

УДК 662:66.0

**Ю.В. Радич**, магістрант**Т.Б. Шилович**, канд. техн. наук**Т.В. Лазарєв**, аспірант

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ  
ПРОЦЕСІВ ПРИ ПІРОЛІЗІ ТОРФУ****Ю.В. Радич**, магістрант**Т.Б. Шилович**, канд. техн. наук**Т.В. Лазарєв**, аспірант

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ  
ПРОЦЕСІВ ПРИ ПІРОЛІЗІ ТОРФА****Y.V. Radych**, MA student**T.B. Shylovych**, Candidate of Technical Sciences**T.V. Lazariev**, graduate student

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

**EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF PHYSICAL AND CHEMICAL  
PROCESSES BY PYROLYSIS OF PEAT**

*Проаналізовано хімічний склад торфу і з'ясовано, що середній елементний склад органічної маси торфу залежить від глибини його залягання та ступеня розкладу. Експериментально досліджено динаміку виходу піролізного газу і напівкоксу з торфу в процесі його термообробки.*

**Ключові слова:** торф, піроліз, напівкокс, процес карбонізації.

*Проанализировано химический состав торфа и выяснено, что средний элементный состав органической массы торфа зависит от глубины его залегания и степени разложения. Экспериментально исследовано динамику выхода пиролизного газа и полукокса из торфа в процессе его термообработки.*

**Ключевые слова:** торф, пиролиз, полукокс, процесс карбонизации.

*The chemical composition of peat was analyzed and as a result average elemental composition was found that depends on organic matter of peat depth, occurrence and decomposition state. The dynamics of pyrolysis gas and coking peat were analyzed in the process of the heat treatment.*

**Key words:** peat, pyrolysis, semicoke, the process of carbonization.

**Вступ.** Торф у природному стані – це дуже зволожена, зольна суміш різних продуктів розкладу рослин в умовах вологого безповітряного середовища. Торф відноситься до молодих викопних палив і знаходиться за своїми енергетичними показниками між деревиною та бурим вугіллям. Хімічний склад торфу на горючу масу практично не відрізняється від деревини. Середній елементний склад органічної маси торфу залежить від глибини його залягання, ступеня розкладу та ін. і має приблизно такі усереднені показники (табл. 1) [1].

Таблиця 1

*Середній елементний хімічний склад торфу*

C, %	H, %	O, %	N, %	S, %
52–64	5–6	30–39	1–4	0–1

Зі збільшенням глибини залягання торфу ступінь його розкладу і вміст вуглецю та азоту в органічній масі підвищується, а водню та кисню, навпаки, зменшується.

Торф'яні поклади майже не містять сірку. Так, у верховому торфі її вміст приблизно становить 0-0,4 %, а у низинному – 0,2-1 %. Вміст летучих речовин від 68 до 76 %. Зольність верхового торфу знаходиться в межах 1-6 %, а низинного 6-20 %. Торф з малим вмістом золи, але з меншою температурою плавлення мало придатний для процесів піролізного оброблення, а з великим вмістом золи і високою температурою її плавлення навпаки – більш придатний.

Для зменшення вологовмісту торфу застосовується його сушіння. Сушіння торфу в природних умовах не завжди є можливим, а штучне сушіння потребує додаткових енергетичних витрат. Транспортування кускового торфу завдяки значним втратам дрібної фракції не є ефективним. Тому брикетований торф має певні переваги над кусковим, що проявляються у більш високій механічній міцності, що майже виключає наявність дрібної фракції, яка втрачається при транспортуванні, у постійній вологості та у більш високому значенні нижчої робочої теплоти згоряння – до 22 МДж/кг.

На підставі проведеного аналізу властивостей та технічних характеристик торфу як палива, можна сказати, що доцільно використовувати торф з середніми показниками, представленими у табл. 2.

Таблиця 2

*Параметри торфу*

Показник	Значення
Абсолютна максимальна вологість, %	до 30
Максимальний вміст золи, %	до 10-12
Мінімальна температура плавлення золи, °С	1200
Мінімальний ступінь розкладу, %	30
Максимальний вміст сірки (загальної), %	0,4-0,5
Максимальний розмір шматків, мм	60-70

Піроліз – це термічний розклад (деструкція) органічних і багатьох неорганічних сполук [1]. У вузькому розумінні – розклад органічних природних сполук при нестачі повітря (деревини, торфу, нафтопродуктів та ін.), у результаті якого утворюються летучі речовини, зола та рідкі продукти (смоли та інші органічні речовини). В більш широкому розумінні – це розклад будь-яких сполук на складові менш важкі молекули або елементи під дією підвищеної температури. Кількість та склад продуктів залежить від типу палива, кінцевої температури піролізу, швидкості нагрівання та розміру часток, тиску в реакторі, часу перебування палива в ньому, умов видалення летучих та складу навколишнього газового середовища.

**Постановка проблеми.** У представленій роботі проводяться експериментальні дослідження фізико-хімічних процесів при піролізі торфу та розглядається динаміка виходу піролізного газу і напівкоксу з торфу в процесі його термообробки. Сьогодні використання торфу стає все актуальнішим через зростання цін на енергоносії, застосування нових технологій перероблення та спалювання торфу, що дозволяють автоматизувати такий процес. Україна має достатньо запасів твердого палива, перехід на яке надав би можливість зупинити зростання собівартості теплової енергії комунальної теплоенергетики та зменшити енергетичну залежність держави.

**Метою** роботи є експериментальне визначення середніх показників торфу для доцільного його використання та дослідження динаміки виходу піролізного газу і напівкоксу з торфу в процесі його термообробки.

**Експериментальні дослідження.** Карбонізація – це підвищення вмісту вуглецю в органічному паливі, яке відбувається при його термообробці при обмеженому доступі повітря [1]. Тверді продукти карбонізації називаються коксом.

Позиції 1 і 2 на рис. 1 являють собою модуль карбонізації (напівкоксування торфу), а позиції 5-6 відображають вимірювальний комплекс (ВК) [2], який базується на модулях збору даних I-7018 виробництва компанії ICP\_DAS, які дають змогу проводити збір даних з 8 окремих аналогових входів і датчика температури (розташованого біля контактних площадок модуля) з частотою вимірювань до 10 Гц. Модуль I-7018 має гальванічну розв'язку до 3000 В і забезпечує передачу цифрових даних по напівдуплексному послідовному інтерфейсу RS-485 на відстань до 1 км (середовище передачі – завита па-

ра). Кількість модулів у одній мережі може досягати 254 шт. У комплексі дані з I-7018 після перетворення у послідовний інтерфейс RS-232 подаються на послідовний порт персонального комп'ютера. Перетворення інтерфейсів RS-485↔RS-232 виконується модулем перетворення I-7520 (ICP\_DAS), який також має гальванічну розв'язку до 3000 В. Після входу на послідовний порт персонального комп'ютера дані зчитуються й обробляються спеціальним програмним забезпеченням, яке має такі можливості:

- тестування та формування мережі модулів збору даних;
- вибір частоти опитування модулів (до 1Гц);
- вибір типу датчика (ХА, ВР, ПТП-04, напруга) для кожного входу модуля;
- збереження даних на зовнішньому або внутрішньому носіях з можливістю задання частоти збереження інформації;
- відображення даних на екрані дисплея у числовому і графічному вигляді у режимі реального часу.

Експериментальні дослідження процесу карбонізації торфу виконувались на установці, принципова схема якої представлена на рис. 1.

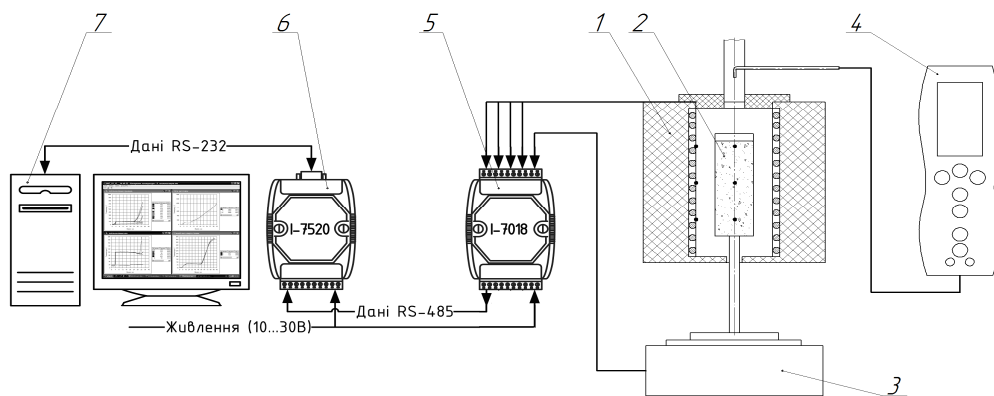


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1 – електрична піч, 2 – тигель з садкою торфу, 3 – електронні ваги ТВЕ-1-0,001, 4 – газоаналізатор TESTO-340, 5 – модуль збору даних I-7018, 6 – модуль перетворення I-7520, 7 – персональний комп'ютер

Принцип роботи установки полягає в такому: виконуємо попереднє зважування садки; поміщаємо тигель з садкою торфу в електричну піч; включаємо піч, здійснюємо нагрівання з темпом підйому температури 400 К/год; робимо витримку впродовж 1 год при температурі 650–670 °С; у процесі досліджень безперервно проводиться контроль відхідних газів за допомогою газоаналізатора і контроль втрати маси з виходом летючих; відключаємо піч від електроживлення; далі охолоджуємо протягом 5 год; виконуємо зважування садки після термообробки. При проведенні експериментальних досліджень у модуль карбонізації послідовно розміщалося 5 садок торфу з різними фракціями: 0,5-1 мм – 20 %; 2-5 мм – 40 %; 10-25 мм – 35 %; 30-50 мм – 5 %.

Результати експериментальних досліджень представлені на рис. 2 і в таблицях 3-5.

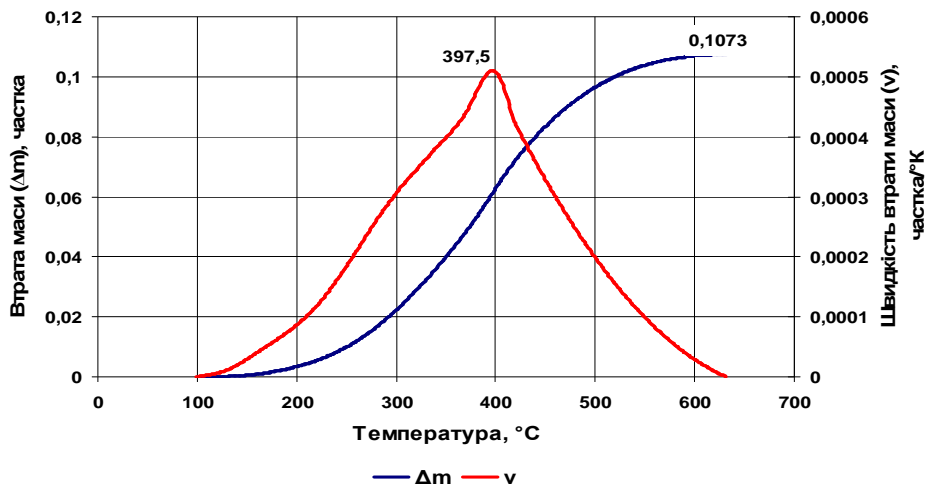


Рис. 2. Динаміка виходу піролізного газу з торф'яних садок (середнє значення 5 експер.)

Таблиця 3

Маса вихідного торфу садок і торф'яного вугілля після термообробки

№ садки	Маса, г	
	Торф	Торф'яне вугілля
1	53,82	20,52
2	49,58	20,15
3	41,26	16,83
4	42,27	17,37
5	47,54	18,95
Всього	234,46	93,82

Таблиця 4

Технічний склад торф'яного вугілля (напівкоксу)

№ садки	Склад торф'яного вугілля мас., %			
	Вологість	Летучі	Зола	Сухий напівкокс
1	5,95	6,10	37,33	48,16
2	4,77	3,84	41,74	51,96
3	4,28	4,14	42,14	52,42
4	5,77	5,14	42,24	51,99
5	5,23	4,54	39,41	50,72
Середнє значення	5,20	4,75	40,57	51,05

Дані таблиці 4 свідчать про те, що після карбонізації усі дослідні зразки мають низьку вологість та високу зольність. Вміст летучих речовин становить близько 4-6 %, що показує, що під час експерименту майже всі летучі речовини видалені з торфу.

Таблиця 5

Хімічний склад отриманого торф'яного вугілля

Елементний склад торф'яного вугілля, мас. %					Нижча робоча теплота згоряння, $Q_n^p = \frac{339C^p + 1030H^p - 108,9(O^p - S^p) - 25W^p}{1000} \text{ МДж/кг}$ де $C^p, H^p, O^p, S^p, W^p$ – складові елементи робочого палива, %	
					17,29	
C <sup>г</sup>	H <sup>г</sup>	O <sup>г</sup>	N <sup>г</sup>	S <sup>заг</sup>		
93,84	0,83	0,35	4,98	0		

Повний вихід сухого торф'яного вугілля ( $m, \%$ ) в перерахунку на суху масу торфу:

$$m = \frac{m_{\text{вуг}} (100 - W_{\text{вуг}})}{m_{\text{торф}} (100 - W_{\text{торф}})},$$

де  $m_{\text{торф}}$  – маса торф'яного зразка, кг;  $m_{\text{вуг}}$  – маса зразка отриманого торф'яного вугілля, кг;  $W_{\text{торф}}$  – вологість торфу, %;  $W_{\text{вуг}}$  – вологість отриманого торф'яного вугілля, %.

Хімічний ККД ( $\eta_{\text{хім}}, \%$ ) конверсії торфу в торф'яне вугілля розраховується:

$$\eta_{\text{хім}} = \frac{Q_{\text{н вуг}}^{\text{р}} m_{\text{вуг}} \left( \frac{100}{100 - W_{\text{вуг}}} \right)}{Q_{\text{н торф}}^{\text{р}} m_{\text{торф}}} 100 = \frac{17,29 \cdot 0,09382 \left( \frac{100}{100 - 5,2} \right)}{11,49 \cdot 0,23446} 100 = 63,52 \%,$$

де  $m_{\text{торф}}$  – маса торф'яного зразка, кг;  $m_{\text{вуг}}$  – маса зразка отриманого торф'яного вугілля, кг;  $W_{\text{вуг}}$  – вологість отриманого торф'яного вугілля, %;  $Q_{\text{н вуг}}^{\text{р}}$  – нижча теплота згоряння отриманого торф'яного вугілля, МДж/кг;  $Q_{\text{н торф}}^{\text{р}} = 12,25$  МДж/кг – нижча теплота згоряння торфу.

Вміст фіксованого вуглецю на суху масу без золи розраховується:

$$C_{\text{фік}} = \sum_{i=1}^n \left( C_i \frac{100}{100 - W_i - A_i} \frac{m_i}{m_{\Sigma}} \right) = 94 \%,$$

де  $C_i$  – вміст вуглецю в  $i$  зразку вугілля, %;  $W_i$  – вміст води в  $i$  зразку вугілля, %;  $A_i$  – вміст золи в  $i$  зразку вугілля, %;  $m_i$  – маса зразка вугілля, кг;  $m_{\Sigma}$  – загальна маса усіх зразків вугілля, кг;  $n$  – кількість зразків.

### Висновки:

- експериментально досліджено динаміку виходу піролізного газу і напівкоксу з торфу в процесі його термообробки;
- у результаті піролізу можна отримати торф'яне вугілля з нижчою робочою теплотою згоряння 17,29 МДж/кг, тобто в 1,5 рази вищою ніж у торфу;
- вихід сухого торф'яного вугілля в перерахунку на суху масу торфу становить 51,05 %;
- вміст фіксованого вуглецю на суху масу без золи становить 94 %;
- хімічний ККД конверсії торфу у напівкокс або торф'яне вугілля становить 63,52 %.

### Список використаних джерел

1. Богданов Н. Н. Полукоксование и газификация торфа / Н. Н. Богданов. – М. : Госэнергоиздат, 1947. – 268 с.
2. Панов Е. Н. Комплекс сбора данных для высокотемпературных промышленных агрегатов / Е. Н. Панов, С. В. Лелека, М. В. Коржик // ПиКАД. – 2005. – № 2. – С. 28-30.
3. Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк ; відпов. ред. А. К. Шидловський. – К. : УЕЗ, 1998. – 506 с.
4. Bridgwater A. V. Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids / A. V. Bridgwater // Journal of Analytical and Applied Physics. – 1999. – Vol. 51 (1-2). – P. 3-22.
5. Родовища торфу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://plast.vn.ua/0104\\_5.html](http://plast.vn.ua/0104_5.html).
6. Физические величины : справочник / под ред. И. С. Григорьева. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
7. Краснощеков Е. А. Задачник по теплопередаче : учеб. пособие / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел. – М. : Энергия, 1969. – 264 с.

8. ООО Строй Неруд. Образование торфа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.nerud-m.ru>.

9. A New  $k-\varepsilon$  Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows - Model Development and Validation / T.-H. Shih, W. W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, J. Zhu // Computers Fluids. – 1995. – Vol. 24. – No. 3. – P. 227-238.

10. Poinso T. Theoretical and numerical combustion / Thierry Poinso, Denis Veynante. – 2nd ed. – Philadelphia : Edwards, 2005. – 522 p.

11. Magnussen B. F. On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion / B. F. Magnussen, B. H. Hjertager // In 16th Symp. (Int'l.) on Combustion. The Combustion Institute. – Pittsburgh, 1976. – P. 719-727.

12. Коринчук Д. М. Исследование массовой теплоты сгорания и зольности композиционных торфяных брикетов / Д. М. Коринчук, Ю. Ф. Снежкин, В. А. Михайлик // Возобновляемая энергетика. – 2008. – № 3. – С. 76-82.

13. Коринчук Д. М. Исследование структурно-механических свойств композиционных брикетов на торфяной основе с использованием органических бытовых отходов / Д. М. Коринчук, В. А. Михайлик, К. О. Коринчук // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 7. – С. 53-58.