

УДК 620.92:662.641

Студент 6 курсу, гр. ОН-51 Хребтов М.О.
Науковий керівник доц., к.т.н. Ринкова Т.О., кафедра ТЕ
Національний технічний університет України «КПІ»
Україна, 03056, м.Київ-56, проспект Перемоги, 37
Довідка телефонної станції НТУУ «КПІ» – (+38 044) 236-79-89
<http://www.ntu-kpi.kiev.ua>, <http://www.ntu-kpi.edu.ua>, <http://www.kpi.ua>

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСІВ ГАЗИФІКАЦІЇ ТОРФУ

Annotation – Results of research of processes of peat gasification are considered in this article. The work purpose – to study processes of peat gasification and to define conditions and characteristics of process. And also to estimate possibility of applyment of peat gasification for use in power installations as cheap replacement to expensive natural gas. Gasification is more ecological variant of solid fuels use, rather than their burning, as degree of formation of harmful substances Nox and Sox is much more low.

Key words – peat, gasification, hydrogen energy installations

ВСТУП

Однією з найбільш серйозних проблем, що стоять останніми роками перед світовою спільнотою, є необхідність забезпечення зростаючих потреб людства у високоякісних, екологічно чистих і економічно доступних енергетичних ресурсах.

Стратегія використання органічного палива в промислово розвинутих країнах ґрунтується на вискоелефективному використанні палива в енергетичних установках нового покоління з електричним ККД понад 50%, та екологічній чистоті процесів одержання електричної енергії та теплоти. Найбільш перспективною на даний час є воднева енергетика.

Одним із методів отримання водню є газифікація твердих палив, зокрема торфу, для отримання синтез-газу з високим відсотком вмісту водню.

Газифікація торфу вирішує багато проблем: по-перше, дає змогу використати природне паливо не тільки для опалення приміщень, але і для потреб водневої енергетики; по-друге, цей процес розвиває технологію створення високотемпературних паливних елементів і по-третє, зменшує кількість покладів торфу, які є пожежонебезпечними, особливо, через кліматичні зміни у природі (на Україні в 2010 р. середня денна температура повітря деяких літніх місяців досягала +40 °С).

За основу геолого-економічної оцінки ресурсів торфу в Україні покладений Державний облік запасів торфу, геологічна вивченість родовищ торфу і потреба в торфі народного господарства. За даними Держкомгеології на території України виявлено і розвідано 3118 торфових родовищ з геологічними запасами біля 2,2 млрд.т. Загальна площа родовищ становить біля 3 млн.га, в промислових межах біля 600 тис.га, балансові запаси торфу становлять біля 735 млн.т. Запаси торфу на відведених під промислову розробку родовищах становлять 22,6 млн.т. а підготовлені промислові потужності по його видобуванню – 2,1 млн. т (по виробництву торфобрикетів — 700 тис. т).

ПРОЦЕСИ ГАЗИФІКАЦІЇ

Газифікація – термоокислювальна переробка твердих горючих копалин при підвищених

температурах (800-1500 °С) з метою отримання максимальної кількості горючих або технологічних газів.

Існує декілька переваг газифікації в порівнянні з спалюванням твердого палива.

- знижується до дуже невеликого рівня емісія речовин, що забруднюють атмосферу
- крім виробництва електроенергії або теплоти, продукти газифікації можна використовувати для отримання хімічних продуктів
- отриманий синтез-газ можна зберігати та транспортувати
- синтез-газ може бути додатково очищений від небажаних складових, на відміну від твердого палива
- при спалюванні синтез-газу підвищуються експлуатаційні показники котлів та топок
- можливість використання в широкому спектрі енергогенеруючого обладнання

Єдиним твердим залишком при газифікації повинна бути негорюча частина твердого палива – зола. Насправді, не вдається повністю перевести органічну масу твердого палива на газ, і в шлаку залишається частина горючої маси палива.

Загальні принципи роботи апаратів для газифікації – газогенераторів, можна розглянути на прикладі найпростішого газогенератора, зображеного на рис 1.

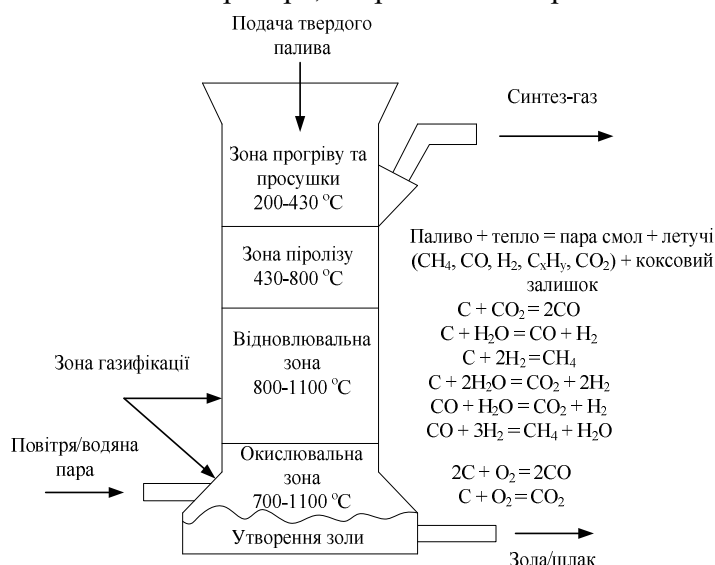


Рис. 1. Схема роботи шарового автотермічного газогенератора

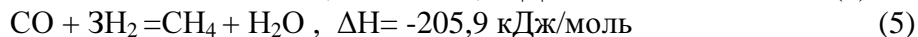
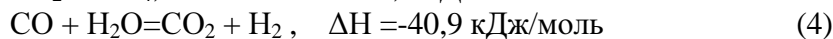
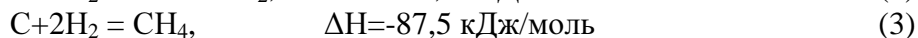
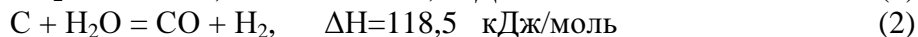
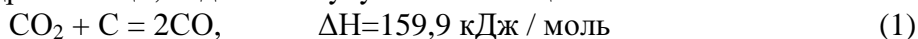
Газогенератор такого типу являє собою вертикальну шахту з листової сталі, футерованої вогнетривкою цеглою. У верхній частині його є завантажувальний люк через який подається тверде паливо. У нижній частині газогенератора встановлено отвір через який в шахту безперервно подається газифікуючий агент.

Піроліз – це процес термічного розкладу твердого палива, в результаті якого утворюються летучі речовини, зола та рідкі продукти (смоли та інші органічні речовини). 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.

За балансом теплоти процеси газифікації поділяють на:

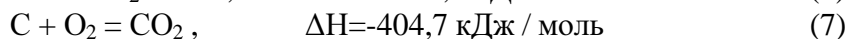
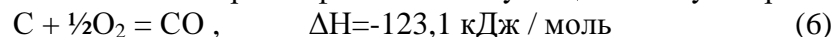
- Автотермічні (стабільна температура підтримується за рахунок внутрішніх джерел теплоти в системі)
- Аллотермічні, тобто процеси ,які потребують підводу теплоти ззовні для підтримання процесу газифікації. Зовнішнє підведення теплоти можна здійснювати за допомогою твердих, рідких і газоподібних теплоносіїв.

При аллотермічній газифікації основними реакціями, які описують процес є реакції: Будуара, водяного газу, гідрогенізації, водяного зсуву та метанізації.



Основними реакціями в процесі є ендотермічні реакції 1 і 2.

У випадку автотермічної газифікації необхідна кількість теплоти для протікання вище наведених реакцій забезпечується за рахунок часткового спалювання палива (парціального окиснення) – реакцій повного та неповного горіння фіксованого вуглецю та летучих речовин.

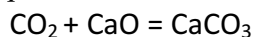


Поєднання всіх цих реакцій і визначає склад утвореного газу, який змінюється по висоті газогенератора. Після відновлювальної та окислювальної зон, так званих, зон газифікації, гарячі гази виходять при температурі 800-900 ° С. Вони нагрівають паливо, яке піддається піролізу в вище розміщеній зоні. Цю зону прийнято називати зоною піролізу, або зоною напівкоксування. Гази, які виходять з зони піролізу підігрівають паливо в зоні сушки. Разом ці дві зони утворюють зону підготовки палива.

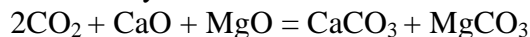
Таким чином, при шаровій газифікації поєднується термічна переробка палива і власне газифікація напівкоксу чи коксу, отриманого в зоні підготовки палива. Тому газ, що відводиться з апарата, містить не тільки компоненти, що утворилися в процесі газифікації, а й продукти піролізу (піролізний газ, пара смоли, водяна пара). При охолодженні відведеного з газогенератора газу відбувається конденсація смоли і води, які далі необхідно очистити і піддати переробці. У цьому процесі змінюється і склад твердої фази. У зону газифікації, як зазначалося вище, надходить уже не просто паливо, а кокс, а з окислювальної зони виводиться розпечений шлак.

Головні джерела забруднення, які утворюються при спалювання твердого палива та обмежені законодавством багатьох країн – це оксиди азоту (NO_x), оксиди сірки (SO_x) та пил. Газифікація призводить до низьких викидів NO_x, завдяки низькій температурі в шарі палива – від 800 до 900 °С, тоді як при звичайному пиловидному спалюванні палива температура 1200-1700 °С, і викидів значно більше.

Для зменшення вмісту діоксиду вуглецю в складі газу, використовується сорбент, який подається в реактор разом з паливом. Найчастіше це негашене вапно. При цьому проходить реакція зв'язування діоксиду вуглецю з утворенням карбонату кальцію, тобто крейди, яка називається високотемпературна адсорбція CO₂.



У випадку, якщо негашене вапно містить у своєму складі MgO то протікає наступна реакція зв'язування вуглекислого газу



Процес легко адаптується для виробництва синтез-газу з певними стехіометричними вимогами через регулювання кількості сорбенту. Отриманий карбонат кальцію після реактору можна використовувати як сировину в багатьох галузях промисловості, або піддавати розкладу та відновленню під дією високих температур.

Торф у своєму природному стані являє собою дуже зволожену та зольну суміш різних продуктів розкладу рослин в умовах вологого безповітряного середовища. Він відноситься до найбільш молодих викопних палив та займає середнє положення між деревиною та бурим вугіллям. За своїм складом на горючу масу торф мало відрізняється від деревини. Середній

склад органічної маси торфу залежить від глибини його залягання, ступеня розкладу, і т.д. і має приблизно такі усереднені показники (у %).

Таблиця 1

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

При збільшенні ступеня розкладу та глибини залягання торфу, вміст вуглецю та азоту в органічній масі торфу збільшується, а водню та кисню зменшується.

Торф майже не містить сірки. Її вміст приблизно 0-0,4% у верховому торфі та 0,2-1% у низинному. Вміст летучих речовин від 68 до 76%. Зольність верхового торфу знаходиться в межах 1-6%, а низинного 6-20%. Температура плавлення золи 950-1200 °С. Тому використання торфу з високим вмістом золи, яка плавиться при нижчій температурі дуже ускладнює процес газифікації. Температура плавлення золи має важливіше значення, ніж її кількість, для нормального протікання процесу газифікації. Торф з малим вмістом золи, але з меншою температурою плавлення мало придатний для процесів піролізної обробки, а з великим вмістом золи і високою температурою плавлення навпаки – більш придатний.

При плавленні золи утворюється шлак, який заповнює простір у активній зоні. Це призводить до порушення рівномірного розподілу повітря по перерізу камери газифікатора і збільшується гідравлічний опір проходженню газів. Також розплавлена зола поглинає частки палива, не дає доступу повітря до нього, що призводить до великих втрат палива в шлаках. Все це призводить до того, що необхідно частіше проводити планові роботи з чистки газифікатора та перезавантажувати паливо у газогенератор.

Враховуючи вище зазначені переваги та недоліки, найкраще використовувати торф з такими приблизними показниками:

Таблиця 2

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

Експериментальні дослідження енергетичних характеристик торфу складались з декількох етапів. Для експерименту були використані зразки низинного торфу з родовища поблизу м.Сарни Рівненської області.

Установка для одержання з твердого палива синтез-газу складається з такого основного устаткування: системи збереження і подавання води, парогенератора, реактора парової аллотермічної газифікації твердого палива, системи очищення, охолодження і сушіння синтез-газу. На рисунку 2 показано принципову схему цієї установки.

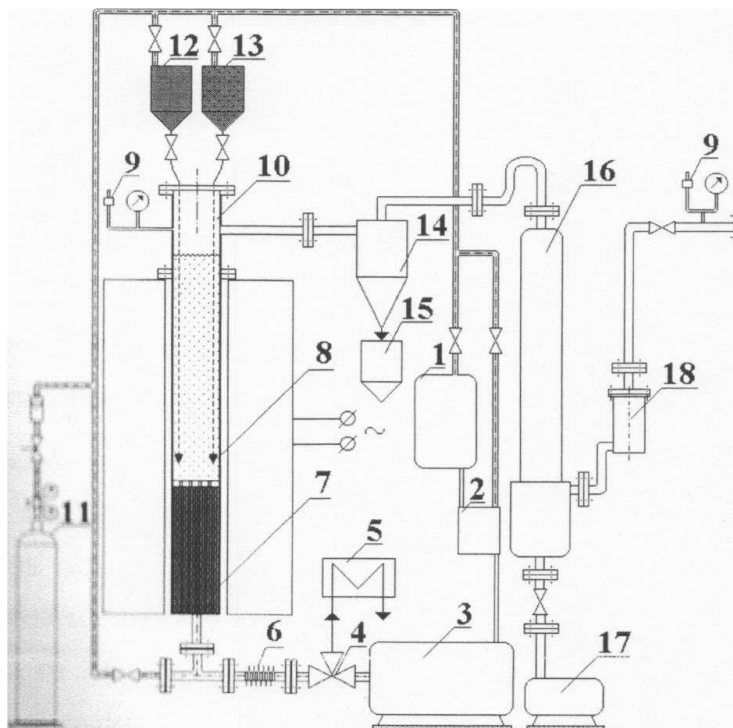


Рис.2. Принципова схема установки

1 – бак з дистильованою водою, 2 – дозатор води, 3- парогенератор, 3 – триходовий клапан, 5 – конденсатор, 6 – компенсатор, 7 – шар кераміки, 8 – зона реагування, 9 – запобіжний клапан, 10 – реактор конверсії палива, 11 – балон з азотом, 12 – бункер з вугіллям, 13 – бункер з адсорбентом, 14 – сепаратор, 15 – бункер твердих залишків конверсії, 16 – охолоджувач синтез-газу, 17 – бак з конденсатом, 18 – осушувач газу.

Перед проведенням експериментальних досліджень з газифікації торфу перевірялась робота можливого модуля установки з розробленням методик та рекомендацій для їх ефективної роботи.

Для того, щоб робота усіх вузлів установки була злагодженою, і швидкість вихідних газів не перевищувала швидкості виносу твердих часток палива з газифікатора разом з газом, необхідно досягти наступної нерівності:

$$Re_{кр} < Re_{винос}$$

де $Re_{кр}$ – критичне число Рейнольдса, яке забезпечує початок псевдозрідження.

Для експерименту були використані зразки торфу з таким складом:

Таблиця 3

Технічний аналіз				Елементний аналіз					Теплотворна здатність $Q_{н}^p$, МДж/кг
Волога, W^a	Летучі, V^a	Зола, A^a	Фіксований вуглець, $C^a_{фікс}$	C^r	H^r	O^r	N^r	$S^{заг}$	
мас. %									
26,49	42,46	13,7	17,35	56,5	6,0	34,7	2,5	0,3	12,25

Під час експерименту через фіксований інтервал часу бралися проби синтез-газу, які аналізувалися за допомогою хроматографу. На рисунку 3 показано зміну теплоти згоряння вихідного синтез-газу впродовж експерименту. Експеримент проводився при змінній

температурі, різній витраті пари та потужності обладнання.

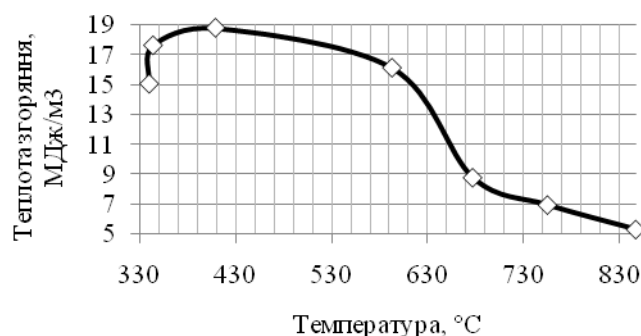


Рис.3. Зміна теплоти згоряння синтез газу від температури

Необхідно виконати аналіз результатів, для того, щоб створити методичку для отримання синтез-газу потрібної концентрації в стаціонарному режимі, при сталій температурі та витраті пари. Максимальний вміст водню буде спостерігатись, коли в реакціях 3 та 5 рівновага буде зміщена в бік утворення водню та розкладу метану. Використовуючи графік 3 та знаючи собівартість торфу, яка прийнята \$30 за 1 тону розрахуємо та побудуємо залежність ціни 1 кілограму водню в залежності від температури процесу газифікації. Для цього задамося КПД процесу газифікації 80% та прорахуємо теоретично можливий вихід водню на усіх точках процесу.

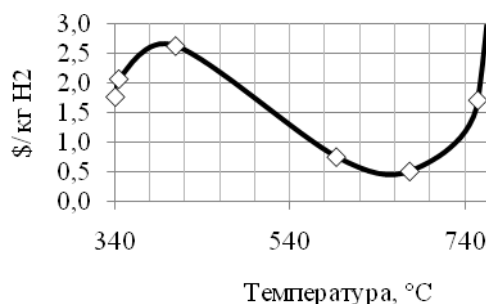


Рис.4. Залежність вартості виробленого водню від температури процесу

З графіку 4 видно, що найменш затратним буде процес у точці 5. Отже процес при параметрах, які були встановлені в цій точці є найкращим варіантом.

Аналізуючи дані отримані під час експерименту розраховується загальна концентрація складових отриманого синтез-газу, порівнявши та підрахувавши площі хроматограми. В результаті опрацювання даних отриманих під час експерименту було зроблено висновки, що можна отримати синтез-газ з такими об'ємними концентраціями:

Таблиця 4

H ₂	CO	CO ₂	CH ₄
Концентрація, об.%			
57,83	6,76	30,69	4,72

В подальшому при необхідності газ можна додатково за допомогою адсорберів та каталізаторів очистити від CO₂.

Переваги використання торфу для газифікації порівняно з вугіллям:

- Менша зольність, внаслідок чого збільшується вміст летучих речовин. Спостерігається більший вихід піролізного газу.
- Висока реакційність, внаслідок чого потрібно менше енергії для забезпечення протікання процесу.

- Доступність торфу, не потрібно будувати шахти, створювати спеціальні складні технологічні умови для добування. Процес добування набагато безпечніший ніж вугілля.
- Вартість торфу, враховуючи, що в даний час він майже не використовується.
- Менші витрати на технічну підготовку торфу, внаслідок його природних характеристик (транспортування, дроблення до потрібної фракції)
- Внаслідок високої реакційності спостерігається більш повне реагування.

Недоліки:

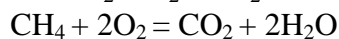
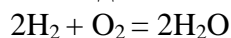
- Значно більша вологість, видалення якої потребує додаткових витрат енергії в процесі, або попередньої просушки за допомогою спеціального обладнання, або в природному середовищі. Проте внаслідок високих температур повітря під час літніх місяців, можливе природне видалення вологи.
- Значно менший вміст фіксованого вуглецю, що призводить до зменшення частки коксу, яка поступає в зону газифікації. Повний вихід сухого коксу на суху масу торфу склав 51,66%. Тому збільшується витрата торфу.
- Висока реакційність, внаслідок якої при низьких температурах в синтез-газі великий вміст метану.
- Більш складний процес протікання, для якого потрібно створювати необхідні умови протікання.
- Внаслідок низьких температур протікання процесу, спостерігається значний вихід смоли, тому необхідно забезпечити очищення синтез-газу до потрапляння в систему охолодження, для запобігання забруднення теплообмінників.
- Більший вміст CO₂, внаслідок підвищеного вмісту кисню в складі торфу. Необхідна краща система адсорбції.

Отримані під час дослідів результати дають змогу застосовувати газифікацію торфу на практиці.

Для населених пунктів та промислових споживачів, що знаходяться поблизу торфових родовищ і покладів найкращим та доцільним варіантом електро- та тепло забезпечення є створення сучасних енергетичних установок з попередньою газифікацією торфу. Використання таких систем дозволить досягнути наступного:

- комплексне вирішення екологічних питань, пов'язаних зі зниженням шкідливих викидів (оксиди сірки та азоту) та CO₂ у атмосферу
- використання торфу як ресурсу для вироблення синтез-газу дозволить зменшити ризик пожеж торфових родовищ, при горінні яких навколишні території забруднюються шкідливими газами та речовинами
- спрямування ресурсів на вироблення електроенергії та теплоти, замість щорічних витрат ресурсів на гасіння торф'яних пожеж
- створенню рентабельного розсосередженого виробництва теплоти та електроенергії по регіонах з великими запасами торфу, на заміну низькорентабельним котельням та ТЕЦ, що працюють на природному газі
- підвищення ККД виробництва тепло- та електроенергії
- можливість створення економічних резервних маневрених установок малої потужності для покриття пікових навантажень на виробництвах, без застосування природного газу або рідких палив
- незалежність енергоустановок від коливань цін на рідке та газоподібне паливо
- відпадає необхідність зберігання, транспортування та утилізації зольних залишків на великі відстані, так як можна залишати їх безпосередньо на місці видобування, що знижує експлуатаційні витрати

- використання таких установок також для отримання дешевої механічної роботи
- можливість застосування контактних конденсаторів, яка дозволяє набагато зменшити витрати води в системі, конденсуючи пару пара яка утворюється в результаті спалювання синтез-газу за реакціями горіння водню та метану:



Тобто можливо застосовувати замкнуту схему економного використання води в процесі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / С.Ф. Ермілов, В.М. Геєць, Ю.П. Яценко, В.В. Григоровський, В.Е. Лір та 347н.. – К., НАЕР, 2009. – 96с.
2. «Огляд світової енергетичної технології та проблем клімату» (WETO)
3. Экологически чистые угольные технологии / Ю.П. Корчевой, А.Ю. Майстренко, А.И. Топал – К. Наукова думка, 2004. – 183с.
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 року / Інформаційно-аналітичний бюллетень “Відомості Мінпаливенерго України». Спеціальний випуск. – Київ, 2006.- 113 с.
5. И.Д. Дроздник, А.В. Орлов, В.В. Черкасов, Рынок угля и перспективные направления его использования. Харьков, 2004. – 189с.
6. Технологии газификации углей для парогазовых установок. А.Н. Дудник, А.Ю. Майстренко, - К. 1998.