

УДК 662.61+662.63

М.М.Жовмір, канд.техн.наук (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Кінетика термолізу та вигорання часток твердого біопалива. Частина 2. Швидкість термолізу сухих та вологих деревних і солом'яних гранул

Описано експериментальні дослідження термолізу часток деревних та солом'яних гранул масою 0,5 г при їх швидкому нагріві в окислювальній атмосфері у муфельній печі при 700 °С. Наведено методику обробки отриманих експериментальних даних для сухих та вологих часток гранул. Запропоновано швидкість реакції термолізу визначати як потік маси випаруваної води палива та летких, віднесений до початкової площі зовнішньої поверхні частки палива. Встановлено, що поточна швидкість термолізу є величиною змінною. Визначено значення середньої швидкості термолізу сухих і вологих деревних та солом'яних гранул, що відрізняються масою, вмістом води та золи, геометричними розмірами. Бібл. 7, табл. 2, рис. 3.

Ключові слова: тверде біопаливо, гранули, термоліз, кінетика, швидкість реакції.

ORCID: 0000-0001-6514-7474

Вступ. У попередній частині даної роботи [1] обґрунтовано необхідність досліджень кінетики термолізу часток твердого біопалива при їх швидкому нагріві в умовах окислювальної атмосфери, тобто в умовах, наближених до умов їх спалювання в топках котлів і теплогенераторів, описано методику досліджень та експериментальну термогравіметричну установку, методику підготовки зразків палива до проведення досліджень.

Мета роботи. В даній статті наведено дані про характеристики зразків палива, вибраних для проведення досліджень, методику обробки експериментальних даних, отримані результати експериментальних досліджень кінетики термолізу одиничних часток деревних та солом'яних гранул.

Характеристика зразків твердого біопалива, вибраних для досліджень кінетики термо-

лізу. Для проведення досліджень швидкості термолізу підготували зразки гранул – деревних (із соснової деревини) від виробника з Чернігівської області та солом'яних (із пшеничної соломи) від виробників з Вінницької та Київської областей (див. табл. 1). Характеристики гранул визначили у відповідності з описаною раніше методикою [1].

Для проведення досліджень із бездефектних гранул вирізали циліндрики правильної форми діаметром, рівним їх діаметру, а довжину визначали з умови маси частки 0,50...0,52 г у сухому стані. Підготовлені сухі зразки зберігали у герметичній тарі. Дослідження швидкості термолізу вологих гранул проводили з використанням гранул із робочим вмістом води у стані їх поставки від виробника та з гранулами, відволоженими над поверхнею води в ексикаторі.

Таблиця 1. Характеристики деревних та солом'яних гранул у стані їх поставки від виробників

Шифр зразка гранул	Номинальний діаметр гранул d , мм	Вміст води $W_{ар}$ ч.м.*	Вміст золи за сухою масою A_d , ч.м.
Деревні гранули			
ДГЧ-6	6	0,078	0,004
ДГЧ-8	8	0,061	0,004
ДГК-8 (деревина з корою)	8	0,048	0,070
Солом'яні гранули			
СГВ-6	6	0,092	0,101
СГВ-8	8	0,040	0,114
СГК-8Е	8	0,067	0,084

* ч.м. – частка за масою

© М.М.Жовмір, 2016

Гранульована біомаса є суцільною реологічною системою, що здатна до часткового відновлення форми і розмірів після пресування. Деревна та солом'яна біомаса має гідрофільний характер і схильна до поглинання вологи з вологого атмосферного повітря. Зважаючи на це, розміри гранул, зокрема, діаметр, можуть змінюватися після пресування, при зберіганні та відволоженні. Спостереження показали, що відволоження деревних гранул призводить до деформації їх форми та певного збільшення розмірів у більшій мірі, ніж солом'яних гранул. У зв'язку з цим перед дослідами проводили вимірювання фактичних геометричних розмірів досліджуваних часток гранул.

Умови проведення експерименту. Визначення швидкості термолізу гранул проводили на експериментальній термогравіметричній установці за методикою [1], при цьому температура розігріву муфельної печі становила 700°C. У попередніх роботах автора при дослідженні тривало-

ті періоду виходу летких із часток деревної тріски та деревних гранул, часток соломи та солом'яних гранул залежно від температури була обґрунтована доцільність здійснення цього процесу при температурі близько 700°C [2]. В результаті експериментів отримували відеофайли із записом зміни маси частки гранули при її швидкому нагріві в окислювальній атмосфері печі, а також візуально відмічені моменти часу спалахування летких довкола часток, завершення їх виділення і горіння.

Отримані результати. Після завершення експерименту уповільнено відтворювали відеофайл на персональному комп'ютері та отримували значення залишкової маси частки m_τ у час τ , відрахований від моменту посадки частки у муфельну піч, тобто залежність $m_\tau = f(\tau)$ у вигляді сукупності експериментальних точок. Для прикладу на рис. 1 наведено експериментальні дані зміни маси при дослідженні кінетики термолізу часток сухої та вологої деревної гранули.

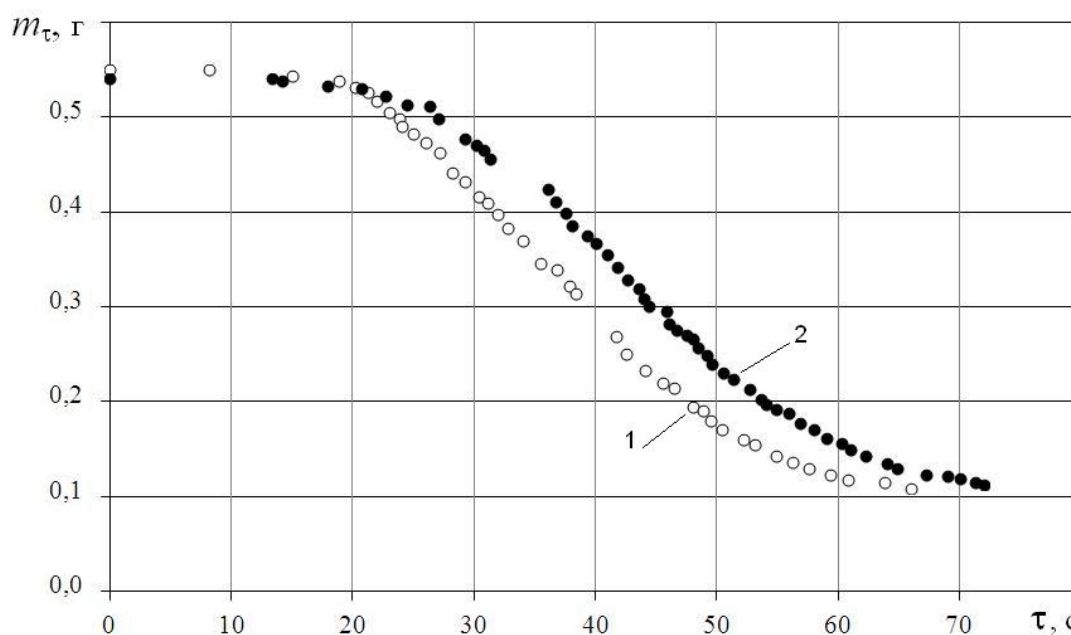


Рис. 1. Зміна маси сухої та вологої часток деревних гранул діаметром 6 мм при термолізі в муфельній печі при 700°C: 1 – суха частка; 2 – частка із вмістом вологи 7,8%.

Квазістатичний максимально можливий вихід летких для сухих часток досліджуваних гранул визначали за виразом:

$$m_{v,daf} = v_{daf} \cdot m_d \cdot (1 - A_d), \quad (1)$$

де m_d – початкова маса частки сухого досліджуваного палива, г; v_{daf} – експериментально визначений квазістатичний вихід летких для даної партії палива; A_d – експериментально визначений вміст золи на суху масу для даної партії палива.

Масу летких m_v^i , що виділилися із сухої частки гранули від початку нагріву до моменту часу τ , визначали за виразом:

$$m_v^i = m_d - m_\tau \quad (2)$$

Для аналізу процесу термолізу, як і в роботі [3], визначали масову частку летких, що виділилися із сухої частки до моменту часу τ , за виразом:

$$C_i = \frac{m_v^i}{m_{v,daf}} \quad (3)$$

На рис. 2 наведено експериментально отриману залежність $C = f(\tau)$, що характеризує динаміку виходу летких із сухої частки деревної гранули у печі при температурі 700°C.

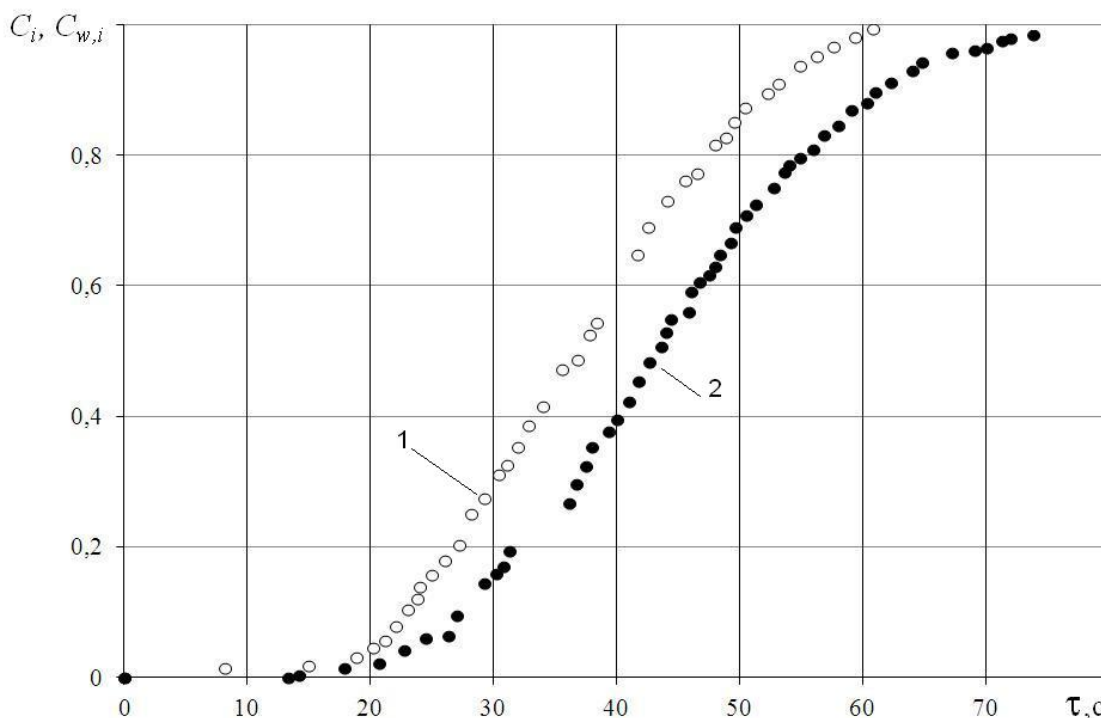


Рис. 2. Динаміка виходу летких із сухої C та водяної пари з леткими C_w з вологої часток деревних гранул в окислювальній атмосфері печі при температурі 700°C: 1 – суха частка; 2 – частка із вмістом води 7,8% мас.

У поширених літературних джерелах [4] розглядається, що при спалюванні палив послідовно відбувається їх висушування, а потім термоліз із виділенням летких речовин та їх згорянням. При проведенні експериментальних досліджень термолізу сухих та вологих часток деревних гранул, результати яких наведено на рис. 1, було відмічено спалахування летких довкола сухих часток на 15 с після посадки в муфельну піч та на 18 с – довкола часток із вмістом води 7,8%. З даних на рис. 1 видно, що в момент часу 15 с від початку експерименту зменшення маси частки сухої гранули становило 7 мг і свідчить про вивільнення певної частини летких речовин, а в момент часу 18 с зменшення маси частки вологої гранули також становило близько 7 мг і є значно меншим,

ніж вміст води у досліджуваній частці – 42 мг. Це свідчить, що при швидкому нагріві вологих часток процеси випаровування води палива і термолізу біомаси з виділенням летких є суміщеними у часі. Крім того, ці дані свідчать про уповільнення динаміки виходу летких із вологих часток. У зв'язку з цим для вологих біопалив буде розглядати сумісний процес випаровування води палива та термолізу з виходом летких. Для часток вологого палива масою m_w квазістатичний максимально можливий вихід випарованої води палива та летких $m_{v,w}$ визначали за виразом:

$$m_{v,w} = m_w \cdot W_{ar} + v_{daf} \cdot m_w (1 - W_{ar})(1 - A_d) \quad (4)$$

Масу водяної пари та летких $m_{v,w}^i$, що виділилися з вологої частки палива від початку нагріву до моменту часу τ , визначали за виразом:

$$m_{v,w}^i = m_w - m_\tau. \quad (5)$$

Масову частку водяної пари та летких, що виділилися з вологої частки до моменту часу τ , визначали за виразом:

$$C_{w,i} = \frac{m_{v,w}^i}{m_{v,w}}. \quad (6)$$

За отриманими експериментальними даними побудували графік залежності $C_{w,i} = f(\tau)$, що характеризує динаміку виходу водяної пари та летких із частки деревної гранули діаметром 6 мм із вмістом вологи $W_{ar} = 7,8\%$ під час її термолізу в муфельній печі при температурі 700°C (рис. 2). Отримані дані вказують на значне уповільнення динаміки виходу летких при наявності $7,8\%$ вологи в деревних гранулах.

З даних, наведених на рис. 2, випливає, що вихід летких відбувається з певною затримкою часу τ_h , яка для сухих гранул становить 8 с, а при вмісті вологи в гранулах $7,8\%$ становить 14 с. Відомі залежності [3] для розрахунку динаміки виходу летких із палив дають початок виходу летких з моменту часу $\tau = 0$. Це можна пояснити тим, що їх отримали на основі дослідів з повільним нагрівом при відносно низьких температурах 543K , коли спостерігалась загальна тривалість виходу летких більше 20000 с.

Виявлену затримку в часі початку виходу летких можна пояснити необхідністю прогріву часток до температури початку хімічних реакцій термолізу, причому для вологих гранул тривалість прогріву τ_h більша. У зв'язку з цим, шукаючи функціональну залежність виходу летких у часі, необхідно розбивати час на два періоди:

- перший період – період прогріву частки $\tau = 0 \dots \tau_h$, для якого можна прийняти $C = 0$;
- другий період – період інтенсивного виходу летких $\tau > \tau_h$, для якого $C = f(\tau - \tau_h)$.

У наведених вище експериментальних даних тривалість другого періоду (періоду виходу летких) для сухих гранул становить 54 с, а для воло-

гих гранул – 61 с. Навіть при поділі процесу термолізу на два періоди спроби узагальнення отриманих експериментальних даних відомими експоненціальними залежностями [3] не дали задовільних результатів. Відомі підходи базуються на припущенні, що швидкість виділення продуктів термолізу пропорційна залишковому вмісту летких у речовині палива, яка зазнає термічного розпаду, причому реакцію вважали реакцією першого порядку відносно залишкового вмісту летких. Такий характер процесу міг би бути при повільному нагріві і забезпеченні рівномірного температурного поля у частці, коли термоліз відбувається одночасно у всьому об'ємі палива.

Для в'яснення характеру реакції термолізу при швидкому нагріві часток гранул провели наступні допоміжні досліді. З деревних гранул діаметром 6 мм підготували частки у вигляді правильних циліндриків діаметром, рівним діаметру гранул та довжиною близько 14 мм, і висушили їх до постійної маси у сушильні шафі при 105°C ; маса однієї частки у сухому стані становила близько $0,50 \dots 0,52$ г. Частку палива уклали горизонтально на підставку з тонкої жаростійкої сітки і поміщали в муфельну піч, попередньо розігріту до 700°C . Через $14 \dots 16$ с після посадки частки у піч спостерігали займання летких довкола частки. Процес термолізу часток переривали у моменти часу 20, 30, 40, 50, 60, 70 секунд від моменту їх посадки у піч. Для цього підставку з часткою палива виймали з печі і різко охолоджували в повітряному потоці з розпиленою водою. На поперечному зламі охолодженої частки відмічали обуглену речовину на периферії та нерозкладену речовину в центральній частині. Зупиняючи термоліз однакових часток у різні моменти часу, встановили, що термоліз біомаси гранули відбувається пошарово з поширенням реакції вглиб. На момент часу 20 с термічного розпаду зазнавав поверхневий шар товщиною до 0,5 мм, колір якого ставав бурим, далі слідував шар товщиною до 1,5 мм із незначною зміною кольору, а серцевина залишалася світлою; на 40 с поверхневий шар товщиною 1,5 мм ставав чорним, а серцевина бурую; на 50 с товщина чорного поверхневого шару досягала $1,5 \dots 2$ мм, з незначною за розміром бурую серцевиною; на 60 с весь переріз частки мав

чорний колір; вихід летких із часток завершувався на 60...65 с. Подібний характер процесу спостерігали, використовуючи деревні гранули діаметром 8 мм та солом'яні гранули діаметром 6 та 8 мм. Встановлено, що коксозольний залишок, отриманий при завершенні термолізу гранул, має геометричну форму та розміри практично такі ж як у вихідних гранул.

Викладені спостереження свідчать про поширений характер поширення реакції, а тому визначення швидкості термолізу як пропорційної залишковому вмісту летких є неприйнятним при швидкому нагріві частки в окислювальній атмосфері печі.

Швидкість гетерогенних хімічних реакцій горіння прийнято відносити до одиниці площі реагуючої поверхні. При термолізі часток палива вивільнені леткі речовини проходять через поверхню частки, яка залишається майже незмінною до завершення виходу летких, тому швидкість реакції термолізу будемо визначати як потік маси летких, віднесений до початкової площі зовнішньої поверхні частки палива. Протягом періоду інтенсивного виходу летких при $\tau > \tau_h$ для відрізків часу $\Delta\tau$ між окремими зчитуваннями поточної маси m_τ частки, що зазнає термолізу, поточні значення швидкості реакції термолізу $w_{v,i}$ для сухих часток можна визначити за виразом:

$$w_{v,i} = -\frac{\Delta m_{v,i}}{f \Delta \tau}, \quad (7)$$

а швидкість суміщеного процесу випаровування води та виходу летких $w_{v,w,i}$ для вологих часток за виразом:

$$w_{v,w,i} = -\frac{\Delta m_{v,w,i}}{f \Delta \tau}, \quad (8)$$

де f – початкова площа зовнішньої поверхні частки, м².

Середні за період виходу летких значення швидкості термолізу w_v для сухих часток та $w_{v,w}$ для вологих часток можна визначити за виразами:

$$w_v = \frac{m_d - m_{ca}}{f(\tau_v - \tau_h)}, \quad (9)$$

$$w_{v,w} = \frac{m_w - m_{ca}}{f(\tau_v - \tau_h)}, \quad (10)$$

де m_{ca} – маса коксозольного залишку, утвореного з частки після завершення виходу летких, г; τ_v – тривалість періоду від посадки гранули в піч до завершення виходу летких речовин, с.

Виходячи з отриманих первинних даних, що наведені на рис. 1, розраховали значення поточної швидкості реакції термолізу для сухих і вологих деревних гранул (рис. 3); при цьому використовували експериментальні дані, виміряні з часовим інтервалом 2-3 секунди. Як видно, поточна швидкість термолізу є величиною змінною – з швидким ростом у початковий період, відносно стабільністю при максимальних значеннях та уповільненням при завершенні виходу летких. Для сухих гранул діаметром 6 мм середня за період виходу летких середня швидкість термолізу становить $w_v = 21,0$ г/(м²·с), що у два рази менше максимального значення поточної швидкості, а середня швидкість виділення водяної пари та летких для гранул із вмістом води 7,8% становить $w_{v,w} = 21,5$ г/(м²·с). При вмісті води 12,1% середня швидкість термолізу збільшувалася до 23,4 г/(м²·с), а тривалість періоду інтенсивного виходу летких була меншою, ніж для сухих гранул.

Вміст води в деревних гранулах може становити до 15% за EN14961–1:2010 [5], а в промислових деревних гранулах до 10% за EN 14961–2:2011 [6], для промислових гранул із соломи або міскантусу до 10%, із двокитичника тростиновидного до 12% за EN14961–6:2012 [7]. Крім того, вказані види гранул можуть відрізнятися вмістом золи від 0,2-0,3 до 3% для деревних гранул за EN 14961–2:2011 [6] та до 10% і більше для гранул за EN14961–1:2010 [5] та EN14961–6:2012 [7]. Відповідно до чинних стандартів гранули виробляються певного діаметра, але із вказаних раніше причин фактичний діаметр відмінний від номінального, що враховано при експериментальному визначанні швидкості термолізу. В табл. 2 наведено експериментально визначені значення середньої швидкості термолізу деревних та солом'яних гранул, які відрізняються масою, вмістом води та золи, геометричними розмірами. Середня швидкість термолізу досліджених сухих і вологих деревних та солом'яних гранул знаходиться у доволі вузькому діапазоні від 17,3 до 26,7 г/(м²·с).

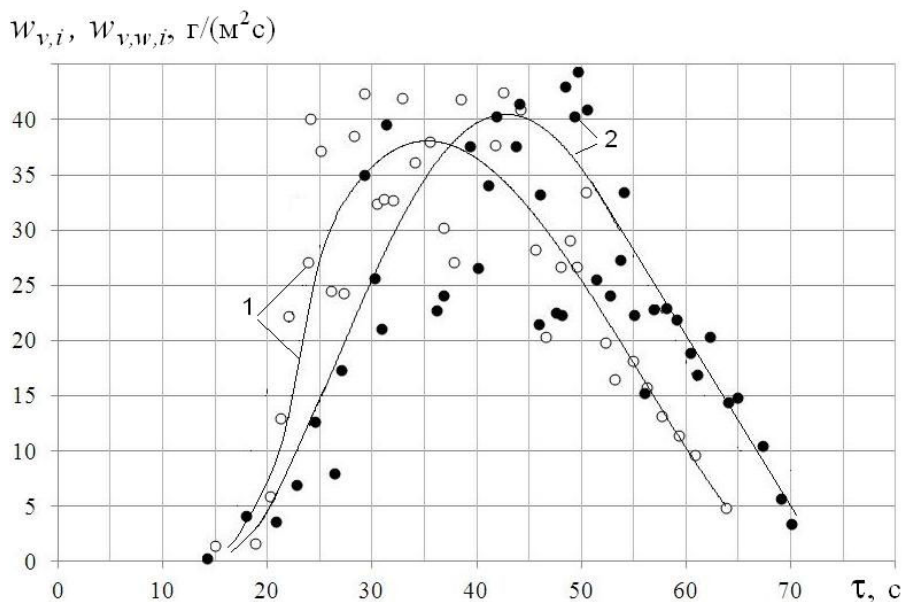


Рис. 3. Поточна швидкість термолізу сухої $W_{v,i}$ та вологої частки $W_{v,w,i}$ деревної гранули діаметром 6 мм при нагріві в окислювальній атмосфері печі при 700 °С: 1 – суха частка; 2 – частка із вмістом вологи 7,8% мас.

Таблиця 2. Експериментальні значення середньої швидкості термолізу часток промислових деревних та солом'яних гранул у сухому та вологому стані

Шифр гранул	Характеристика досліджених часток				Експериментально визначена середня швидкість термолізу, $г/(м^2·с)$
	Вміст во-логи, % мас.	Фактичні розміри досліджуваних часток гранул		Маса частки гранули, г	
		діаметр, мм	довжина, мм		
ДГЧ-6	0	6,0	16,3	0,55	21,0
	7,8	6,0	15,2	0,54	21,5
	7,8	6,1	24,4	0,86	21,2
	12,1	6,7	16,0	0,57	23,4
ДГЧ-8	0	8,0	9,3	0,52	18,2
	6,1	8,3	10	0,52	17,6
	6,1	8,3	25	1,52	17,7
	11,9	9,5	10,1	0,64	19,7
ДГК-8	4,8	8,1	8,7	0,54	18,5
СГВ-6	0	5,9	15,4	0,50	19,2
	9,2	6,3	17,0	0,55	18,2
	12,0	6,3	15,1	0,56	19,9
СГВ-8	0	8,2	9,5	0,56	18,0
	4,0	8,1	8,5	0,52	19,0
	13,4	8,4	8,9	0,51	17,3
СГК-8Е	8,8	8,2	9,6	0,55	26,7

З наведених експериментальних даних випливає, що зміна вмісту вологи в деревних гранулах ДГЧ-6 та ДГЧ-8 від 0 до 9,2 не приводила до істотної зміни швидкості термолізу, а при зростанні вмісту вологи до 11-12% мас. спостерігали значну зміну розмірів відсирілих гранул та зби-

льшення швидкості сумісного процесу випаровування водяної пари та виходу летких речовин.

Зміна вмісту вологи в солом'яних гранулах СГВ-6 та СГВ-8 від 0 до 13,4 не приводила до істотної однозначної зміни швидкості термолізу. Швидкість термолізу солом'яних гранул СГК-8Е

є значно вищою у порівнянні зі всіма дослідженими гранулами.

Як для деревних, так і для солом'яних гранул зміна довжини гранул у досліджених межах не має суттєвого впливу на швидкість термолізу.

Отримані залежності та експериментальні результати можна використовувати при виконанні конструкторських розрахунків топкових пристроїв для спалювання твердих біопалив, зокрема їх зони термолізу.

Висновки. 1. Експериментально встановлено, що реакція термолізу в частках деревних та солом'яних гранул відбувається пошарово, поширюючись від поверхні до центра.

2. Експериментально встановлено, що при швидкому нагріві часток вологих гранул процеси випаровування вологи палива та термолізу біомаси з виділенням летких є суміщеними у часі.

3. Встановлено значне уповільнення динаміки виходу летких при наявності вологи в гранулах.

4. Встановлено, що коксозольний залишок, отриманий при завершенні термолізу гранул, має геометричну форму та розміри практично такі ж, як у вихідних гранул.

5. Запропоновано швидкість реакції термолізу для сухих гранул визначати як потік маси летких, віднесений до початкової площі зовнішньої поверхні частки палива, а для вологих гранул – як потік маси випарованої вологи палива та летких, віднесений до початкової площі зовнішньої поверхні частки палива. Експериментально встановлено, що поточна швидкість термолізу є величиною змінною – з швидким ростом у початковий період, відносною стабільністю при максимальних значеннях та уповільненням при завершенні виходу летких.

6. Середня швидкість термолізу досліджених сухих і вологих деревних та солом'яних гранул знаходиться у доволі вузькому діапазоні від 17,3 до 26,7 г/(м²·с).

7. Як для деревних, так і для солом'яних гранул, зміна довжини гранул у досліджених межах не має суттєвого впливу на швидкість термолізу.

1. Жовмір М.М. Кінетика термолізу та вигорання часток твердого біопалива. Частина 1. Експериментальна установка та методика проведення досліджень // Відновлю-

вана енергетика. – 2016, №2 – С. 73–78.

2. Жовмір Н.М. Исследование продолжительности периода выхода летучих при горении частиц древесины // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т. 35, №1. – С. 93–98.

3. Основы практической теории горения. Под ред. В.В. Померанцева. Учебное пособие. – Л.: Энергия, 1973. – 264 с.

4. The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing // Edited by Sjaak van Loo and Jaap Koppejan. – London, Sterling, VA, 2000 – 465 p.

5. *Биотопливо* твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 1. Общие требования: ГОСТ Р 54220–2010 (ЕН 14961–1:2010) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2012.

6. *Биотопливо* твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 2. Древесные pellets для промышленного использования. ГОСТ Р 55114–2012 (ЕН 14961–2:2011) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2014.

7. *Биотопливо* твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 6. Недревесные pellets для промышленного использования: ГОСТ Р 55868–2013 (ЕН 14961–6:2012) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2014.

REFERENCES

1. Zhovmir M. Kinetics of thermolysis and burning of solid biofuel particles. Part 1. Experimental setup and method of research // Vidnovliuvana enerhetyka. – 2016. – №2 – P. 73–78. (Ukr)

2. Zhovmir M. Studying the duration of volatiles release period when burning wood particles // Promyshlennaya teploekhnika. – 2013. – Т. 35. – №1. – PP. 93–98. (Rus)

3. *Basics of practical combustion theory*. Edited by V.V.Pomerantsev. Tutorial. – L.: Energiya, 1973. – 264 p. (Rus)

4. The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing // Edited by Sjaak van Loo and Jaap Koppejan. – London, Sterling, VA, 2000. – 465 p.

5. *Solid biofuel*. Technical specifications and fuel grades. Part 1. General requirements: GOST P 54220–2010 (ЕН 14961–1:2010) / Federalnoe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. – М.: Standartinform, 2012. (Rus)

6. *Solid biofuel*. Technical specifications and fuel grades. Part 2. Wood pellets for non-industrial use. GOST P 55114–2012 (ЕН 14961–2:2011) / Federalnoe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. – М.: Standartinform, 2014. (Rus)

7. *Solid biofuel*. Technical specifications and fuel grades. Part 6. Non-wood pellets for non-industrial use Недревесные pellets для промышленного использования: GOST P 55868–2013 (ЕН 14961–6:2012) / Federalnoe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. – М.: Standartinform, 2014. (Rus)

Н.М.Жовмир, канд.техн.наук (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Кинетика термолитза и выгорания частиц твердого биотоплива. Часть 2. Скорость термолитза сухих и влажных древесных и соломенных гранул

Описаны экспериментальные исследования термолитза частиц древесных и соломенных гранул массой 0,5 г при их быстром нагреве в окислительной атмосфере в муфельной печи при 700°C. Приведена методика обработки экспериментальных данных для сухих и влажных частиц гранул. Предложено скорость реакции термолитза определять как поток массы испаренной влаги топлива и летучих веществ, отнесенный к первоначальной площади внешней поверхности частиц топлива. Установлено, что текущая скорость термолитза является величиной переменной. Определены значения средней скорости термолитза сухих и влажных древесных и соломенных гранул, которые отличаются массой частиц, содержанием влаги и золы, геометрическими размерами. Библ. 7, табл. 2, рис. 3.

Ключевые слова: твердое биотопливо, гранулы, термолитз, кинетика, скорость реакции.

Zhovmir M., cand.tech.sc. (Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine, Kyiv)

Kinetics of thermolysis and burning of solid biofuel particles. Part 2. Thermolysis rate of dry and wet wood and straw pellets

Experimental study of the wood and straw pellets particles thermolysis weighing 0.5 g at rapid heating in oxidizing atmosphere in a muffle furnace at 700°C, and method of experimental data processing for the dry and wet pellets are described. It is proposed the rate of thermolysis reaction to define as mass flow of evaporated fuel moisture and volatile matter related to the original area of fuel particle outer surface. It was found that the instant thermolysis reaction rate is variable. Values of average rate of thermolysis reaction for dry and wet wood and straw pellets, which differ in particle mass, moisture and ash content, and geometric dimensions. References 7, tables 2, figures 3.

Keywords: solid biofuel, pellets, thermolysis, kinetics, rate of reaction

SYNOPSIS

In previous part of this work it was substantiated necessity to study kinetics of solid biofuels thermolysis at their rapid heat

ing up in conditions of oxidative atmosphere, i.e. in conditions close to that of their combustion in furnaces and boilers, the experimental thermogravimetric installation and procedure of experiments were described.

This article provides information about the characteristics of wood and straw pellets selected for investigation, method of experimental data processing, obtained results of thermolysis kinetics for single particles of wood and straw pellets.

Determining of pellet thermolysis rate was carried out at furnace heating to 700°C. Particles of pellets having diameter of 6 and 8 mm at their weight 0.5 g, at moisture content from 0 to 13%, and ash content from 0.4 to 11.1% were used. As a result of experiments video recordings of particles mass change at their fast heating up in oxidative atmosphere of furnace were obtained, as well as visually marked time moments of volatile ignition around the particle and that at completion of volatile release and burning.

It was found what thermolysis reaction in particles of wood and a straw pellet occurs in layers, with propagation from the surface to the center. At completion of pellet thermolysis the coke and ash residue is formed which has geometrical form and size almost the same as that of initial particle of pellet.

Volatile release begins with a certain time delay from the moment of sample submission into oven; this can be explained by necessity of particle heating up to temperature of chemical reactions of thermolysis start, at that duration of heating up of wet pellets is longer. In this connection, looking for dependence of volatile release the time should be divided into two periods: the period of particle heating up with absence of volatile release and period of intensive volatile release.

It was found that at rapid heating up of wet pellet particles the processes of fuel moisture evaporation and biomass thermolysis with volatile release are combined in time.

It was proposed the thermolysis reaction rate for dry pellets to determine as volatile mass flow assigned to the original area of outer particle surface, and for wet pellet as mass flow of evaporated moisture and released volatile to the original area of outer particle surface. Experimentally found that the instant rate of thermolysis is variable – with the rapid growth at the reaction beginning, relative stability at the maximum values and slowing at the end of volatile release.

The average thermolysis rates during period of intensive volatile release for investigated dry and wet wood and straw pellets are in quite a narrow range from 17.3 to 26.7 g/(m²s). For wood and straw pellets increasing pellets length up to 25 mm had no significant impact on the thermolysis rate.

Стаття надійшла до редакції 20.07.16

Остаточна версія 23.08.16