

## ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.314

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/25>

**Усенко А.Ю.**

Національна металургійна академія України

**Федоров С.С.**

Національна металургійна академія України

**Форись С.М.**

Національна металургійна академія України

**Перерва В.Я.**

Національна металургійна академія України

**Губинський М.В.**

Національна металургійна академія України

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВУГЛЕЦЕВОЇ СИРОВИНИ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ У ЗВАЖЕНОМУ ШАРІ**

*У статті представлено математичну модель процесу піролізу вуглецевої сировини біологічного походження у зваженому шарі потоку гарячого повітря, що дозволяє враховувати: співвідношення витрат гарячого повітря і біомаси, вихідну температуру гарячого повітря, вологість біомаси, вид використаної біомаси, тривалість обробки. У результаті розрахунків визначено границі можливих параметрів реалізації процесу піролізу і конструктивних розмірів установки для його реалізації.*

*Розроблено й адаптовано до реальних умов математичну модель процесу термічної обробки біомаси в потоці гарячого повітря, що забезпечує визначення температур газозвеси з похибкою до 15%. Модель використано для дослідження першої стадії процесу піролізу дрібнодисперсних відходів біомаси у зваженому шарі і враховує теплообмін між частинками біомаси і повітрям, розкладання біомаси та її сушку.*

*На підставі чисельних досліджень нагріву відходів біомаси у зваженому шарі з низхідним і висхідним рухами газозвеси визначено вплив температури повітря, його швидкості, питомої витрати біомаси, довжини робочої камери на процес піролізу різних видів біомаси.*

*Зокрема, встановлено: нагрів біомаси проводиться за режимами, відмінними від рівноважного стану, при цьому основний вплив на кінцевий результат надає тривалість обробки, що визначається швидкістю потоку, довжиною піролізера і співвідношенням витратних теплосмностей повітря і біомаси; збільшення відношення витратних теплосмностей біомаси і повітря в досліджених діапазонах параметрів призводить до збільшення тривалості перебування відходів в установці до 10% і відповідного підвищення температури нагріву; ступінь розкладання відходів біомаси у зваженому шарі становить  $5 \div 6\%$ , завершення процесу піролізу відбувається в бункері коксового залишку в цільному шарі.*

*Отримано регресійні моделі, що дозволяють визначати температуру нагрівання біомаси в залежності від довжини піролізера, швидкості потоку, питомої витрати біомаси, температури повітря для двох схем реалізації процесу – з висхідним і низхідним потоками для трьох видів відходів біомаси. Коефіцієнт детермінації залежностей становить  $R^2 > 0,9$ .*

**Ключові слова:** вуглецева сировина, біомаса, піроліз, зважений шар, процес термічної обробки, кінетичні залежності, рівняння теплового балансу, рівняння збереження енергії, схеми висхідного і низхідного потоків.

**Постановка проблеми.** Натепер у паливно-енергетичному комплексі України спостерігається криза, що зумовлена обмеженістю запасів основних видів палива і значним зростанням цін на енергоносії, зокрема природного газу.

Водночас загрозливих розмірів досягло забруднення навколишнього середовища. Це, крім погіршення екологічної обстановки в цілому, тягне за собою посилення дії парникового ефекту, викликаного підвищеною концентрацією парникових газів в атмосфері, що виділяються під час спалювання традиційного викопного палива.

Реальні шляхи вирішення вищевказаних проблем – енергозбереження та заміна викопного палива на нетрадиційні джерела енергії, такі як, наприклад, біомаса (вуглецева сировина біологічного походження), що займає перше місце серед усіх видів поновлюваних джерел енергії, які використовуються тепер [1].

За кордоном питання використання відходів біомаси вирішуються шляхом виділення субсидій на будівництво енергетичних об'єктів, що використовують біомасу, а також введення «зелених» податків. В Україні реальна підтримка держави, незважаючи на багаторазове збільшення цін на енергоносії, натепер відсутня.

Основною причиною, яка стримує донедавна використання біомаси в енергетичних цілях в Україні, є те, що отримана в результаті переробки енергія має високу вартість. Тобто актуальним є пошук процесів і технологій, що відрізняються низькими капітальними та експлуатаційними витратами, а також низькою собівартістю одержуваної енергетичної продукції за рахунок виробництва супутніх продуктів.

До однієї з таких технологій відноситься процес окислювального піролізу, що дозволяє отримувати не тільки паливний газ з відносно високою теплою згорання, але й коксовий залишок, реалізація якого дозволяє істотно підвищити економічну ефективність пропонованого процесу. Цей процес і буде детально розглянуто в даній статті.

Таким чином, розроблення технології та проведення досліджень процесів переробки біомаси методом окислювального піролізу, з метою забезпечення енергетичних агрегатів дешевим і екологічно чистим паливом, натепер є дуже актуальним.

**Постановка завдання.** Мета статті – представити математичну модель процесу піролізу вуглецевої сировини біологічного походження у зваженому шарі потоку гарячого повітря.

На базі кафедри Енергетичних систем та енергоменеджменту Національної металургійної ака-

демії України (м. Дніпро) розроблена і досліджена технологія переробки дрібнодисперсних відходів біомаси в потоці гарячого повітря методом окислювального піролізу [2; 3].

Дослідна установка включає в себе ділянку газоповітряного тракту заданих діаметра і довжини, пристрій подачі біомаси і бункер коксового залишку. Повітря, попередньо підігрите до заданої температури в існуючому теплообміннику, надходить до піролізеру. Одночасно в установку шнеком подається біомаса.

Конструктивні розміри газоповітряного тракту, довжина і прохідний перетин повинні дозволити організувати нагрів біомаси в потоці гарячого повітря до температури початку піролізу в заданому діапазоні режимів роботи всієї установки.

Для розробки конструктивних і режимних параметрів установки по піролізу біомаси в потоці гарячого повітря необхідно мати уявлення про вплив на її роботу таких факторів, як: співвідношення витрат гарячого повітря і біомаси, початкова температура гарячого повітря, вид використовуваної біомаси, тривалість обробки. Поставлена задача вирішена шляхом математичного моделювання першої стадії процесу термічної обробки біомаси у зваженому шарі, в потоці гарячого повітря.

Здійснення цієї стадії передбачається безпосередньо в повітряному тракті піролізеру. Остаточне розкладання біомаси буде протікати в бункері коксового залишку, до якого біомаса, що частково розклаталася, буде надходити за температури, достатньої для реалізації автотермічного процесу розкладання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Авторами розроблено математичну модель процесу піролізу біомаси в потоці гарячого повітря. Дана модель може бути застосована для будь-яких дрібнодисперсних відходів та будь-якої вуглецевої сировини біологічного походження. У цій статті піддавалися моделюванню такі види відходів, як лузга соняшника, рисове та гречане лушпиння.

Оскільки відходи біомаси є полідисперсним матеріалом, у моделі враховано відмінності в геометричних розмірах, швидкості витання і відповідних показниках теплообміну для кожної фракції. При цьому нагрів, тривалість обробки і піроліз для кожної фракції розглядалися як незалежні процеси.

Процес термічної обробки відходів біомаси у зваженому шарі супроводжується зв'язаними процесами нагріву, сушки і піролізу. Тому математична модель включає опис усіх трьох процесів.

Математична модель, що описує процеси, які супроводжують піроліз біомаси в потоці гарячого повітря, включає в себе ряд рівнянь збереження маси й енергії, а також кінетики розкладання біомаси та її сушіння, а саме:

– рівняння теплового балансу для газу:

$$m_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot \left( \frac{dt_{\Gamma}}{dx} \right) = \sum_{i=1}^{i=n} q_{\Gamma-M,i} \cdot F_{\text{пир}} \cdot \beta_{\text{бм},i}, \quad (1)$$

де  $t_{\Gamma}$  – температури газової суміші повітря, вологи і летючих продуктів піролізу та біомаси відповідно, °С;  $m_{\Gamma}$  – масова витрата газу в піролізеру, кг/с;  $c_{\Gamma}$  – теплоємність газової суміші, кДж/(кг·К);  $F_{\text{пир}}$  – площа поперечного перетину піролізера, м<sup>2</sup>;  $q_{\Gamma-M,i} = \alpha_i \cdot (t_{\Gamma} - t_{\text{бм},i}) \cdot f_{\text{бм},i}$  – тепловий потік від газу до частинок біомаси для і-ої фракції;  $t_{\text{бм}}$  – температура і-ої фракції біомаси, °С;  $\alpha_i$  – коефіцієнт тепловіддачі від газу до поверхні частинок і-ої фракції біомаси, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $\beta_i$  – концентрація біомаси в одиниці об'єму, кг/м<sup>3</sup>;  $f_{\text{бм},i}$  – питома площа поверхні частинок і-ої фракції біомаси, м<sup>2</sup>/кг;  $i$  – номер фракції біомаси;

– рівняння теплового балансу для кожної фракції біомаси:

$$m_{\text{бм},i} \cdot (c_{\text{бм}} + W_i c_{\text{вл}}) \cdot \left( \frac{dt_{\text{бм},i}}{dx} \right) = (q_{\Gamma-M,i} + q_{\text{екз},i} - q_{\text{исп},i}) \cdot F_{\text{пир}} \cdot \beta_{\text{бм},i}, \quad (2)$$

де  $c_{\text{бм}}$ ,  $c_{\text{вл}}$  – теплоємності біомаси і вологи відповідно, кДж/кг·К;  $W_i$  – вологовміст і-ої фракції біомаси, кг/кг;

$m_{\text{бм},i}$  – витрата і-ої фракції біомаси на суху масу, кг/с;

$q_{\text{исп},i} = dW_i \cdot [r + c_{\text{пар}} \cdot (t_{\Gamma} - t_{\text{бм},i})]$  – витрати теплоти на випаровування вологи;  $r$  – теплота пароутворення, Дж/кг;  $c_{\text{пар}}$  – питома теплоємність пара, Дж/(кг·К);  $q_{\text{екз},i} = 0,05 \cdot Q_{\text{н,бм}}^p \cdot \frac{dm_{\text{лет},i}}{m_{\text{бм},i}^{\text{лет}}}$  – теплота екзотермічної реакції піролізу, Дж/кг;  $m_{\text{бм},i}^{\text{лет}}$  – вихідний вміст летючих в і-ої фракції біомаси, кг;  $dm_{\text{лет},i}$  – маса летючих, що виділилися в результаті піролізу, кг;  $Q_{\text{н,бм}}^p$  – теплота згорання біомаси, Дж/кг;

– рівняння збереження маси в кожній фракції біомаси:

$$dm_{\text{бм},i} = m_{\text{бм},i} \cdot dW_i + dm_{\text{лет},i}, \quad (3)$$

та всієї системи в цілому:

$$dm_{\Gamma} = \sum_{i=1}^{i=n} dm_{\text{бм},i}. \quad (4)$$

Тепловий ефект реакції піролізу  $q_{\text{екз},i}$  визначався виходячи з припущення про пропорційність теплового ефекту і маси виділених летючих продуктів піролізу. При цьому сумарна кількість виділеної теплоти під час піролізу прийнято рівним 5% від теплоти згорання біомаси. В основу розрахунку

виділення летючих продуктів у результаті піролізу покладена відома кінетична залежність [4], що заснована на однокомпонентній схемі розрахунку:

$$m_{\text{лет},i} = m_{\text{бм}}^{\text{лет}} \cdot (1 - e^{-\int k_i dt})^n, \quad (5)$$

де  $k_i = k_0 \cdot e^{-\frac{E_0}{R \cdot T_{\text{бм},i}}}$ ;

$K_0$  – передекспонентний множник, с<sup>-1</sup>;

$E_0$  – енергія активації, кДж/моль;

$R$  – універсальна газова постійна, кДж/(моль·град)

Змінення вологомисткості кожної фракції біомаси визначали виходячи зі швидкості сушіння відповідно до рекомендацій [5] по залежності:

$$\left( \frac{dW}{dt} \right) = V \cdot \left( \frac{W}{W_{\text{кр}}} \right)^n, \quad (6)$$

де  $V = \frac{\alpha_i \cdot (t_{\Gamma} - t_{\text{бм},i}) \cdot f_{\text{бм},i}}{r}$  – швидкість зміни вологомисткості в період постійної швидкості сушіння, кгвл/(кгБМ·с);

$W_{\text{кр}}$  – значення критичної вологості кгвл/кгбм.

Для вирішення системи рівнянь (1 ÷ 6) використана явна різницева схема по часу з ітераціями. Газовий тракт установки по всій довжині  $L$  умовно був поділений на елементарні ділянки рівної довжини  $\Delta x$ , кількість яких визначалася їх величиною. Довжина розрахункових ділянок вибиралася шляхом численних експериментів з умови підвищення точності моделі при дробленні кроку. Оптимальне значення  $\Delta x$  становило 5 мм.

Результати математичного моделювання представлені нижче.

Чисельні дослідження проводилися з метою визначення впливу на процес таких параметрів: витрата біомаси, витрата повітря, температура повітря на вході в камеру піролізу, тривалість обробки, яка визначалася довгою піролізера. Дослідження проводилися стосовно лузги соняшнику, рисового і гречаного лушпиння, для висхідного і низхідного варіантів реалізації процесу.

Під час розрахунку висхідної схеми дійсна швидкість повітряного потоку не змінювалася, а приймалася рівною швидкості переходу шару біомаси у зважений шар. Для лузги соняшника швидкість повітря становила 4,9 м/с, для рисового лушпиння – 3,0 м/с, для гречаного лушпиння – 3,5 м/с. Під час дослідження низхідного варіанту руху повітря і біомаси швидкість потоку повітря змінювалася в діапазоні 4,9 ÷ 1 м/с у залежності від виду відходів.

Результати досліджень показали, що температура нагріву біомаси з ростом швидкості пові-

тряного потоку знижується. Це пов'язано з тим, що тривалість процесу не дозволяє досягти рівноважного стану за теплообміну. Тому результат процесу нагріву багато в чому визначається динамічними характеристиками потоку й умовами теплообміну. Так, зі збільшенням швидкості потоку одночасно активізувалися конкуруючі фактори. З одного боку, спостерігалось зростання коефіцієнтів тепловіддачі пропорційно квадратному кореню швидкості, з іншого – знижувався час нагріву зворотно пропорційно швидкості в першому ступені. Таким чином, сумарний ефект приводив до зниження температури нагріву зі збільшенням швидкості потоку, що спрavedливо було для всіх трьох видів відходів (рис. 1).

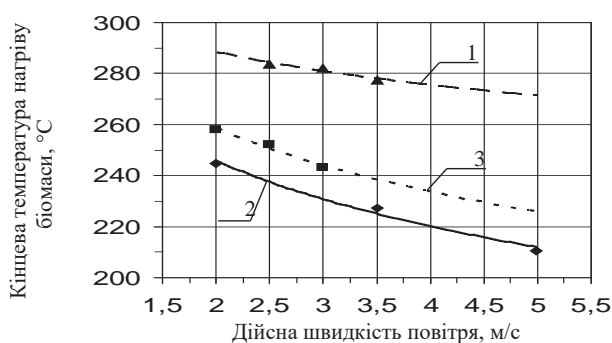


Рис. 1. Залежність температури нагріву біомаси від дійсної швидкості повітряного потоку: 1 – гречане лушпиння; 2 – лузга соняшника; 3 – рисове лушпиння

Тривалість обробки біомаси так само визначається довжиною камери піролізу й умовами теплообміну, що залежать від співвідношення видаткових теплоємностей біомаси і повітря, тобто від питомої витрати біомаси. Цей вплив пов'язано зі зміною швидкості потоку в залежності від зниження його температури. Кількісна величина цього впливу досить істотно позначається на кінцевому результаті нагрівання і становить до 11% (рис. 2).

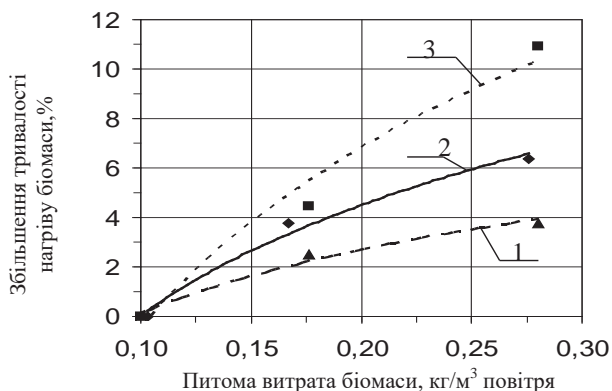


Рис. 2. Зростання тривалості нагріву, що викликано зміною питомої витрати біомаси: 1 – гречане лушпиння; 2 – лузга соняшника; 3 – рисове лушпиння

Вибрана модель передбачала незалежний нагрів різних фракцій біомаси. При цьому швидкість витання для кожної фракції враховувалася окремо. У зв'язку з цим час перебування кожної фракції в піролізері і коефіцієнти тепловіддачі від повітря до частинок для кожної фракції мали своє значення.

Різниця в температурах фракцій залежала від наближення режимів нагріву до рівноважного стану. Чим значніше була відмінність, тим інтенсивніше спостерігалась різниця в температурах фракцій. Кількісні значення різниці температур становили від 0,1% до 24%. При цьому тривалість обробки коливалася від 6% до 18%.

З метою дослідження впливу технологічних факторів на температуру нагріву біомаси були проведені чисельні дослідження з використанням повного факторного експерименту для двох можливих схем реалізації процесу (висхідний і низхідний потоки). Результати розрахунків використані для побудови регресійних залежностей. Це середня температура біомаси  $t_{BM}$  як функція температури повітря на вході в піролізер  $t_{ВОЗ}$ , питомої витрати біомаси  $M_{BM}$ , дійсної швидкості повітря  $W_{ВОЗ}$ , довжини піролізеру  $L_{ПІР}$ .

У результаті такого дослідження ряд параметрів було виведено з моделей і остаточно регресійні залежності прийняли такий вигляд:

– для схеми висхідного потоку:

$$t_{BM} = a_0 + a_1 \cdot t_{ВОЗ} + a_2 \cdot M_{BM} + a_3 \cdot L_{ПІР} \quad (7)$$

– для схеми низхідного потоку:

$$t_{BM} = a_0 + a_1 \cdot t_{ВОЗ} + a_2 \cdot M_{BM} + a_3 \cdot L_{ПІР} + a_4 \cdot W_{ВОЗ} + a_5 \cdot M_{BM}^2 + a_6 \cdot L_{ПІР}^2 \quad (8)$$

Чисельні значення коефіцієнтів регресії наведено в таблиці 1. Коефіцієнт детермінації для обох схем перевищує значення 0,9, тобто можна говорити про те, що з імовірністю більше 90% зміна незалежних параметрів призводить до відповідної зміни температури біомаси. Величина стандартної помилки, що віднесена до оцінки математичного очікування вибірки, коливається від 2,5% до 4,5%.

Отримані залежності використані для розробки конструкції і режимів роботи дослідної установки для термічної обробки біомаси.

Отримані дані дозволили визначити один з основних параметрів піролізеру – його довжину – у залежності від питомої витрати біомаси і дійсної швидкості повітряного потоку. При цьому розрахунки проводилися для температур повітря 350 °C та 400 °C. Як вихідний

параметр визначалася довжина піролізу, що забезпечує нагрів біомаси до 270 °С. У результаті численних досліджень отримані такі регресійні залежності:

$$L_{\text{ПІР}} = b_0 + b_1 \cdot M_{\text{БМ}} + b_2 \cdot W_{\text{БМ}} + b_3 \cdot M_{\text{БМ}}^2 + b_4 \cdot W_{\text{ПІР}}^2 \quad (9)$$

Чисельні значення коефіцієнтів регресії наведено в таблиці 2.

**Висновки.** Таким чином, на основі результатів численних досліджень можна зробити певні висновки.

Для практичної реалізації процесу може бути рекомендована низхідна схема руху повітря і біомаси. У цьому випадку частинки біомаси з потоком нагрітого повітря рухаються вниз по камері витання, що забезпечує прямоточний рух газозвеси незалежно від швидкості повітря. При цьому повністю виключається можливість загоряння відходів, що мало місце в результаті ек-

периментальних досліджень під час реалізації висхідного потоку [6].

Також за умови руху відходів вниз камери піролізу швидкість повітря може бути значно нижче (1 ÷ 3 м/с), що дозволить збільшити час теплової обробки в камері піролізу й тим самим знизити початкову температуру повітря.

У результаті визначені області можливих параметрів реалізації процесу піролізу біомаси в потоці гарячого повітря і конструктивних розмірів установки для його реалізації. Можливі режими представлені в таблиці 3.

Реалізація такого процесу забезпечить нагрів біомаси до температури 270 °С зі ступенем розкладання біомаси в потоці до 5 ÷ 6%. Основний процес піролізу здійснюється в другій стадії, під час обробки в щільному шарі після поділу повітряного потоку і біомаси, де реалізується автотермічний процес розкладання відходів [2; 3].

Таблиця 1

Чисельні значення коефіцієнтів регресійних залежностей температури нагріву біомаси (7) і (8)

Вид відходів	Тип схеми	Значення коефіцієнтів регресійних залежностей						
		a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>
Лузга соняшника	Висхідний потік	0,602	- 123	-14,4	10,51	-	-	-
	Низхідний потік	- 68,5	0,673	- 92,8	-15,3	-92	23,9	- 0,94
Рисове лушпиння	Висхідний потік	-	0,191	- 260	3,267	-	-	-
	Низхідний потік	- 96,3	0,73	- 198	27,68	-	-	- 1,27
Гречане лушпиння	Висхідний потік	- 63,1	0,98	- 184	7,27			
	Низхідний потік	-	0,67	-	5,75	-18,9	-	0,42

Таблиця 2

Чисельні значення коефіцієнтів регресійних залежностей довжини піролізної труби (9)

Вид відходів	Початкова температура повітря, °С	Значення коефіцієнтів регресійних залежностей				
		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>
Лузга соняшника	350	3,34	7,21	0,57	0,045	-
	400	-	- 8,93	3,10	85,53	- 0,24
Рисове лушпиння	350	- 1,59	- 10,77	4,99	87,95	- 0,61
	400	-	- 8,71	3,59	78,28	- 0,32
Гречане лушпиння	350	-	10,87	2,25	7,66	-
	400	4,17	3,35	- 0,85	-	0,45

Таблиця 3

Області можливих параметрів процесу окислювального піролізу

Параметр	Вид відходів біомаси		
	Лузга соняшника	Рисове лушпиння	Гречане лушпиння
Довжина піролізу, м	4,50–13,00	3,50–9,50	4,00–10,00
Питома витрата біомаси, кг/кг	0,02–0,30	0,10–0,53	0,09–0,53
Дійсна швидкість повітря, м/с	1,22–4,47	1,00–3,00	1,00–3,00
Схема руху потоку	Низхідна	Низхідна	Низхідна
Початкова температура повітря, °С	350–400 °С	350–400 °С	350–400 °С

## Список літератури:

1. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Марценюк З.А. Концепция развития биоэнергетики в Украине. *Промышленная теплотехника*. 1999. Т. 21. № 6. С. 94–102.
2. Спосіб переробки відходів біомаси: деклараційний патент на винахід № 47212А від 17.06.2002 р.; МПК 7 F23G7/00 / М.В. Губинський. Український інститут промислової власності.
3. Спосіб термічної переробки відходів біомаси: деклараційного патент на корисну модель № 14328 від 15.05.2006 р.; МПК (2006) F23G7/00. Національна металургійна академія України. Український інститут промислової власності.
4. Основы практической теории горения : учебное пособие для вузов / В.В. Померанцев и др. ; под ред. В.В. Померанцева. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 312 с.
5. Шрайбер А.А., Глянченко В.Д. Термическая обработка полидисперсных материалов в двухфазном потоке. Киев : Наукова думка, 1976.
6. Усенко А.Ю., Грек А.С., Шишко Ю.В. Экспериментальные исследования пиролиза биомассы в потоке горячего воздуха. *Металлургическая теплотехника* : сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины : в двух книгах. Днепропетровск : Пороги, 2005. Книга первая. 468 с. С. 423–431.

**Usenko A.Yu., Fedorov S.S., Foris S.M., Pererva V. Ya., Hubynskiy M.V. INVESTIGATION OF HEAT TREATMENT OF BIOMASS DERIVED CARBON MATERIALS IN SUSPENDED FLOW**

*The article presents a mathematical model, simulating the process of pyrolysis in a suspended flow of hot air; a thermal treatment technology which can be applied for various fine carbon materials of biological origin. The model takes into account: the gas media and material ratio, gas temperature, initial moisture content in material, kind of material and processing time. The set of mathematical equations also includes heat transfer between material particles and air; material drying and decomposition.*

*The developed model of the process is adapted in accordance to real conditions of biomass wastes heating and thermal decomposition in an experimental unit with accuracy of the gas temperature determination of up to 15%.*

*As a result of the performed calculations, the limits of possible parameters providing pyrolysis realization and dimensions of different units are determined. Based on the numerical study of biomass wastes heating in a suspended flow of the hot air with downstream and upstream flow of gas media, the influence of biomass type, air temperature, its velocity, specific heat capacity, unit length on the pyrolysis process is determined.*

*In particular, it is established: heating of biomass is carried out at modes which significantly differ from equilibrium. The crucial impact on process performance is provided by its duration depending on the flow rates, unit length, and agent's heat capacity ratio. At studied modes, increase in the last one results in respective increase in the duration of waste transformation up to 10% and a corresponding increase in operating temperature.*

*According to the results, the degree of biomass decomposition in a suspended flow constitutes 5 ÷ 6%. Further development of the pyrolysis occurs in a hopper of coke residue.*

*On the basis of simulation, the regression models of the dependence of were the operating temperature on the unit's length, flow rates, specific heat capacity and gas temperature are determined.*

**Key words:** carbon material, biomass, pyrolysis, suspended flow, heat treatment.