

УДК 519.63+621.9.048

Мохаммед Алтагер Албаршеши, директор інституту,
Алкіб Ахмед М. Мохаммед Алджалі, PhD, викладач кафедри оптики,
Нагла Фаез Аллабаг, викладач кафедри фізики

Вищий інститут науки і техніки (Тріполі, Лівія)

СУЧАСНИЙ СТАН РОЗРОБОК В ГАЛУЗІ ПЛАЗМОВОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ТА ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВІДХОДІВ

Ключові слова: електродуговий генератор плазми, переробка твердих побутових відходів, плазмова газифікація, синтез-газ.

Вступ. У зв'язку із зростаючим дефіцитом паливно-енергетичних ресурсів, зокрема вугілля антрацитової групи, виникає необхідність у збільшенні ефективності використання цього виду палива і зниження викидів у довкілля [1]. Сукупність заходів з підвищення рентабельності енергосекторів, а також зниження навантаження на екосистему може включати такі заходи:

1. Модернізацію технологічних процесів спалювання вугілля. Існуючі вже багато десятиків років технології спалювання вугілля не відповідають сучасним вимогам, оскільки перевищують допустимий рівень забруднення атмосфери твердими вуглецевими частинками і оксидами азоту. Крім того, через неповне згоряння вугільних частин існує небезпека зараження ґрунту від викидів золи і шлаків.

2. Перероблення золо-шлакового залишку на теплоелектростанціях. Близько 70 % усієї електроенергії України виробляється на теплоелектростанціях. На сьогодні вся сукупність відходів теплоелектростанцій складається без подальшої переробки, хоча практика розвинених західних країн показує перспективність і економічну ефективність упровадження технологій перероблення шлаків.

3. Газифікацію твердих побутових відходів (ТПВ) і біомаси. Питання перероблення ТПВ в Україні на сьогодні стоїть найгостріше, оскільки в основному відходи складаються, а не переробляються. За статистикою більше 5 % площі території України зайнята звалищами, загальна кількість накопиченого сміття – 32,4 млрд. тонн. На сьогодні в країні працює лише 4 заводи для переробки сміття, з яких тільки один завантажений на 100 %.

Хімічний аналіз зольного залишку відвалів ТЕС України показує високий процентний вміст незгорілого вугілля – 20 %, а також феросилікату 40 %. Золовідвали більшості ТЕС заповнені на 90 % при цьому щорічно реалізують лише 5 % золошлаку, тоді як сумарна кількість вугільних відходів обчислюється мільйонами тонн на рік при середній вартості золошлаку 70 грн за тонну. З урахуванням кількості ТЕС перероблення їхніх відходів може дати істотний економічний ефект.

Мета роботи. Підкреслити актуальність і перспективність застосування плазмових технологій для перероблення відходів і газифікації сировини в сучасних умовах та необхідність вдосконалення методів проектування електродугових генераторів плазми, зокрема інтегрованих в установки газифікації сировини.

Основна частина. Одним з доказів позитивного ефекту від упровадження технологій газифікації ТПВ може служити статистика ринку використання відходів, зокрема приклад успішного енергоменеджменту в Швеції, де за рахунок перероблення сміття забезпечується 20 % свого енергобалансу. Для цього країна щорічно імпортує 800 тис. т сміття, перетворивши його в цінний для суспільства ресурс.

Окремою проблемою є знищення небезпечних відходів, зокрема хімічних добрив і пестицидів з вичерпаним терміном зберігання, відходів хімічного виробництва, медичних відходів та інших типів відходів з особливими умовами зберігання або переробки [1–3]. Сучасний світовий досвід показує, що всі ці завдання можуть бути вирішені на основі плазмових технологій. Незаперечною перевагою таких технологій є:

- можливість керування складом продуктів переробки за винятком утворення небезпечних речовин;

- висока швидкість хімічних реакцій і збільшена глибина перероблення сировини завдяки високим температурам у плазмових реакторах;

- компактність плазмового обладнання і допоміжних систем газоочищення.

Технології плазмової газифікації ТПВ відносно давно присутні на ринку. Досвід експлуатації дослідних, потім і промислових установок плазмової газифікації дозволив установити такі ключові переваги цих технологій:

- здатність обробляти більш широкий спектр відходів, ніж більшість інших технологій;

- можливість економічно вигідного застосування при меншому, ніж для конкурентних підходів, обсязі переробки;

- утворення склоподібних твердих залишків на відміну від золи у термічних процесах, що спрощує їх повторне використання або видалення;

- більш повне перероблення відходів з меншим ризиком для здоров'я людей і краща екологічна ефективність;

- можливість одержання синтез-газу високої чистоти, що спрощує його використання в енергоустановках (газових двигунах, турбінах, паливних елементах) або виробництві хімікатів і палива.

Плазмова газифікація здійснюється в умовах недостатності кисню, що призводить до виробництва синтез-газу, осклованого шлаку і розплавленого металу, порції та склад яких залежать від складу вхідних відходів [4, 5].

Головним чинником розвитку такого типу процесу є можливість відновлювати газ, багаті на хімічну енергію, які можуть бути використані в системах високоефективного відновлення енергії або використовуватися як хімічна сировина.

Прикладом такого роду процесу може служити технологія плазмової газифікації ТПВ Recovered Energy System фірми Recovered Energy, Inc. (США). В цьому процесі з однієї тонни ТПВ виробляється більше 1 МВт·год електроенергії.

Крім електроенергії в ході процесу переробки отримують метал, осклований шлак, соляну кислоту й інші продукти. Після переробки не утворюється ніяких викидів і відходів, що підлягають складуванню.

Одним з лідерів у галузі плазмової газифікації є канадська компанія AlterNRG, яка просуває власну технологію плазмової газифікації (отриману через придбання компанії Westinghouse Plasma Corporation). Основою процесу AlterNRG/WPC є реактор з плазмотронами пасивного типу, який за конструкцією є стандартною вертикальною шахтною пічкою типу, зазвичай використовується в ливарному виробництві. Його об-

лицьовано відповідним вогнетривким матеріалом, щоби витримувати високі внутрішні температури і агресивне середовище у реакторі.

У цьому процесі відходи не проходять через плазмовий факел. Замість цього плазмотрони використовуються для забезпечення високих температур, необхідних для сталої роботи реактора. В дизайні AlterNRG/WPC температура плазми становитиме від 5000 до 7000 °C, а температура в зоні плавлення (нижній частині реактора) – приблизно 2000 °C – набагато нижче, ніж 20000 °C процесу APP. Фактична робоча температура є достатньою для того, щоби керувати реакціями газифікації і розщеплювати смоли і сполуки з вищою молекулярною вагою в CO і H₂.

Синтез-газ з реактора AlterNRG/WPC виходить при температурі від 890 °C до 1100 °C при атмосферному тиску. В подальшому газ очищується у багатоетапному процесі, кількість яких залежить від того, наскільки чистий газ потрібен для конкретного процесу використання і перетворення, зазначеного в кожному конкретному проекті.

У Японії за технологією WPC було побудовано три заводи для поводження з відходами. Заводи на Yoshii, Utashinai і Mihama-Mikata були побудовані Hitachi Metals за ліцензією WPC на перероблення ТПВ. Компанія AlterNRG оголосила про плани побудови газифікаційної установки на північному сході Англії з використанням плазмового реактора AlterNRG/WPC.

Провідним європейським виробником обладнання для плазмової газифікації відходів є фірма Europlasma (Франція). Вона виробляє і реалізує дугові плазмотрони пасивного типу власної розробки і системи плазмового перероблення відходів, включаючи небезпечні, за ліцензією з компанією Aerospatiale (нині EADS – Європейська аеронавігаційна оборонна і космічна компанія).

На сьогодні за технологіями Europlasma працюють чотири заводи у Японії. Крім того, у Бордо (Франція) побудовано завод для плазмового перероблення відходів, що містять азбест. Вищезгадана компанія увійшла до складу Plasco Energy Group. Демонстраційне обладнання компанії потужністю 100 тонн за день працює з перервами з літа 2007 року в Оттаві (Канада). Компанія оголосила про наміри побудови заводу з плазмової газифікації потужністю у 150 тисяч тонн на рік у Оттаві. Вона також оголосила ще три проекти в Канаді, Японії і на Багамах.

У Європі Plasco створила спільне підприємство (Hera Plasco) з іспанською компанією Hera Holdings для європейського ринку. Компанія експлуатує плазмовий пілотний завод поблизу Барселони і активно просуває технології плазмової газифікації в Європі.

Таким чином, незважаючи на великий потенціал, притаманний методам плазмової газифікації відходів, застосування цих технологій на сьогодні обмежено окремими підприємствами. Основними причинами такого положення є недостатній рівень надійності та ресурсу плазмових генераторів, що використовуються в таких установках.

Зазвичай їхній заявлений ресурс становить 1000...2000 годин безперервної роботи, але реальний ресурс в умовах, притаманних реакторам з плазмової газифікації, може визначатися не ресурсом електродів, а виникненням небажаного електричного пробиття, спричиненого високою напругою робочого струму та запиленням поверхонь і атмосфери. Зменшення робочої напруги для цих плазмотронів лише частково вирішує проблему, бо для підтримки теплової потужності призведе до збільшення сили струму, що, в свою чергу, різко знизить ресурс електродів.

Ця проблема могла би бути вирішена за рахунок використання високоресурсних

електродугових плазмотронів з термоємійними катодами, сталими до отруєння кисневмісних газів. Але для цього необхідно дослідити і вирішити проблеми, пов'язані з інтеграцією таких плазмотронів в комплекси плазмової газифікації, зокрема, особливості призначення режимів роботи, подачі захисного і плазмоутворювального газу з обов'язковим урахуванням оснащення установок з плазмової газифікації системами газоочищення.

Однією з проблем плазмової газифікації твердих побутових відходів є неоднорідність початкової сировини і невизначеність її компонентного складу. Це призводить до того, що при плазмовій газифікації склад синтез-газу і його калорійність можуть істотно змінюватися в ході роботи. У випадку включення в промислові системи електрогенерації цей недолік може бути компенсовано адаптивним додаванням допоміжного палива, наприклад природного газу.

Установки плазмової газифікації однорідної за складом сировини – вугілля або біомаси позбавлені вказаного недоліку. В процесі плазмової газифікації можуть бути отримані гази різних складів і теплоти згорання, придатні для широкого використання як палива в промисловості і в побуті, так і як хімічної сировини для різних синтезів, у тому числі й для отримання рідких продуктів у синтезі Фішера-Тропша [6, 7]. Існують десятки способів газифікації твердої вуглецевої сировини. Вони можуть бути систематизовані за рядом критеріїв [6–8]:

1. За станом палива в газогенераторі розрізняють спосіб газифікації в нерухомому шарі, газифікацію в киплячому шарі і газифікацію в потоці пилоподібного палива.

2. За способом підведення тепла в газогенератор процесу газифікації поділяються на автотермічні й аллотермічні. При автотермічних процесах для перебігу ендотермічних реакцій у газифікаторах спалюють частину (35...40 %) палива, що подається кисневмісними агентами.

3. За напрямом реакційних потоків способи газифікації підрозділяються на протитечійні й прямоочні. У протитечійних способах вугілля завантажується згори, а газифікуючі агенти підводяться знизу, що забезпечує хорошу теплопередачу. У прямоочних способах вугілля подається в одному напрямі з газифікуючим агентом.

Способи газифікації поділяються також за методом видалення з газогенератора золи (у твердому або рідкому стані), за тиском процесу (нормальний і підвищений), за складом отриманого газу (енергетичний, технологічний або замітник природного газу), освоєні в промисловому масштабі способи газифікації твердого вуглецевого палива.

При автотермічних безперервних процесах температура, необхідна для нормального ходу реакції, підтримується за рахунок тепловиділення. Керування автотермічним процесом досить тісно пов'язано із стійкістю роботи газифікатора. Стан рівноваги в автотермічному процесі досягається при рівності тепла, що відводиться, і тепла, що виділяється в результаті реакції. Якщо прийняти, що реактор добре теплоізолюваний, то тепло відводиться тільки газами, що покидають реактор. Основною особливістю автотермічного процесу є виникнення гістерезису. Якщо при постійній швидкості подання сировини його температура зростає, то реакція запалюється при певній температурі живлення і реактор працює у верхньої стійкої робочої точки. При зниженні подачі сировини реактор продовжує працювати з високою мірою перетворення до тих пір, поки не настає загасання при температурі живлення.

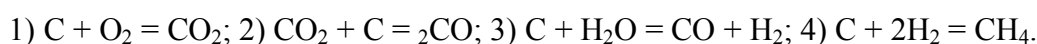
Аллотермічні процеси – це процеси, при яких необхідне тепло підводиться ззовні, за допомогою твердого або газоподібного теплоносія. Для виробництва синтез-газу,

що використовується для отримання аміаку і метанолу, в оксосинтезі або в синтезі Фішера-Тропша необхідно точно підтримувати співвідношення $\text{CO}:\text{H}_2$ і $\text{H}_2:\text{N}_2$ у первинному газі. Усі ці вимоги зумовлюють керування ходом реакцій при газифікації. Це досягається не лише підбором тиску і температури; вирішальне значення має склад газифікуючого агента: він повинен складатися в основному з кисню і перегрітої водяної пари, можлива присутність CO_2 .

Якщо отримуваний газ спрямовують на синтез аміаку, то такий газ в ідеальному випадку повинен містити 75 % H_2 і 25 % N_2 ; вигідно застосовувати для газифікації вугілля повітря, збагачене киснем. При цьому передбачається, що газифікація палива проводиться безперервно.

Технологія плазмової газифікації вже сьогодні є технологією промислового використання, має комерційно успішні інсталяції по всьому світу (Японія, Індія, Англія, Китаї, США). Ведуться роботи з проектування і будівництва в країнах Євросоюзу. Застосування плазмової газифікації невід'ємно пов'язано з Кіотською угодою зі зменшення впливу на атмосферу людини. Вплив на природу і людину нижче існуючих світових норм відповідних гранично можливих концентрацій в 10...15 разів.

Плазмова газифікація вугілля призначена для отримання екологічно чистого палива – синтез-газу, вільного від оксидів сірки і азоту, і є сукупністю таких основних гомогенних і гетерогенних реакцій:



Гідрування окислу вуглецю в процесі Фішера-Тропша є комплексом складних паралельних і послідовних реакцій, що включають утворення первинного адсорбованого комплексу, зростання вуглеводневого ланцюга і її обрив. Перебіг цих реакцій призводить до утворення кислот, ефірів і т. д. Шляхом каталітичного перероблення синтез-газу на металевих, оксидних, цеолітах і металокомплексних каталізаторах можна отримувати й інші найважливіші продукти нафтохімічного синтезу (олефіни, парафіни, спирти та ін.) [9]. Суть способу показано на рис. 1.

Система живлення 1 подає вугільний пил у плазмовий реактор 3, туди ж подається пара з парогенератора 2. Вугільний пил і пара надходять в зону дуги, що горить між стержневим електродом, який проходить через кришку реактора 5 і кільцевий електрод. Електромагнітна котушка 6 робить обертання дуги в горизонтальній площині. Під впливом високої температури у присутності окисника пара вугілля газифікується, в результаті чого утворюється синтез-газ, що складається переважно з оксиду вуглецю і водню. Негорюча частина вугілля у вигляді шлаку надходить вниз в камеру розділення 4, муфель 9 і далі – в шлакозбірник 13.

Синтез-газ, отриманий в першому ступені, спрямовується у верхню камеру розділення 4, куди із системи пилживлення 8 через горизонтальну частину 7 надходить вугільний пил і подається компресором 10 окислювальне агентповітря. При змішуванні аеросуміші, що складається з вугільного пилу і повітря із синтез-газом, останній займається. В результаті горіння синтез-газу в муфелі 9 виділяється теплота, необхідна для газифікації вугільного пилу. Процес розділення отриманого синтез-газу і шлаку відбувається в нижній камері розділення 11, звідки синтез-газ відсисається через горизонтальну частину 12 компресором 14. Шлак надходить в шлакозбірник 13.

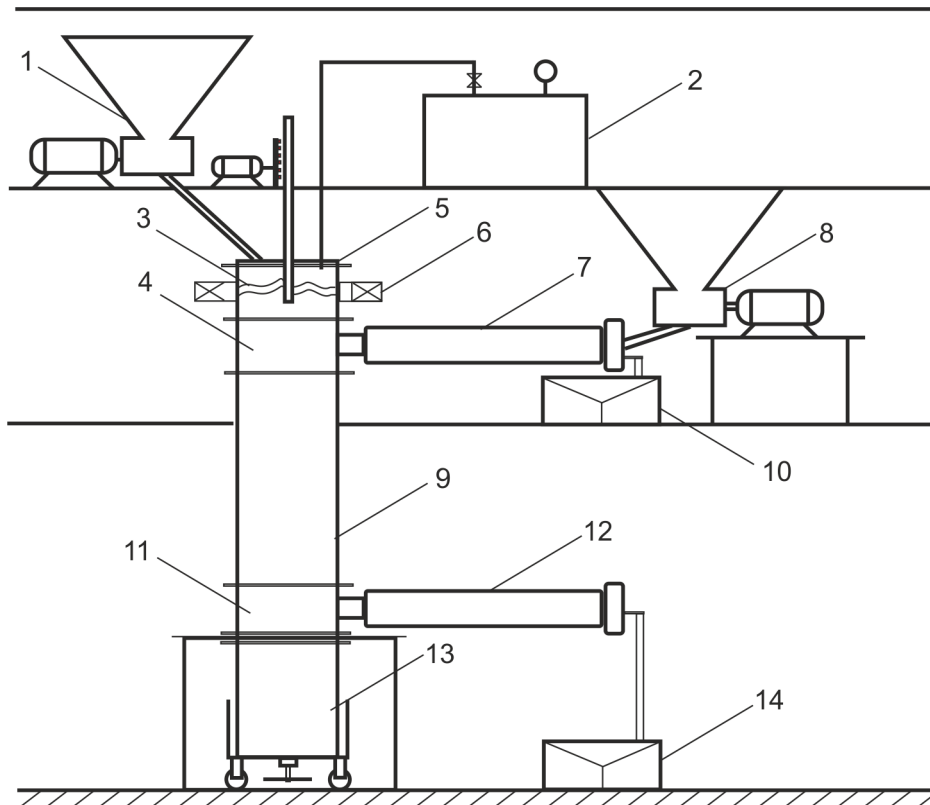


Рисунок 1 – Установа алло-автотермічної газифікації вугілля:

- 1, 8 – система паложивлення; 2 – парогенератор; 3 – плазмовий реактор; 4 – верхня камера розділення; 5 – кришка реактора; 6 – електромагнітна котушка;
7 – горизонтальна частина системи паложивлення; 9 – муфель; 10, 14 – компресор;
11 – нижня камера розділення; 12 – камера виведення газу; 13 – шлакозбірник;

Склад синтез-газу з плазмового реактора (за результатами експерименту з вугіллям [6]):

CO_2 – 1,1 %, O_2 – 0,8 %, CO – 40,2 %, H_2 – 46,7 %, Σ = 88,8 %, інші – 11,2 % – баласт (відсотки об'ємні). Співвідношення $\text{CO}:\text{H}_2 = 40,2:46,7 = 1:1,16$. Якщо працювати без коригування складу газу, то отриманий синтез-газ підходить для реакції над Fe – каталізатором, для якого потрібно співвідношення між фракціями $\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$. Кількість інертних домішок становить 13,1% (не повинно перевищувати 10...15 %); вихід синтез-газу з 1 т вугілля [6] і 700 кг пари становить 1,5 т, тобто 2300 м^3 . Із загального складу отриманого синтез-газу: C – $928,6 \text{ м}^3$ – $41,4 \cdot 10^3$ моль; H_2 – 1079 м^3 – $48,1 \cdot 10^3$ моль. Розрахунок синтетичного рідкого палива (СРП) йде за рівнянням хімічної реакції для Fe – каталізатора: $2\text{CO} + \text{H}_2 = \text{CH}_2 + \text{CO}_2$. Вихід вуглеводнів при цьому становить: $20,7 \cdot 10^3$ міль або 290 кг з 1 т вугілля. Практичний вихід усіх вуглеводнів не перевищує 90 % і становить 260 кг, для Fe – СРП – 62 %, тобто 161 кг з 1 т вугілля. За традиційними технологіями практичний вихід СРП знаходиться в межах 120...140 кг на 1 т вугілля.

Висновки. Високий вихід СРП при плазмовому способі пояснюється якіснішим

початковим продуктом (синтез-газом). Порівняно з традиційними технологіями газифікації вугілля плазмова технологія має такі переваги [6, 9]: висока питома продуктивність процесу; відсутність витрати твердого, рідкого і газоподібного палива; можливість швидкого нагрівання крупнозернистих частинок вугілля до високої температури в зоні газифікації за рахунок теплоти згоряння дрібної фракції; простота технічної реалізації процесу; можливість гнучкого варіювання технологічними параметрами в широкому діапазоні; компактність устаткування і малі питомі енерго- і металовитрати.

У випадку газифікації вугілля, і у випадку газифікації біомаси при застосуванні порівняно з переробленням ТПВ вимоги до систем газоочищення значно спрощуються. Незважаючи на це, включення такого обладнання у склад комплексів плазмової газифікації є обов'язковим. В цілому при підвищених вимогах до чистоти продуктів газифікації вартість обладнання для очищення газу може перевищувати вартість інших складових. У випадку газифікаторів малої продуктивності це може бути економічно неефективним. Тому, в цих випадках можливо застосування найпростіших засобів очищення газу у вигляді сепараторів циклонного типу для видалення із синтез-газу твердих частинок, а при подальшому його спаленні у газовому двигуні остаточне очищення вихідних газів може проводитися з використанням традиційних засобів очищення вихлопних газів двигунів внутрішнього згоряння.

Основним чинником, який затримує широке впровадження плазмових технологій у різні галузі промисловості, є недостатній рівень надійності та ресурсу плазмових генераторів. Особливою проблемою є інтеграція плазмових генераторів у технологічні ланцюги із забезпеченням сталої роботи усіх видів обладнання. Для розв'язання розглянутих вище проблем авторами запропоновано ряд технічних рішень для підвищення ефективності роботи установок газифікації сировини з інтегрованими електродуговими плазмогенераторами, які наведено в роботах [11–13].

Література

1. Вамболь В.В. Научные основы экологически безопасной утилизации твердых углесодержащих отходов: дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01 / Кременчуг. нац. ун-т им. М. Остроградского. Кременчуг, 2016. 365 с.
2. Бутаков Е.Б. Исследование горения и газификации органических топлив с механо- и плазмохимической активацией применительно к энергетике и получению топливного газа: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / Ин-т теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. Новосибирск. 2017. 154 с.
3. Власов О.А., Мечев В.В. Анализ работы печей сжигания отходов // Твердые бытовые отходы. 2017. № 8. С. 38–41.
4. Лавренов В.А. Экспериментальное исследование процесса двухстадийной термической конверсии древесной биомассы в синтез-газ: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Объединенный ин-т высоких температур РАН. Москва, 2016. 152 с.
5. Ламинарный пограничный слой в потоке инертного газа в плазмотроне / С.И. Планковский, Е.В. Цегельник, Е.К. Островский, Д.А. Брега // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2010. Вып. 46. С. 69–74.

6. Буянтуев С.Л., Кондратенко А. С. К вопросу о возможности получения синтетического жидкого топлива из углей с помощью низкотемпературной плазмы // Вестник Бурятского государственного университета. 2009. № 3. С. 141–146.
7. Печуро Н.С. Химия и технология синтетического жидкого топлива и газа. М.: Химия, 1986. 460 с.
8. Альтшулер В.С. Новые процессы газификации твердого топлива. М.: Недра, 1976. 340 с.
9. Плазмохимическая переработка угля / М. Ф. Жуков, Р. А. Калинин, А. А. Левицкий, Л. С. Полак. М.: Наука, 1990. 200 с.
10. Вамболь В.В. Научные основы экологически безопасной утилизации твердых углесодержащих отходов: дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01 / Кременчуг. нац. ун-т им. М. Остроградского. Кременчуг, 2016. 365 с.
11. Алкиб А.М. Интеграция плазматенератора в состав установки газификации // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2016. Вып. 4. С. 123–127.
12. Алкиб А.М., Брега Д.А., Ходак Р.А. Совершенствование методов расчета сепараторов циклонного типа, интегрированных в комплекс газификации сырья // Авиационно-космическая техника и технология. 2017. № 2. С. 26–31.
13. Планковский С.И., Брега Д.А., Цегельник Е.В., Алкиб А.М. Анализ методов плазменной переработки металлургических шлаков в электропечах постоянного тока // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2016. Вып. 72. С. 68–76.

Bibliography (transliterated)

1. Vambol V.V. Nauchnyie osnovy ekologicheskii bezopasnoy utilizatsii tverdyih uglesoderzhaschih othodov: dis. ... d-ra tehn. nauk : 21.06.01 / Kremenchug. nats. un-t im. M. Ostrogradskogo. Kremenchug, 2016. 365 p.
2. Butakov E. B. Issledovanie goreniya i gazifikatsii organicheskikh topliv s mehano- i plazmohimicheskoy aktivatsiey primenitelno k energetike i polucheniyu toplivnogo gaza: dis. ... kand. tehn. nauk: 01.04.14 / In-t teplofiziki im. S. S. Kutateladze SO RAN. Novosibirsk. 2017. 154 p.
3. Vlasov O. A., Mechev V. V. Analiz raboty pechey szhiganiya othodov // Tverdyie byitovyie othodyi. 2017. # 8. P. 38–41.
4. Lavrenov V.A. Eksperimentalnoe issledovanie protsessa dvuhstadiynoy termicheskoy konversii drevesnoy biomassyi v sintez-gaz: dis. ... kand. tehn. nauk : 05.14.01 / Ob'edinennyiy in-t vyisokih temperatur RAN. Moskva, 2016. 152 p.
5. Laminarnyy pogranychnyiy sloy v potoke inertnogo gaza v plazmotrone / S.I. Plankovskiy, E.V. Tsegelnik, E.K. Ostrovskiy, D.A. Brega // Otkryityie informatsionnyie i kompyuternyye integrirovannyye tehnologii: sb. nauch. tr. / Nats. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo «HAI». Harkov, 2010. Vyip. 46. P. 69–74.
6. Buyantuev S.L., Kondratenko A.S. K voprosu o vozmozhnosti polucheniya

sinteticheskogo zhidkogo topliva iz ugley s pomoschyu nizkotemperaturnoy plazmy // Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. 2009. # 3. P. 141–146.

7. Pechuro N.S. Himiya i tehnologiya sinteticheskogo zhidkogo topliva i gaza. M.: Himiya, 1986. 460 p.

8. Altshuler V.S. Novyye protsessyi gazifikatsii tverdogo topliva. M.: Nedra, 1976. 340 p.

9. Plazmohimicheskaya pererabotka uglya / M. F. Zhukov, R. A. Kalinenko, A. A. Levitskiy, L. S. Polak. M.: Nauka, 1990. 200 p.

10. Vambol V.V. Nauchnyie osnovyi ekologicheskii bezopasnoy utilizatsii tverdyih uglesoderzhaschih othodov: dis. ... d-ra tehn. nauk : 21.06.01 / Kremenchug. nats. un-t im. M. Ostrogradskogo. Kremenchug, 2016. 365 p.

11. Alkib A.M. Integratsiya plazmageneratora v sostav ustanovki gazifikatsii // Voprosyi proektirovaniya i proizvodstva konstruktsiy letatelnyih apparatov : sb. nauch. tr. / Nats. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo «NAI». Harkov, 2016. Vyip. 4. P. 123–127.

12. Alkib A.M., Brega D.A., Hodak R.A. Sovershenstvovanie metodov rascheta separatorov tsiklonnogo tipa, integrirovannykh v kompleks gazifikatsii syirya // Aviatsionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologiya. 2017. # 2. P. 26–31.

13. Plankovskiy S.I., Brega D.A., Tsegelnik E.V., Alkib A.M. Analiz metodov plazmennoy pererabotki metallurgicheskikh shlakov v elektropechah postoyannogo toka // Otkryitiye informatsionnyie i kompyuternyye integrirovannyie tehnologii : sb. nauch. tr. / Nats. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo «NAI». Harkov, 2016. Vyip. 72. P. 68–76.

УДК 519.63+621.9.048

Мохаммед Алтагер Албаршеши, директор інституту,
Алкіб Ахмед М. Мохаммед Алджалі, PhD, викладач кафедри оптики,
Нагла Фаєз Аллабаг, викладач кафедри фізики

Вищий інститут науки і техніки (Тріполі, Лівія)

СУЧАСНИЙ СТАН РОЗРОБОК В ГАЛУЗІ ПЛАЗМОВОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ТА ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВІДХОДІВ

В роботі розглядається та підкреслюється актуальність і перспективність застосування плазмових технологій для перероблення відходів і газифікації сировини в сучасних умовах та необхідність вдосконалення методів проектування електродугових генераторів плазми, зокрема інтегрованих в установки газифікації сировини.

Ключові слова: електродуговий генератор плазми, переробка твердих побутових відходів, плазмова газифікація, синтез-газ.

УДК 519.63+621.9.048

Мохаммед Алтагер Албаршеши, Алкиб Ахмед М. Мохаммед Алджали,
Нагла Фаез Аллабаг

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ
ПЛАЗМЕННОЙ ГАЗИФИКАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ**

Высший институт науки и техники (Триполи, Ливия)

В работе рассматривается и подчеркивается актуальность и перспективность применения плазменных технологий для переработки отходов и газификации сырья в современных условиях, а также необходимость совершенствования методов проектирования электродуговых генераторов плазмы, в частности интегрированных в установки газификации сырья.

Ключевые слова: электродуговой генератор плазмы, переработка твердых бытовых отходов, плазменная газификация, синтез-газ.

Mohammed Taher Isse Barshushi, Alkeeb Ahmed M. Mohammed Aljali,
Nahla Faiz Abdullah

**CURRENT STATE OF DEVELOPMENT IN THE FIELD
PLASMA GASIFICATION AND WASTE TREATMENT**

Higher Institute of Science and Technology (Tripoli, Libya)

The paper discusses and emphasizes the relevance and prospects of using plasma technologies for waste processing and gasification of raw materials in modern conditions, as well as the need to improve the design methods of electric arc plasma generators, in particular, integrated into the devices for gasification of raw materials.

Keywords: electric plasma generator, processing of solid household waste, plasma gasification, synthesis gas.