

УДК 662.71.74

**ЕЛЕКТРОКАТАЛІТИЧНЕ СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА****В. М. Вязовик**

Черкаський державний технологічний університет

бул. Шевченко, 460, м. Черкаси, 18006, Україна. E-mail: vitalvyz@rambler.ru

Розглянуто теоретичні основи процесу електрокаталітичної інтенсифікації горіння твердого палива. Наведені залежності зміни температури води, що нагрівається, від часу при різних напругах електричного розряду і коефіцієнті надлишку повітря під час електрокаталітичного спалювання антрациту і бурого вугілля. Використання електрокаталітичного способу інтенсифікації процесу горіння твердого палива дозволяє підвищити вихід летких сполук, теплоти згоряння яких значно вищі, ніж теплоти згоряння сполук, що утворилися при звичайному термолізі. Встановлено, що процес горіння інтенсифікується шляхом введення таких додаткових окиснювачів, якими є кисневмісні радикали і атомарний кисень, активні радикали, які утворюються при руйнуванні вуглеводнів при відділенні летких сполук. Це зменшує витрати пального при отриманні однієї і той же кількості тепла та навантаження на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** вугілля, електрокаталіз, горіння, інтенсифікація

**ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОЕ СЖИГАНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА****В. Н. Вязовик**

Черкасский государственный технологический университет

бул. Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006 Украина. E-mail: vitalvyz@rambler.ru

Рассмотрено теоретические основы процесса электрокаталитической интенсификации горения твердого топлива. Приведены зависимости изменения температуры нагреваемой воды от времени при разных напряжениях электрического разряда и коэффициенте избытка воздуха в процессе электрокаталитического сжигания антрацита и бурого угля. Использование электрокаталитического способа интенсификации процесса горения твердого топлива позволяет повысить выход летучих соединений, теплоты сгорания которых значительно выше, чем теплоты сгорания соединений, образовавшихся при обычном термолізе. Установлено, что процесс горения интенсифицируется путем введения таких дополнительных окислителей, как кислородсодержащие радикалы и атомарный кислород, активные радикалы, образующиеся при разрушении углеводородов при отделении летучих соединений. Это уменьшает расход топлива при получении одного и того же количества тепла и нагрузку на окружающую среду.

**Ключевые слова:** уголь, электрокаталіз, горение, интенсифікація.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Енергетика впливає не тільки на розвиток господарства, а і на територіальну організацію продуктивних сил. В Україні є чотири види електростанцій, які розрізняють за використовуваним ресурсом: теплові – працюють на твердому, рідкому й газоподібному паливі; серед них вирізняють конденсаційні й теплоелектроцентралі; атомні – як паливо використовують збагачений уран або інші, радіоактивні елементи; гідралічні – використовують відповідні гідроресурси й поділяються на гідроелектростанції, гідростимуляційні й припливні; електростанції, що використовують нетрадиційні джерела енергії.

Найпоширеніми в Україні є теплові електростанції. Вони виробляють майже 2/3 усієї електричної енергії в державі. За останні 30 років потужність цих станцій зросла у п'ять разів. Частина вугілля в структурі палива, яке використовують ТЕС, велика. Перевагою ТЕС є відносно вільне розміщення, вдвоє менший обсяг капіталовкладень у них порівняно з ГЕС.

Згідно з літературними даними, у всіх котлів горіння закінчується в нижній частині топочної камери, а в середині топочного об'єму в газах міститься низька концентрація частинок, що не згоріли. У верхній частині топки має місце повільне догоряння, зумовлене наявністю в топочних газах невеликої кількості кисню, а також тим, що в цій частині топочного простору окремі струмені газів поволі перемішуються між собою.

Для більш повного згоряння вугілля необхідно, щоб всі компоненти палива спалахували одночасно і горіли з однаковою швидкістю. Цього досягти неможливо, проте, для зближення швидкостей необхідно, щоб навкруги кожної твердої частинки була

достатня кількість кисню, а окислювальна здатність дугтя була підвищена за рахунок синтезу кисневмісних радикалів. Якщо в паливно-повітряному потоці не забезпечується одночасне запалювання що знаходяться в різних фазах компонентів вугілля, то кисень навколишнього повітря буде витрачений на горіння тих компонентів палива, які мають знижені енергії активації. При дефіциті кисню частина вугільних частинок не зажеврє навіть при нагріві до дуже високих температур.

Звідси витікає, що всі компоненти палива повинні спалахувати у порівняно вузькій зоні запалювання. Втрата від недопалення тим вища, чим більша частка частинок проходить через цю зону не зажеврівши. Присутність радикального дугтя знижує різницю енергій активації первинних ендотермічних процесів, розширює зону запалювання і нівелює швидкості горіння різних компонентів твердого палива.

Вважається невирішеною найважливіша технічна задача збільшення ступеня і швидкості спалювання твердого палива у котлоагрегатів великої продуктивності.

Тому метою даної роботи є визначення умов, за яких відбувається максимальний вихід радикалів, що, в свою чергу, інтенсифікують процес горіння твердого палива, попередження передчасного розкладання радикалів, пригнічення впливу інших реакційних компонентів паливо-повітряної суміші, досягнення високого ступеня перетворення за основними реакціями.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Сам процес горіння твердого палива можна розділити на такі стадії.

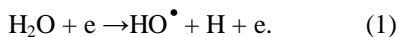
При нагріванні ще до температури запалення частки твердого палива відбувається термічне розкладання органічної маси палива з виділенням летких речовин, до складу яких входить значна кількість горючих компонентів, таких як метан, водень, оксид вуглецю (II) і т.д. Вони значною мірою визначають умови запалення і горіння натурального палива. Після виділення летких сполук залишається твердий кокс, який складається з вуглецю.

Процес термічного розкладання окремих складових палива становить розрив зв'язків у цих складових з утворенням багаточисельних нестійких активних проміжних продуктів. Останні дуже швидко реагують між собою, в результаті утворюються більш стійкі продукти термолізу – смоли, кислоти, гази, що не конденсуються та інші сполуки.

Використання електрокаталітичного способу інтенсифікації процесу горіння твердого палива дозволяє підвищити вихід летких сполук, теплоти згорання яких значно вищі, ніж теплоти згорання сполук, що утворилися при звичайному термолізі. Крім того, використання електрокаталізу призводить до утворення летких сполук при значно менших температурах, що дозволяє використовувати надлишок тепла, який утворився, на цільові потреби.

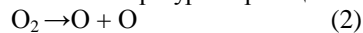
Наступною стадією горіння твердого палива є горіння самого коксу, який складається з чистого вуглецю, що з'єднаний в полікристалічну структуру, поверхня якої утворена різноманітними кристалографічними поверхнями. Розміри кристалітів коливаються від десяти до десятків тисяч ангстремів. При електрокаталізі, крім звичайного процесу горіння вуглецю, відбувається процес «трясіння» кристалічної структури коксу, розриву зв'язків між кристалами, що, в свою чергу, покращує процес масообміну кисню і продуктів згорання. Це підвищує ступінь вигорання палива і виділення тепла на цільові потреби.

І ще однією особливістю використання електрокаталізу є те, що на перших стадіях процесу горіння з палива виділяється велика кількість вологи. З літературних джерел [1] відомо, що використання електричного струму прискорює процес сушки твердого матеріалу. Крім того молекула води, знаходячись в зоні електричного розряду і сильного електромагнітного поля, яке завжди присутнє при будь-якому виді електричного розряду дисоціює за реакцією



Радикал  $\text{HO}^\bullet$ , в свою чергу, є додатковим окиснювачем як летких сполук, так і самого вуглецю.

Молекулярний кисень при звичайному горінні руйнується за рахунок високої температури за реакцією



У зоні розряду молекула кисню руйнується швидше і утворює атомарний кисень, який необхідний для окиснення летких сполук і вуглецю коксу і при цьому немає потреби в високих температурах і може протікати при звичайних умовах. Вихід атомів кисню за реакцією (2) при електрокаталізі значно вищий, ніж при звичайному горінні. Тому стає більш вірогідними протікання наступних реакцій:



Дані кисневмісні радикали завжди присутні в процесах горіння і значно впливають на процес горіння. Особливо суттєво впливає на процес горіння радикал  $\text{HO}_2^\bullet$  при горінні летких сполук і є причиною виникнення третьої межі запалювання.

Розглянутий процес дійсний для усіх видів вугілля. Його можливо використовувати як для кам'яного вугілля, так і для бурого вугілля і торфу. Тільки при використанні даного процесу для бурого вугілля виділяється значно більше летких сполук.

Експерименти з оптимізації горіння твердого палива (кам'яного та бурого вугілля) проводилися на установці, яка складається: з камери згоряє з розрядним пристроєм; термостата; джерела живлення розрядного проміжку і компресора, постійного об'єму води, що нагрівається. Експерименти проводили як з електрокаталітичної обробкою, так і без неї. При проведенні досліджень кожні дві хвилини вимірювалася температура води, що нагрівається.

На рис. 1–3 наведені результати дослідження по спалюванню кам'яного вугілля (антрацит) на лабораторній установці.

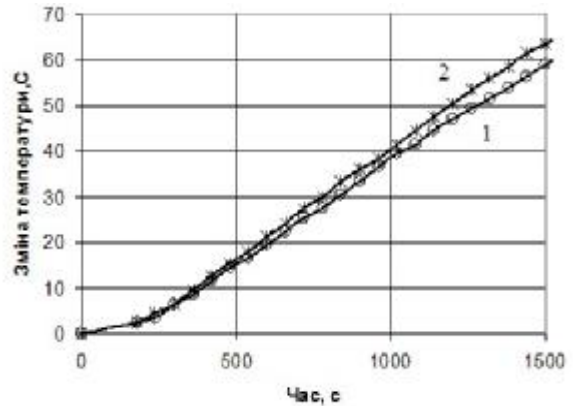


Рисунок 1 – Залежність зміни температури води від часу при напрузі 9 кВ і коефіцієнті надлишку повітря 1,25: 1 – без обробки; 2 – з обробкою

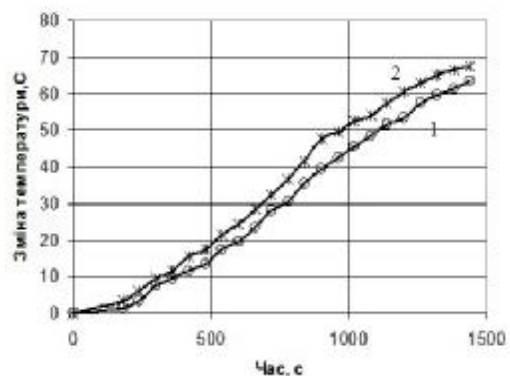


Рисунок 2 – Залежність зміни температури води від часу при напрузі 8 кВ і коефіцієнті надлишку повітря 1,25: 1 – без обробки; 2 – з обробкою

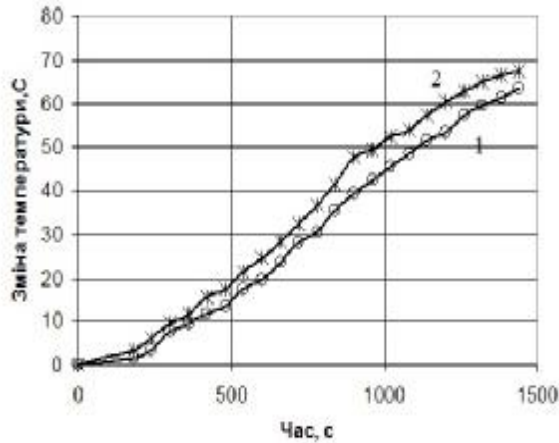


Рисунок 3 – Залежність зміни температури води від часу при напрузі 9 кВ і коефіцієнті надлишку повітря 1,2: 1 – без обробки; 2 – з обробкою

Дослідження горіння антрациту на лабораторній установці проводили при напругах 8 і 9 кВ, так як ці напруги дозволяли утворити електричний розряд між електродами. Менші напруги не дозволяли утворити електричний розряд необхідної потужності.

Як видно з рис. 1, 2 при напрузі 8 кВ виділяється значна більша кількість теплоти, ніж при 9 кВ. Це пояснюється, в першу чергу, додатковою кількістю летких сполук які утворюються на перших стадіях горіння, на вихід яких суттєво впливає напруга розряду. Так при напрузі 9 кВ кількість енергії, яка прикладається до вугілля і яка йде на утворення летких сполук значно більша, ніж необхідно для утворення летких сполук. Цей надлишок енергії йде на подальше руйнування летких сполук і утворення вуглецю і водню. Вуглець, який є менш калорійним паливом, ніж леткі сполуки, вигоряє разом з коксовим залишком вугілля. Водень же згоряє разом з основною частиною летких сполук, на утворення яких не вплинув електричний розряд із-за особливостей будови цих сполук. Завдяки цьому досягається підвищення виділення тепла при спалюванні твердого палива з напругою 9 кВ 7,8 %, тоді як при напрузі 8 кВ підвищення виділення тепла досягає 15,6 %.

На процес горіння твердого палива суттєво впливає і кількість повітря, яке підводиться до палива. Так, при коефіцієнті надлишку повітря 1,25 підвищення виділення тепла становить при 9 кВ становить 7,8 %, тоді при поступовому зменшенні кількості повітря до коефіцієнту надлишку повітря 1,2 (режим роботи більшості існуючих котлоагрегатів) підвищення виділення тепла становить 22,5 %. При подальшому зменшенні кількості повітря до 1,15 підвищення виділення тепла зменшується до 8,3 %. Це пояснюється декількома причинами. По-перше при проходженні електричного розряду, як вже згадувалося, утворюється додаткова кількість летких сполук і руйнується кристалічна решітка коксового залишку вугілля, на згоряння яких необхідна додаткова кількість кисню. При подальшому

підвищенні кількості повітря, а, значить, і кількості кисню за реакцією (2) утворюється значна більшість атомарного кисню, який тут же рекомбінуються назад домолекулярного кисню і, таким чином, зменшує кількість атомарного кисню, яку необхідно для горіння [2–5].

Виходячи з результатів досліджень, описаних вище, були проведені дослідження зі спалювання бурого вугілля при напрузі 8кВ і надлишку повітря 1,2. Вага бурого вугілля складала 20 г. Процес інтенсифікації процесу горіння бурого вугілля проводили на лабораторній установці, як і в попередньому досліді. Крім нагріву води, контролювали час інтенсивного виділення диму, який містив значну кількість летких сполук, які знаходяться в дуже великій кількості в бурому вугіллі і виділяються у вигляді біло-сірого диму. При введенні в цей дим поверхні, на якій проходив би процес конденсації цих летких сполук (в нашому випадку – це пластина з високолегованої сталі з поліровкою до дзеркальної поверхні), то відбувається інтенсивна конденсація смолоподібних органічних речовин, які не змиваються водою і дуже важко видаляються механічно.

Результати досліджень показані на рис. 4, з якого видно, що спостерігається значне підвищення виділення тепла при інтенсифікації горіння бурого вугілля і досягає 21,66 %. Час виділення летких сполук становив без обробки 55 с, а з обробкою – 70 с, що приблизно на 27 % більше. Цей ефект можливо використовувати для процесів газифікації бурого вугілля, що дозволить підвищити ефективність даного процесу.

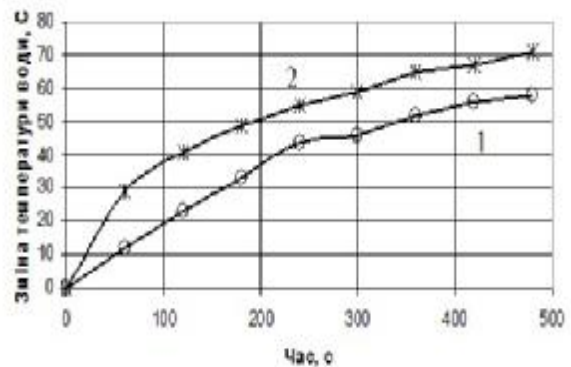


Рисунок 4 – Залежність зміни температури води від часу при горінні бурого вугілля: 1 – без обробки; 2 – з обробкою

Після повного вигорання вугілля і його охолодження до кімнатної температури була визначена вага золи. Так, для процесу спалювання бурого вугілля без обробки вага золи складала 5 г (ступінь вигорання вугілля 75 %), тоді як при спалюванні бурого вугілля з обробкою вага складала 4 г (ступінь вигорання вугілля 80 %), тобто ступінь вигорання на 5 % вища.

**ВИСНОВКИ.** Виходячи з вище сказаного, можна зробити наступний висновок. Електрокаталітичний процес інтенсифікації процесу горіння твердого палива може бути використаний для різноманітних

видів твердого палива. Це було доведено експериментами з інтенсифікації горіння антрациту і бурого вугілля. Використання електрокаталітичного способу інтенсифікації процесу горіння твердого палива дозволяє підвищити вихід летких сполук, їх склад містить леткі сполуки теплоти згорання яких значно вищі, ніж теплоти згорання сполук, які утворилися при звичайному термолізі. Крім того, процес горіння інтенсифікується шляхом введення таких додаткових окиснювачів, якими є кисневмісні радикали  $\text{HO}_2^\bullet$  та  $\text{HO}^\bullet$  і атомарний кисень, активні радикали, які утворюються при руйнування вуглеводнів при відділенні летких сполук. Усе це суттєво збільшить утворення тепла при спалюванні палива, що, в свою чергу, зменшить витрати пального при отриманні

однієї і той же кількості тепла. А це, в свою чергу, зменшує навантаження на навколишнє середовище.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / В.И. Бабий, Ю.Ф. Куваев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.
2. Теория горения и топочные устройства / Д.М. Хзмалян, Я.А. Каган. – М.: Энергия, 1976 – 486 с.
3. Хитрин Л.Н. Физика горения и взрыва. – М.: Издательство московского университета, 1957. – 452 с.
4. Ксандопуло Г.И. Химия пламени. – М.: Химия, 1980. – 256 с.
5. Самойлович В.Г., Гибалов В.И., Козлов К.В. Физическая химия барьерного разряда. – М.: Издательство МГУ, 1989. – 176 с.

## ELECTROCATALYTIC SOLID-FUEL COMBUSTION

V. Vyazovik

Cherkasy State Technological University,  
bul. Shevchenko, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine. E-mail: vitalvyz@rambler.ru

Theoretical bases of electrocatalytic intensification of solid-fuels combustion are considered in this paper. The functional dependences of the water temperature variation while heating on time with the various electric discharge voltage applied and excess-air coefficient for electrocatalytic combustion of anthracite and brown coal. The electrocatalytic intensifying of solid-fuel combustion allows for improving the volatile yield, which have the combustion temperature higher than those resulted out from thermolysis. It is determined that combustion can be intensified by adding such oxidizing agents as oxygeneous radicals and atomic oxygen, active radicals after the carbohydrates destruction reactions during the volatile yield, which reduces the fuel consumption for the same amount of heat and environmental loading.

**Key words:** coal, electrocatalysis, combustion, intensification

## REFERENCES

1. *Coal dust burning and coal-dust torch calculation* / Barbiv V.I., Kuvaev U.F. – М.: Energoizdat, 1986. – 208 p. [in Russian]
2. *Theory of burning and furnace systems* / Hzmalyan D.M., Kargarn I.A. – М.: Energy, 1976. – 486 p. [in Russian]
3. Hitrin L.N.. *Physics of burning and explosion*. – М.: Moscow University, 1957. – 452 p. [in Russian]

4. Kcarndopulo G.I. *Chemistry of flame*. – М.: Chemistry, 1980. – 256 p. [in Russian]
5. Sarmoilovich V.G., Gibarlov V.I., Kozlov K.V. *Physical chemistry of barrier charge*. – М.: MGU, 1989. – 176 p. [in Russian]

Стаття надійшла 06.08.2012.

Рекомендовано до друку  
к.х.н., доц. Козловською Т.Ф.