробки. Так для соломи оптимальним температурним діапазоном термообробки є 230...250 °С, для деревини – 250...270 °С, а для торфу – 270...300 °С. Взаємостабілізуючий вплив компонентів композиційної суміші біомаси та торфу дозволяє використовувати температурний діапазон обробки наближений чи рівний чистому торфу і інтенсифікувати процеси обробки.

Пресування термічно обробленої біомаси, торфу чи їх сумішей дозволяє отримати паливо з високою масовою та об'ємною теплою згорання. Поєднання процесів сушіння та термічного розкладання в одному апараті підвищує енергоефективність лінії, зменшує металоємність обладнання та енерговитрати, а відповідно і собівартість продукту.

Обґрунтована необхідність розробки математичної моделі суміщених процесів сушіння та термічного розкладання, яка дозволить розрахувати режимні параметри процесів та узгодити їх в одному апараті.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Снежкін Ю.Ф., Корінчук Д.М., Безгін М.М.* Дослідження температурної обробки біосировини в технології виробництва твердого біопалива // Наукові

праці Одеської національної академії харчових технологій/Мін. Освіти і науки України. – Одеса: 2015. – Вип. 47 – С. 209–213.

2. *Лыштван И.И.* Коллоидная химия и физико-химическая механика торфа: история развития и современные направления исследований // Сборник научных трудов «Природопользование»/ Институт Природопользования НАН Беларуси – Минск: 2012. – Вып. 22 – С. 47–56.

3. *Корінчук Д.М., Безгін М.М., Степчук І.В.* Обґрунтування технології виробництва термічно обробленого твердого біопалива // збірник наукових статей "VIII Міжнародна науково-практична конференція "Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні". Львів, 2015.

### RESEARCH OF MODES FOR THERMO PROCESSING OF BIOMASS AND PEAT IN THE PRODUCTION OF COMPOSITE BIOFUEL

**Snezhkin Y.F., Korinchuk D.M., Bezhin M.M.**

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

Heat treatment as a method of improving the energy characteristics of biofuels for different types of biomass or peat require different processing operating parameters. An experimental research of temperature treatment influence to biofuels qualitative and quantitative characteristics changings were conducted and the optimum temperature range of temperature treatment of straw, wood, peat and thereof mixtures. The composite mixture of peat with biomass discover stabilizing effect and allows to use the processing temperature range close to the peat and intensify treatment processes. Realization of a heat treatment as a combined processes of drying and thermal decomposition in one device is the most promising and requires mathematical reasoning.

References 3, figures 5.

**Key words:** solid biofuel, thermal treatment, dehydration, decomposition, calorific value.

1. *Snyezhkin YU.F., Korinchuk D.M., Bezhin M.M.* Temperature processing of raw materials research in the technology of solid biofuels production. Scientific papers of Odessa National Academy of Food Technologies. Ministry of Education and Science of Ukraine. Odessa. 2015. Issue 47. P. 209–213.(Ukr.)

2. *Lyshtvan Y.Y.* Colloidal chemistry and physical and chemical peat mechanics: history of development and current research directions. Scientific papers «Pryrodopolzovanye». Belarus National Academy of Sciences Institute of nature. Mynsk. 2012. Issue 22. P. 47–56.(Rus.)

3. *Korinchuk D.M., Bezhin M.M., Stepchuk I.V.* Justification of thermally treated solid biofuels production technology. Scientific papers "VIII Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiya "Netradytsiyni i ponovlyuvani dzherela enerhiyi yak alternatyvni pervynnym dzherelam enerhiyi v rehioni". Lviv, 2015. (Ukr.)

Получено 30.01.2017  
Received 30.01.2017