

*В статті проведений аналіз процесу газифікації твердих палив. Наведено недоліки та переваги процесу, використання отриманого синтез-газу, класифікація способів та обладнання. Виконаний огляд технологій газифікації та визначено найменш досліджені. Зазначені недоліки та переваги процесу в вихровому апараті та сформовані задачі для подальшого дослідження*

*Ключові слова: газифікація, газогенератор, вихровий апарат, синтез-газ, газифікуючий агент, леткі компоненти, дрібнодисперсні матеріали, конверсія вуглецю*

*В статье проведен анализ процесса газификации твердых топлив. Приведены недостатки и преимущества процесса, использование полученного синтез-газа, классификация способов и оборудования. Выполнен обзор технологий газификации и определены наименее исследованные. Указанные недостатки и преимущества процесса в вихровом аппарате и сформированы задачи для дальнейшего исследования*

*Ключевые слова: газификация, газогенератор, вихровой аппарат, синтез-газ, газифицирующий агент, летучие компоненты, мелкодисперсные материалы, конверсия углерода*

# ГАЗИФІКАЦІЯ В ВИХРОВИХ АПАРАТАХ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК РОЗВИТКУ ГАЗОГЕНЕРАТОРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**О. А. Негода**

Інженер I категорії\*

**В. В. Собченко**

Кандидат технічних наук, заступник директора\*

**О. Г. Орайло**

Інженер I категорії\*

\*Інститут газу НАН України

вул. Дегтярівська, 39, м. Київ, Україна, 03113

## 1. Вступ

Останнім часом в нашій країні склалась досить непроста ситуація з основним паливним ресурсом – газом. Тому гостро постало питання про зменшення залежності від нього та збільшення в загальному обсязі енергоносіїв частини твердого вітчизняного палива.

Перспективним для використання, є вугілля, запаси якого є найбільшими. Також останнім часом збільшуються об'єми використання інших палив органічного походження, таких як біомаса, торф та інші. На багатьох підприємствах харчової та деревообробної промисловості накопичуються відходи дрібнодисперсних матеріалів з теплою спалювання 8-16 МДж/кг.

Технології прямого спалювання таких матеріалів досить негативно впливають на навколишнє середовище, яке й так знаходиться в досить скрутному становищі. Тому для раціонального використання цих видів палива необхідна розробка нових екологічно чистих та економічно доцільних технологій. Однією з таких є газифікація.

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Газифікація – термохімічний процес взаємодії вуглецю палива з окислювачами, що проводиться з метою отримання горючих газів ( $H_2$ , CO). В якості окислювачів, які іноді називають газифікуючими агентами, використовують кисень (або збагачене ним повітря), водяну пару, діоксид вуглецю або суміші зазначених речовин.

В залежності від співвідношення вихідних реагентів, температури, тривалості реакції та інших факторів можна отримувати газові суміші різного складу. Проходить процес в апаратах, які називаються газогенераторами, а отриманий газ називається генераторним або синтез-газом [1].

Перше повідомлення про отримання горючого газу з вугілля зробив в 1609 р. Джон Ван Хельмонт з Брюсселю. Перший патент на спосіб газифікації вугілля був виданий в 1788 р. Роберту Гарднеру. В СРСР до 1958 р. діяло біля 2500 газогенераторів різних типів і перероблювалось більше 15 млн. т вугілля на рік [2]. Проте на початку 60-х років інтерес до процесу газифікації почав різко падати у зв'язку з розробкою нових родовищ газу та дешевої нафти на Близькому Сході та Західній Сибірі. Однак енергетичні кризи 1970-1990 років змусили знову згадати про газифікацію і зайнятись розробкою нових технологій.

Генераторний газ може використовуватись в широкому діапазоні: в якості палива для отримання теплової енергії в різноманітних процесах промисловості та побуту, сировини для отримання водню, аміаку, метилового спирту та синтетичних рідких палив (бензинів та дизельного палива), як відновлювач в металургійних процесах прямого відновлення заліза та інших металів [1, 3].

В якості вихідної сировини для газифікації можуть виступати практично всі матеріали природного та техногенного походження, які мають в своєму складі вуглець [4]:

- горючі корисні копалини (чорне та буре вугілля, торф);

- біомаса, в тому числі спеціально вирощена (тирса, солома);
- відходи виробництв та побутові відходи.

Перевагами газифікації в порівнянні з прямим спалюванням твердого палива є утворення набагато менших об'ємів газів, що потребують очистки, недопал матеріалу майже відсутній, так як рівень конверсії вуглецю досягає майже 100%. Крім того, в результаті більш повного спалювання газоподібного палива утворюється значно менша кількість шкідливих хімічних сполук (як в димових газах так і в золі), які потрібно очищати [5].

До того ж, отриманий газ легше доставляти до споживача (не потрібно транспортувати баластні залишки) та очищати (завдяки холодній очистці).

Але однією з найважливіших переваг є дуже низький рівень негативного впливу на навколишнє середовище через малий вміст (в порівнянні з технологіями прямого спалювання)  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}$  та пилу [3, 5].

Хоча цей процес, як і всі, має недоліки, основні з яких: більш висока капіталоємність основних процесів та значні витрати на очистку газу від шкідливих домішок, повне спалювання частини палива для підтримання реакції, висока енергоємність та низька ступінь використання вторинних енергоресурсів, необхідність виділення та утилізації побічних продуктів (первинні смоли) [3, 6].

### 3. Класифікація технологій газифікації

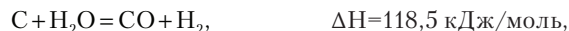
Технології газифікації можна класифікувати за багатьма факторами: конструкційними особливостями реакційної зони, характером руху газифікуючого палива, типу дуття, теплоті згорання отриманого палива, способу підведення тепла, призначенням газу, способом видалення мінеральних домішок та тиску газифікації [6, 7].

За конструктивними особливостями реакційної зони та способу підведення окисника газифікатори можна розділити на наступні типи: з нерухомим щільним шаром та висхідним/низхідним/поперечним рухом газу, киплячого шару (стаціонарний киплячий шар, циркулюючий киплячий шар, два реактори киплячого шару) та газифікацію в потоці [8].

Газифікація в стаціонарному шарі є найбільш раннім способом отримання газу, котрий використовувався більше сотні років тому.

В світі досить успішно працюють установки газифікації: в потоці – по методу Texaco, Shell, Prenflo, Destec, ABB CE; в киплячому шарі – по методу Вінклера, U-gas, KRW, Westinghouse Corporation; в нерухомому щільному шарі – по методу British Gas/Lurgi. Найбільш перспективними серед наведених вважаються методи газифікації в киплячому шарі та потоці [9].

За способом підведення тепла процеси газифікації можна розділити на аллотермічні та автотермічні [3]. В першому випадку енергія, потрібна для протікання процесу, підводиться від зовнішніх джерел. Описується цей процес наступними основними реакціями: Будуара, водяного газу, гідрогазифікації, водяного зсуву та метанізації.



Основний вклад в процес газифікації вносять перші дві екзотермічні реакції.

В випадку автотермічної газифікації енергія, потрібна для проходження процесу, подається за рахунок спалювання частини вихідного палива – реакцій неповного та повного горіння вуглецю (та летучих):



На практиці найбільшого застосування отримали апарати автотермічної газифікації.

В залежності від теплоти згорання отриманих газів розрізняють: з низькою (4,2-6,7 МДж/м<sup>3</sup>), середньою (6,7-18,8 МДж/м<sup>3</sup>) та високою (31-40 МДж/м<sup>3</sup>) теплою згорання [9].

Також важливо зауважити, що при повітряній (пароповітряній) газифікації отримують газ з низькою теплою згорання (4-7 МДж/м<sup>3</sup>), який доцільно використовувати безпосередньо на місці отримання.

При кисневій (парокисневій) газифікації під тиском до 3 МПа отримують генераторний газ з середньою теплою згорання (10-16 МДж/м<sup>3</sup>). Такий газ можна використовувати як на місці отримання, так і транспортувати на досить значні відстані, а також застосовувати як сировину для одержання вуглеводневих сполук.

Для отримання газу з високою теплою згорання (20-40 МДж/м<sup>3</sup>) (замінника природного газу) застосовують кисневу (парокисневу) газифікацію під високим тиском (до 10 МПа) або ж переробляють синтез газ, отриманий з попередніх способів [9].

В наш час найбільшого поширення набула повітряна газифікація, так як при цьому виключаються всі витрати й складнощі, пов'язані з отриманням кисню [4].

За призначенням газу процеси можна розділити: для енергетичних потреб (безпосереднього спалювання) та технологічних цілей (синтези вуглеводів, виробництво водню, технічного вуглецю).

За способом видалення мінеральних домішок апарати газифікації можуть бути: з мокрим та сухим видаленням золи, з рідким шлаковидаленням.

В залежності від тиску в апаратах процеси проходять: при атмосферному (0,1-0,13 МПа), середньому (до 2-3 МПа) та високому (вище 2-3 МПа) тисках [10].

При аналізі літературних даних виявилось, що найменш дослідженою є газифікація в вихрових апаратах. Вчені, зустрівшись з проблемами створення такого потоку та керування ним, вирішили, що це є недоцільним. Але протягом останніх років, завдяки розвитку технологій, дослідження процесу саме в таких апаратах відроджується і має досить непогану перспективу, що підтверджує тезу: дуже часто старі ідеї, які здавалися в свій час нежиттєвими, внаслідок розвитку техніки призводили до подальших технічних вдосконалень.

#### 4. Особливості процесу в вихрових апаратах

Незважаючи на відомі недоліки таких апаратів, вони мають суттєві переваги, що змушують продовжувати наполегливо займатися їх вдосконаленням та створенням для них нових технологічних схем. По-перше, сильна закрутка газових потоків надійно стабілізує займання палив, навіть при зміні його теплотехнічних і ряду інших характеристик. По-друге, істотно прискорюється розігрів твердої фази, вихід легких компонентів і стійке займання продуктів швидкого піролізу. Це пов'язано з більш високою інтенсивністю транспорту теплоти і  $O_2$  в потрібні технологічні зони реактора. По-третє, завдяки високим температурам, отриманий генераторний газ майже не має в своєму складі речовин, що конденсуються (смола, масел, бензолів та фенолів), що позбавляє проблеми їх виділення та утилізації [11].

До основних недоліків вихрових апаратів газифікації натуральних твердих палив та інших речовин в закручених потоках слід віднести їх високий аеродинамічний опір. Як правило, він пов'язаний з необхідністю формувати в апаратах потоки з сильною закруткою, тобто мають приосеві зворотні течії або інакше – зони внутрішньої рециркуляції в об'ємних газових вихорах. Одночасно для досягнення достатньої ефективності всіх процесів апарати розраховують на роботу з високими швидкостями газів, а часто і при високих тисках всередині вихрових пристроїв. Це неминує викликає підвищені витрати електроенергії на дуття в технологічних установках даного класу, що на думку ряду фахівців, на практиці істотно знижує їх конкурентоспроможність на тлі інших типів газогенераторів.

Друга проблема вихрових пристроїв зазвичай полягає в необхідності тонкого налаштування та підтримки основних параметрів вихрового процесу. Це вимагає досить складних і витратних робіт по налагодженню аеродинамічних схем пристроїв. Відзначимо, що до цих пір все ще недостатньо вивчені аеродинамічні схеми багатьох типів вихрових пристроїв. Часто навіть відсутні надійні відомості про структуру формованих потоків, особливо про процеси турбулентного переносу. Також

немає надійних, реально придатних для інженерної практики методик розрахунку багатьох подібних апаратів.

Третя проблема найскладніша. До цих пір дуже погано вивчений нестабільний в часі і просторі вплив на сильно закручений потік твердої зависі, найчастіше полідисперсної, з великим включенням великих і дрібних фракцій.

Тому скепсис щодо вихрових газогенераторів закономірний відносно комерційних перспектив багатьох вихрових пристроїв, особливо в потужних промислових установках для газифікації твердих палив, перш за все, при створенні комерційно придатних апаратів внутрішньо циклової газифікації вугілля для нових парогазових теплових електростанцій. Причому для спалювання в подібних парогазових циклах у серійних газових турбінах синтетичних газів ці горючі гази бажано повинні мати високу теплоту згорання (необхідна газогенерація з конверсією пара), а також, що складніше, – ретельне очищення пального для подачі на газові турбіни.

Авторами планується робота над дослідженням процесу газифікації саме в вихрових апаратах для створення на основі загальних положень газової динаміки та тепло-масообміну двохфазних систем (газ – твердий дисперсний матеріал) методів розрахунку і конструювання обладнання для спалювання і газифікації дисперсних матеріалів органічного походження, експериментальна перевірка фізичної та математичної моделей та визначення впливу основних параметрів на протікання процесу.

#### 5. Висновки

В даній статті авторами було проведено літературний огляд процесів газифікації, вказано на її недоліки та переваги в порівнянні з прямим спалюванням, сформована та наведена розширена класифікація методів та обладнання. Було виявлено один з найменш досліджених методів (газифікація твердих палив у вихрових апаратах) та сформовані задачі для подальшого дослідження.

#### Література

1. Канторович, В.Б. Основы теории горения и газификации твёрдого топлива [Текст] / В.Б. Канторович. – М: Metallurgizdat, 1960. – 350 с.
2. Исламов, С.Р. Газификация угля: прошлое и будущее [Текст] / С.Р. Исламов, В.Н. Кочетков, С.Г. Степанов // Уголь. – 2006. – №8 (966). – с.69-71.
3. Higman, C. Gasification [Текст] / С. Higman, M. Burht. – Elsevier Science, 2003. – 391с.
4. Goswami, D.Y. Alternative Energy in Agriculture [Текст] / D.Y. Goswami. – CRC Press, 1986. – 256 с.
5. Степанов, С.Г. Развитие технологий и новые подходы к газификации угля [Текст] / С.Г. Степанов // Теплоэнергетика. – 2004. – №9. – с.40-43.
6. Bridgwater, A.V. The Technical and Economic Feasibility of Biomass Gasification for Power Generation [Текст] / A.V. Bridgwater // Fuel. - 1995. – Т. 74 (5). – с. 631-653.
7. Spliethoff, H. Status of biomass gasification for power production [Текст] / H. Spliethoff // IFRF Combustion Journal. – November 2001. – с. 1–25.
8. Корчевой, Ю.П. Экологически чистые угольные технологии энерготехнологии [Текст] / Ю.П. Корчевой, А.Ю. Майстренко, А.И. Топал. – Киев: Наукова думка, 2004 – 186 с.
9. Железная, Т.А. Обзор современных технологий газификации биомассы [Текст] / Т.А. Железная, Г.Г. Гелетуха // Промышленная теплотехника. – 2006. – №2. – с. 61-75.

10. Beenackers, A. Gasification Technologies for Heat and Power from Biomass [Текст] / A. Beenackers, K. Maniatis // Ibid. – 1996. – Т 13(1). – с. 228-259.
11. Basu, P. Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory [Текст] / P. Basu. – Elsevier Science, 2010. – 376 с.

*В статті представлено фізичну модель процесу пароповітряної газифікації тирси в псевдозрідженому шарі, математичну модель розрахунку ентальпій утворення продуктів реакції, графічне зображення концентрації вихідних компонентів утворених при температурі 1100 °С. Наведено розрахункові дані (витрати енергії та кількість CO і H<sub>2</sub> на виході) при температурі 1100 °С*

*Ключові слова: пароповітряна газифікація, температурний режим, окисник, тирса, псевдозріджений шар, горючий газ*

*В статье представлены физическая модель процесса паровоздушнoй газификации опилок в псевдоожигенном слое, математическая модель расчета энтальпий образования продуктов реакции, графически изображены концентрации исходных компонентов образованных при температуре 1100 °С. Приведены расчетные данные (расход энергии и количество CO и H<sub>2</sub> на выходе) при температуре 1100 °С*

*Ключевые слова: газификация, температурный режим, окислитель, опилки, псевдоожигенный слой, горючий газ*

УДК 662.76

## ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ПРОХОДЖЕННЯ ПАРОВОПІТРЯНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ТИРСИ В ПСЕВДО- ЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

О. Г. Орайло

Інженер I категорії\*

E-mail:olja\_orajlo@ukr.net

В. В. Собченко

Кандидат технічних наук, заступник директора\*

О. А. Негода

Інженер I категорії\*

\*Інститут газу НАН України

вул. Дегтярівська, 39, м. Київ, Україна, 03113

### 1. Вступ

За оцінками фахівців в області лісопромисловості протягом року від усіх видів лісопереробки утворюється близько 200 тисяч тонн тирси. Ще близько 120 тисяч тонн – це так звана біомаса (гілки, хмиз, пошкоджена деревина, кора, листя, а також кукурудзяне бадилля, солома та інша органіка), що утворюється на місцях лісосік тощо і, як правило, просто перегниває.

На багатьох підприємствах актуальним є використання альтернативних видів палива, як приклад тирси, значно заощаджує витрати на опалення. Для деревопереробних підприємств використання тирси є не тільки засобом утилізації відходів, але й заощадженням на палеві. Завдяки чому популярність переробки тирси зростає з року в рік, не тільки в промисловості, але і серед власників приватної власності.

Одним з раціональних способів утилізації і отримання якісного горючого газу з тирси є пароповітряна газифікація в псевдозрідженому шарі.

Метою роботи є підвищення якості отриманого горючого газу шляхом визначення основних умов проходження процесу, а саме – температурного режиму і співвідношення окисника - тирси.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Газифікація є одним з найбільш дешевих та екобезпечних способів отримання електричної та теплової

енергії. З екологічної точки зору головною перевагою газифікації твердого палива є низький рівень негативного впливу на навколишнє середовище. При газифікації відсоток палива, що не згорає, значно менший ніж при прямому спалюванні.

Процес газифікації залежить від ряду факторів – температури, складу суміші, що використовується для дуття, дисперсності палива, властивості його взаємодії з газами (реакційні властивості), згорання палива, плавлення золи, розподілення дуття, концентрація реагуючих речовин, стабільність режимів та ін.

Парокисневий газ утворюється при подачі в газогенератор кисню з додаванням пари. Пара вводиться для зниження температури в газогенераторі та отримання водню. При газифікації під високим тиском 2,0 – 2,5 МПа на парокисневому дутті отримують газ з великим вмістом метану та високою теплотворною здатністю. Збільшення тиску сприяє утворенню великої кількості CH<sub>4</sub> та CН<sub>2</sub>.

В апаратах з псевдозрідженим (киплячим) шаром газифікація палива відбувається при значеннях температури, менших від температури плавлення золи, а також при сприятливих умовах для тепло- і масообміну (при практично постійній температурі по висоті шару) за рахунок інтенсивного перемішування. Сірка в шарі може зв'язуватись як золою, так і вапном. Порівняно низьке значення температури процесу дозволяє зменшити викиди оксидів азоту, а також сприяє оптимальному сполученню сірки за рахунок додавання вапняку