

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБЛЕННЯ СИНТЕЗ-ГАЗУ ДЛЯ РІЗНИХ ПОРІД ДЕРЕВИНИ В ГАЗОГЕНЕРАТОРІ З СУЦІЛЬНИМ ШАРОМ

Розроблено математичні моделі процесу вироблення синтез-газу для різних порід подрібненої деревини у газифікаторі з суцільним шаром. Здійснено пошук оптимального рішення, тобто знаходження таких значень факторів у межах діапазону їх зміни, за яких вихідний параметр досягає максимуму на основі рівняння регресії. Ця модель дає змогу отримати детальну інформацію про нижчу теплоту згорання синтез-газу залежно від вхідних факторів, які впливають на процес газифікації. При цьому можливе істотне скорочення значних коштів та ресурсів, що витрачаються для отримання необхідної інформації від проведення експериментальних досліджень.

На сьогодні розроблені та висвітлені в літературних джерелах та наукових статтях математичні моделі процесу газифікації деревини, які дають змогу побудувати методику розрахунку параметрів робочого процесу в газифікаторі, засновану на рівняннях теплового і матеріального балансів, вигорання і газифікації вуглецю, а також теплообміну часток з шаром із стінкою реактора [4].

Математичне моделювання процесу газифікації деревини сприяє підвищенню екологічних показників процесу, скороченню термінів розробки апаратів, модернізації існуючих інженерних методів розрахунку та проектування обладнання, пошуку оптимальних умов функціонування апаратів та раціональних шляхів використання палива [2].

Для технологічного процесу вироблення синтез-газу розроблено газогенератор з суцільним шаром (рис. 1), на який отримано патент [5] та виконано комплекс досліджень з використанням сучасної методології та досягнень сучасної науки і техніки.

Газогенератор працює так. У камеру піролізу 4 (рис. 1) завантажуються паливо (подрібнені відходи деревини, та ін.) через отвір 8. Газифікація палива відбувається шляхом його тління за браку кисню для горіння. Для забезпечення процесу газифікації палива нагнітається повітря через колосникову решітку 6 в камеру піролізу 4. Синтез-газ, який утворюється в процесі газифікації, спрямовується в міжконусний простір 13, і виходить через патрубок у верхній частині газогенератора і рухається по трубі 9, яка знаходиться в кожусі 11, по якому надходить повітря в нижній міжконусний простір 14. Така конструкція труби дає змогу нагрівати повітря, яке нагнітається, в камеру піролізу і одночасно охолоджувати синтез-газ. У нижній частині корпусу газогенератора 2 передбачено золоуловлювальний пристрій 14 з люком 15 для видалення золи і запалювання палива за допомогою смолоскипа.

Оригінальність конструкції полягає в тому, що камеру піролізу виконано у вигляді двох зрізаних конусів, більші основи яких розміщені назустріч один одному, що виключає зависання палива і його винос у патрубок у верхній частині газогенератора; пристрій для подачі окислювача-повітря, від

¹ Наук. керівник: проф. В.В. Шостак, д-р техн. наук – НЛТУ України

нагнітача, виконано з кожухом, всередині якого встановлено трубу для відведення синтез-газу з верхньої частини корпусу до споживача та для зливу сконденсованих речовин, що дає змогу нагрівати повітря, яке нагнітається в камеру піролізу, і охолоджувати синтез-газ; зрізані конуси корпусу з'єднані болтами, що забезпечує простоту в обслуговуванні.

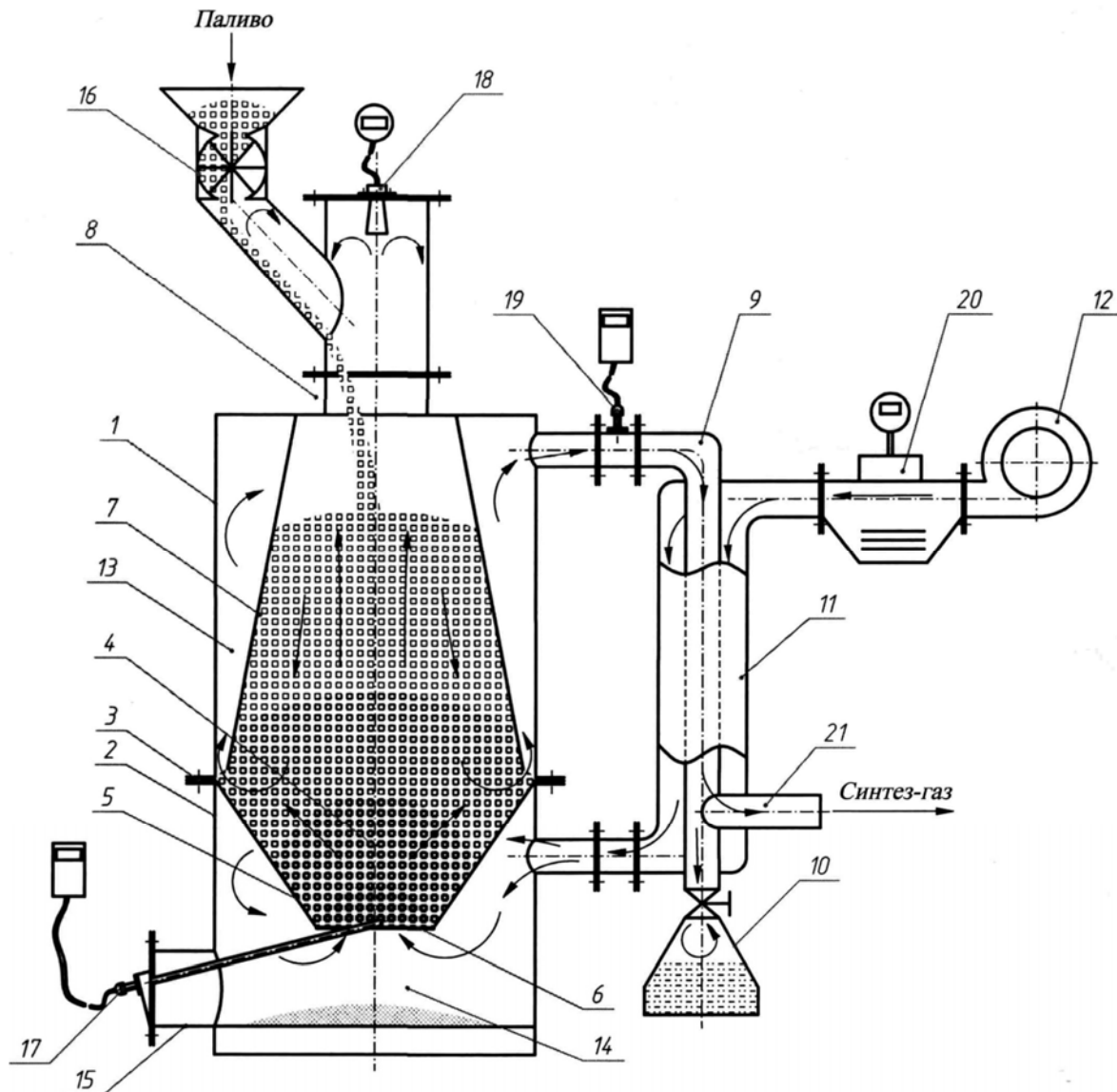


Рис. 1. Конструктивна схема лабораторної газогенераторної установки: корпус – 1,2; болтове з'єднання – 3; камера газифікації – 4; нижній зрізаний конус – 5; колосникова решітка – 6; верхній зрізаний конус – 7; люк – 8; труба для відведення синтез-газу – 9; відстійник сконденсованих речовин – 10, кожух для охолодження синтез-газу – 11; нагнітач повітря – 12; міжконусний простір – 13; золоуловлювальний пристрій – 14; люк для видалення золи та запалювання палива – 15; шлюзовий затвор – 16; термометр – 17; радарний мікрохвильовий рівнемір – 18; термометр – 19; витратомір повітря – 20; патрубок для відведення синтез-газу споживачеві – 21

У процесі проведення експериментальних досліджень використовували деревину різних порід: вербу (*Salix alba* L.) вологістю 41 %, сосну (*Pinus sylvestris*) вологістю 43 %, березу (*Betula pendula* Roth.) вологістю 40 %, частинки якої попередньо нарізали відповідними довжинами 1.

Вплив вологості на процес газифікації деревини не досліджувався оскільки це питання достатньо описане в літературних джерелах (чим більша вологість деревини, тим менша теплота згорання синтез-газу). Газифікують деревину вологістю до 60 %.

Змінні вхідні x_i -фактори експериментальних досліджень процесу газифікації деревини:

- розміри фракцій деревини l : 10, 20, 30, 40, 50 мм;
- кількість повітря, яку подають у газогенератор G : 40, 65, 90 нм³/год.;
- кількість деревини в газогенераторі від загального об'єму q : 50, 75, 100 %.

Вихідний параметр y – нижча теплота згорання синтез-газу, МДж/м³.

Постановка завдання. Завдання полягає в знаходженні залежності нижчої теплоти згорання синтез-газу від розмірів подрібненої деревини, яка подається в газогенератор, кількості повітря та кількості палива від загального об'єму реактора.

Дані кожного досліду піддавались попередньо статистичній обробці з метою відшукування грубих помилок, сумнівні результати, крім цього, перевіряли за допомогою t -критерію Стьюдента.

Як план експерименту для дослідження впливу розмірів деревини, кількості повітря, яке подається, та кількості палива в реакторі газогенератора на нижчу теплоту згорання синтез-газу було застосовано В-план (B_3).

Рівняння регресії, яке можна отримати внаслідок реалізації планів другого порядку, тобто плану, за допомогою якого можна отримати математичний опис об'єктів у вигляді поліному другого порядку, має вигляд:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} x_i x_j.$$

де: x – змінні фактори; b – коефіцієнти рівняння; k – кількість змінних факторів.

Після оброблення експериментальних даних і отримання рівняння регресії, приступили до їх статистичного аналізу. При цьому вирішували два основних завдання: оцінювали значущість коефіцієнтів регресії і перевіряли адекватність математичної моделі [2].

Результати розрахунку B_3 -плану

Табл. 1. Рівні й інтервали змінювання факторів

Назва фактора	Позначення фактора		Рівні змінювання фактора			Інтервал змінювання фактора
	натуральне	нормалізоване	нижній (-1)	основний (0)	верхній (+1)	
Розміри деревини, мм	l	x_1	10	30	50	20
Кількість повітря, нм ³ /год.	G	x_2	40	65	90	25
Кількість палива в реакторі газогенератора, %	q	x_3	50	75	100	25

Табл. 2. Розрахунок коефіцієнтів регресії b_{ij} , критерію Кохрена G_p та критерію Фішера F_p [1, 2] для соснової деревини

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{12}	b_{13}	b_{23}	G_T	G_p	F_T	F_p
9,73	0,87	0,14	0,11	-1,50	-0,52	-0,27	-0,02	-0,01	0,02	0,48	0,095	2,5027	0,2554

Внаслідок реалізації В₃-плану отримано математичний опис об'єкта у вигляді поліному другого порядку, який має вигляд:

$$y = 9.73 + 0.87 \cdot x_1 + 0.14 \cdot x_2 + 0.11 \cdot x_3 - 1.50 \cdot x_1^2 - 0.52 \cdot x_2^2 - 0.27 \cdot x_3^2 - 0.02 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.01 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0.02 \cdot x_2 \cdot x_3$$

З табл. 3 видно, що $G_p \leq G_t$, то досліди можна вважати відтворюваними. Якщо $f_p \leq F_t$, то модель вважають адекватною і її може бути використано для опису об'єкта [1-3].

Виконавши оптимізацію результатів В₃-плану [1-3] для соснової деревини, отримаємо значення вхідних параметрів, за яких нижча теплота згорання досягає максимуму (табл. 3).

Табл. 3. Значення вхідних параметрів, за яких нижча теплота згорання досягає максимуму

Оптимізація		
Фактор	кодовані значення факторів	натуральні значення факторів
X ₁ опт.	0,287	35,741 мм
X ₂ опт.	0,138	68,451 нм ³ /год.
X ₃ опт.	0,199	79,986 %
Y ^p опт.	9,877 МДж/м ³	

Аналогічні розрахунки В₃-плану виконано для інших порід деревини, результати яких наведено нижче.

$$y = 9.6 + 0.85 \cdot x_1 + 0.16 \cdot x_2 + 0.11 \cdot x_3 - 1.50 \cdot x_1^2 - 0.5 \cdot x_2^2 - 0.23 \cdot x_3^2 - 0.04 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0.01 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0.01 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Табл. 4. Результати реалізації В₃-плану для вербової деревини

Оптимізація		
Фактор	кодовані значення факторів	натуральні значення факторів
X ₁ опт.	0,281	35,628 мм
X ₂ опт.	0,146	68,657 нм ³ /год.
X ₃ опт.	0,238	80,971 %
Y ^p опт.	9,745 МДж/м ³	

$$y = 9.91 + 0.86 \cdot x_1 + 0.14 \cdot x_2 + 0.11 \cdot x_3 - 1.50 \cdot x_1^2 - 0.51 \cdot x_2^2 - 0.26 \cdot x_3^2 - 0.02 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.01 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0.03 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Табл. 5. Результати реалізації В₃-плану для березової деревини

Оптимізація		
Фактор	кодовані значення факторів	натуральні значення факторів
X ₁ опт.	0,284	35,681 мм
X ₂ опт.	0,142	68,560 нм ³ /год.
X ₃ опт.	0,214	80,368 %
Y ^p опт.	10,058 МДж/м ³	

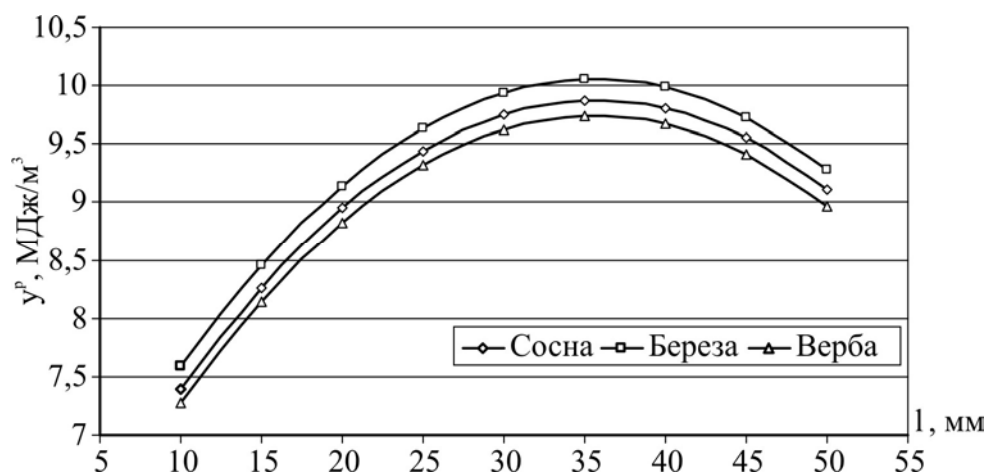


Рис. 2. Залежність (y^p) нижчої теплоти згорання синтез-газу, визначеної за рівнянням регресії, від розмірів деревини (l) за середніх оптимальних значень кількості повітря ($G_{c.opt.}=70\text{м}^3/\text{год.}$) та кількості деревини в реакторі газогенератора ($q_{c.opt.}=80\%$) для різних порід деревини.

Висновки. Оптимальні параметри роботи газогенератора практично однакові для різних порід деревини. Максимальна нижча теплотворна здатність синтез-газу за відповідних оптимальних вхідних параметрів змінюється на $\approx 0,2$ МДж/м³ залежно від породи деревини, яка газифікується, так $y^p_{\text{сосна}} = 9,877$ МДж/м³, $y^p_{\text{верба}} = 9,745$ МДж/м³, $y^p_{\text{береза}} = 10,058$ МДж/м³.

Література

1. Грицак С.А. Наукові дослідження в деревообробці : методичні вказівки / С.А. Грицак, О.А. Кійко, А.С. Кушніт. – Львів : НЛТУ України, 2002. – 24 с.
2. Пилипчук М.І. Основи наукових досліджень : підручник / Пилипчук М.І., Григор'єв А.С., Шостак В.В. – Львів : Вид-во "Знання". – 2007. – 234 с.
3. Пилипчук М.І. Основи наукових досліджень : лабораторний практикум / Пилипчук М.І., Григор'єв А.С., Павлюк Р.В. – Львів : Вид-во "Знання". – 2004. – 642 с.
4. Баштовой А.И. Математическое моделирование процесса газификации древесины // Промышленная теплотехника / А.И. Баштовой, Е.В. Складенко, 2006. – Т. 28. – № 6. – С. 71-77.
5. Патент України "Газогенератор" [а.с. України № 38952, МКП С10J 3/00, надруковано 26.01.2009 р.].

Лыс С.С. Математическое моделирование процесса выработки синтез-газа для разных пород древесины в газогенераторе со сплошным слоем

Разработаны математические модели процесса выработки синтез-газа для разных пород измельченной древесины в газификаторе со сплошным слоем. Проведен поиск оптимального решения, то есть нахождение таких значений факторов в пределах диапазона их изменения, при которых исходный параметр достигает максимума на основе уравнения регрессии. Данная модель позволяет получить детальную информацию о низшей теплоте сгорания газа синтеза в зависимости от входных факторов, которые влияют на процесс газификации. При этом возможно существенное сокращение значительных средств и ресурсов, которые тратятся при получении необходимой информации от проведения экспериментальных исследований.

Lys S.S. Mathematical model of process of making of synthesis gas for the different breeds of wood in a gazogene with a continuous layer

The mathematical models of process of making of synthesis gas are worked out for the different breeds of wood in a gazogene with a continuous layer. The search of optimal decision is conducted, id est being of such values of factors within the limits of range their

changes at which an initial parameter arrives at a maximum on the basis of equalization of regression. Model allows to get the detailed information about quality of synthesis-gas depending on entrance factors which influence on the process of gasification. Substantial reduction of considerable money and resources which are spent at the receipt of necessary information from realization of experimental researches is possible.

УДК 332.64

Студ. М.Т. Матвієнко;

доц. В.П. Оліферчук, канд. біол. наук – НЛТУ України, м. Львів

РОЛЬ МІКРОФЛОРИ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕСІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТАНОУТВОРЕННЯ

Із біогазової установки було виділено три штами метанотвірних бактерій. Створена на їх основі асоціація підвищила ефективність метаноутворення та скоротила час виділення біогазу. Сформована асоціація рекомендується для застосування в метантенках з різним субстратом.

Ключові слова: асоціація мікроорганізмів, біогаз, метантенк, ферментація.

Стан питання. Інтерес до проблеми надмірного нагромадження відходів, зважаючи на можливості їх повторного використання, останнім часом значно зріс у зв'язку з впровадженням екологічних біотехнологій та світовою енергокризою. Тому питання біотрансформації органічного складника відходів є актуальним та має теоретичне і практичне значення [1, 2]. Проблема біоконверсії відходів анаеробними мікроорганізмами пов'язана також з потребою захисту навколишнього природного середовища від забруднень [3]. Сировиною для перероблення в анаеробних умовах можуть слугувати побутові відходи та стоки, відходи сільськогосподарського виробництва та інших галузей, які містять органічний складник [4]. Біоконверсія органічних відходів різного походження дає змогу одержати корисні продукти – біопаливо, біогаз, екологічно чисті добрива, органічні кислоти, промислово важливі ферменти [5]. Анаеробну деградацію біополімерів здійснює багатовидова мікробна асоціація, яка об'єднується міцними трофічними зв'язками. Обов'язковими компонентами асоціації є первинні анаероби гідролітичної мікрофлори (гідролізують біополімери), бродильної мікрофлори (зброджують молекули мономерів), ацетогенної мікрофлори (перетворюють різноманітні продукти бродіння в субстрати метаногенезу) і вторинні анаероби – метанотвірні археї [6].

Методика досліджень. Було виконано дослідження мікрофлори біогазової установки, наповненої мулом з очисних споруд м. Львова [7]. Виявилось, що в установці сформувалась стійка асоціація метанотвірних та целюлолітичних бактерій. Тут є висока концентрація органічних речовин, відносно швидке споживання кисню і постійна температура. Ці умови і спричинили масовий розвиток усіх організмів ланцюга анаеробного розкладання органічних речовин, включаючи метаногени, що трансформують C_1 – C_2 органічні сполуки, целюлозу, гній і послід у біопаливо.

Вирощували виділені археї на середовищі: "Р" з водень – вуглекислою сумішшю + намул, відібраний на очисних спорудах м. Львова. Активне газоутворення (CH_4 , H_2 , CO_2) спостерігали у дослідних зразках мулу метантенка