

КОНЦЕПЦІЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАЛИВНИХ УСТАНОВОК

Ковалишин Б. М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Концепція підвищення енергоефективності паливних установок полягає у застосуванні активації молекул-реагентів реакції горіння за допомогою різних джерел енергії. Теоретичні та експериментальні дослідження з обґрунтування електроактивації молекул-реагентів реакції горіння підтверджують доцільність практичного застосування концепції.

Постановка проблеми. Обмежені світові запаси вуглеводневих паливно-енергетичних ресурсів сприяють підвищенню ефективності їх використання.

Для отримання теплової енергії енергоносії спалюються в окислювальному газовому середовищі. Саме оптимізація окислювально-відновних хімічних реакцій горіння є важливим завданням підвищення ефективності використання енергоносіїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процеси термогенерації в основному пов'язані з окислювально-відновними екзотермічними реакціями горіння, тому їх слід розглядати з точки зору теорії хімічної кінетики. Основним питанням сучасної теорії хімічної кінетики є залежність реакційних властивостей хімічної системи від внутрішньої енергії, будови і атомно-молекулярного складу реагентів. Закон Арреніуса характеризує можливість протікання хімічних реакцій між молекулами-реагентами [1,2]. Він пов'язує константу швидкості реакції з енергією активації (E_a), що характеризує енергетичний стан молекули і записується у вигляді:

$$k = k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (1)$$

де k_0 - константа; R - газова стала, рівна 1,987 кал/град·моль; T - температура в градусах шкали Кельвіна; e - основа натуральних логарифмів.

Щоб знайти величину енергії активації E_a , вивчають швидкість реакції при різній температурі і знаходять для кожного значення T величину константи швидкості. Після перетворень отримують формулу для визначення енергії активації

$$E_a = (\lg k_o - \lg k) 4,575T, \quad (2)$$

За формулою (2) енергія активації прямо пропорційно залежить від температури. Процес активації (збудження) молекул за рахунок підвищеної температури називають термоактивацією. Опис перехідних процесів і узагальнена діаграма енергетичних рівнів та транспорту енергії збудження в молекулі приведена в [3]. Реакція горіння вуглеводневого палива пов'язана з транспортуванням молекул окислювача і відновника на відстані, що вимагають деякого часу. Тому, для протікання хімічних реакцій між молекулами-реагентами реакції горіння найбільш бажаним є їх переведення на метастабільні енергетичні рівні з якомога більшим часом релаксації.

Активація молекул-реагентів, за нашою робочою гіпотезою, крім термоактивації може бути здійснена з

допомогою інших джерел енергії.

У випадку подачі зовнішньої енергії у вигляді імпульсів або пульсуючих сигналів, частота яких співпадає з резонансною частотою молекул реагентів, можна досягти ефекту переведення молекул-реагентів в активний стан із значно меншими енергетичними затратами. Виходячи з таких міркувань формула (2) запишеться у вигляді

$$E_a = [(\lg k_o - \lg k) 4,575T] - Wb \quad (3)$$

де W – енергія активації від зовнішніх джерел; b – коефіцієнт використання зовнішньої енергії молекулами-реагентами.

Концепцію підвищення енергоефективності паливних установок сформулюємо у вигляді: "Підвищення енергоефективності паливних установок здійснюється за рахунок компенсації теплової енергії, що витрачається на термоактивацію молекул-реагентів реакції горіння, енергією від інших енергетичних чинників".

Якщо енергія молекул-донорів більша за величину деякого енергетичного бар'єру (енергії активації), то молекули-реципієнти перейдуть на більш високий (активований) енергетичний рівень. А саме активовані молекули, за С. Арреніусом, є готовими до участі в хімічних реакціях. З нашої точки зору, активація атомів і молекул може бути здійснена за допомогою наступних енергетичних чинників: тепла енергія; ультразвук; магнітне поле високої напруженості і відповідної частоти; хімічні речовини; оптичне випромінювання; радіоактивне випромінювання; електричне поле високої напруженості і відповідної частоти та інші. Із вищевказаних способів для дослідження нами вибрана активація компонентів окислювально-відновлювальної реакції горіння під дією електричного пульсуючого поля високої напруги. Позитивний вплив неоднорідного стаціонарного електричного поля на протікання реакції горіння описаний в [4]. Як компонент-відновник вибрано вуглеводневе паливо (пропан-бутанову суміш і природний газ), як окислювач – кисень повітря. Розроблена експериментальна установка забезпечила проведення дослідження ефективності впливу високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля (ВПНЕП) на окислювач і паливо в окислювально-відновлювальній реакції горіння. Функціональна схема експериментальної установки показана на рис. 1.

Робота експериментальної установки полягає в наступному. Окремими каналами газоподібні паливо (газ пропан) і окислювач (повітря) надходять у

газовий пальник.

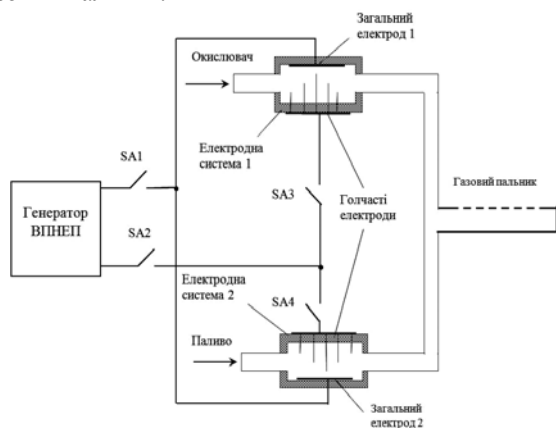


Рисунок 1 – Функціональна схема експериментальної установки

На своєму шляху до пальника окислювач в електродній системі 1 і паливо в електродній системі 2 піддаються активаційній дії високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля, отриманого від генератора ВПНЕП. Кожна з електродних систем має в своєму складі корпус, виготовлений з діелектричного матеріалу; вхідний і вихідний отвори; загальний електрод, виконаний у вигляді металеві пластини; і голчасті електроди, розміщені перпендикулярно до загального електроду, які мають неоднакову довжину з метою якомога ефективнішого перекриття поперечного перерізу потоку палива і окислювача. Частота імпульсів електричного поля змінювалась у діапазоні 20–120 Гц. Вибір режимів роботи експериментальної установки здійснювався за допомогою перемикачів SA1 – SA4. Для створення високої напруженості електричного поля застосували голчасту електродну систему. Використовуючи [5] і визначивши початкові значення напруженості електричного поля E_0 (кВ/см) і напруги на електродах U_0 (кВ), отримаємо математичну модель залежності енергії активації молекул-реагентів від параметрів високовольтної голчастої активаційної системи:

$$E_{AT}^I = [(lg k_0 - lg k) 4,575 T] - 0,82 I_{kbt} [31 \rho_{II} \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho_{II} \cdot r}} \right) r \ln \frac{2h}{r}] \quad (4)$$

де ρ_{II} – питомий опір повітря; r – радіус кривизни вістря голчастого електрода, см; h – відстань між електродами, см.

Із формул (3) і (4) видно, що витрати теплової енергії на активацію молекул-реагентів екзотермічної реакції будуть знижені на величину енергії активації від зовнішнього джерела. Тому на таку ж величину може бути збільшена корисна теплова енергія при спалюванні вуглеводневого або іншого виду палива.

Метою даної роботи є теоретичне та експериментальне обґрунтування концепції підвищення ефективності паливних установок через активацію молекул-реагентів реакції горіння.

Основні матеріали дослідження. Експеримента-

льні дослідження ефективності електроактивації молекул-реагентів реакції горіння полягали в оцінці ефективності спалювання пропан-бутанової суміші і природного газу в повітрі за умов додаткової активації. Контрольним варіантом в обох експериментах були варіанти із спалюванням вуглеводневих енергоносіїв у повітрі без електроактивації. Ефективність спалювання вуглеводневих енергоносіїв оцінювалась за часом нагрівання 1 л води від 20 °С до 40 °С. Імпульси електричного поля змінювалися в діапазоні частот (f) 0–140 Гц. Ефективність електроактивації компонентів реакції горіння при застосуванні ВПНЕП оцінювалась за перевищенням часу (Δt) нагрівання води без активації компонентів реакції горіння над часом при їх активації. Повторність експерименту трикратна. В одному з експериментів проведено дослідження впливу ВПНЕП окремо на повітря і пропан-бутанову суміш та одночасно на обидва компоненти. Ефективність електроактивації оцінювалась за скороченням часу нагрівання води. Результати цього експерименту наведено на рис. 2

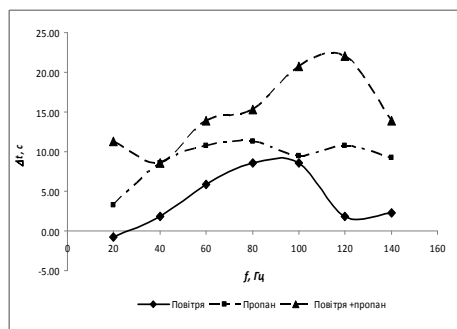


Рисунок 2 – Зниження тривалості нагрівання води від частоти імпульсів при електроактивації пропан-бутанової суміші і повітря

Отримані в першому досліді експериментальні результати показують, що електроактивація компонентів реакції горіння пропану в повітрі, порівняно з контролем, суттєво скорочує час нагрівання води практично у всіх варіантах. Розрахована $HP_{0,05}=4,33$. При електроактивації повітря в полі високої напруги на частоті 80 і 100 Гц спостерігається зменшення витрати палива на 8,6 %. Електроактивація пропану в полі високої напруги з частотою 80 Гц дозволила нагріти воду у вказаних межах температури при витраті палива на 11,3 % меншій, ніж у контролі. Найбільший позитивний ефект (зменшення витрати палива на 21,5–22,0 %) спостерігається при дії на обидва компоненти реакції горіння високовольтним пульсуючим нерівномірним електричним полем з частотою 100–120 Гц. В останньому варіанті першої серії дослідів можна відмітити здійснення принципу суперпозиції активації щодо сумісного впливу компонентів реакції горіння. В іншому експерименті проводилася оцінка ефективності електроактивації молекул природного газу і повітря. В одному варіанті цього експерименту проводилося дослідження активації одного тільки повітря, в другому варіанті – спільна активація повітря і природного газу. Результати цього експерименту наведено на рис. 3.

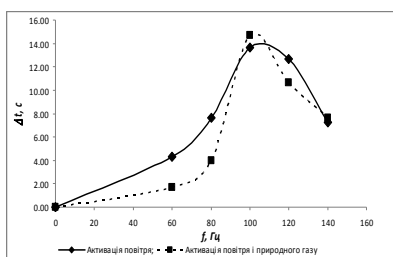


Рисунок 3 – Зниження тривалості нагрівання води від частоти імпульсів при електроактивації природного газу і повітря

За результатами експериментів видно, що активація високовольтними імпульсами природного газу і повітря скорочує час нагрівання води в обох варіантах дослідження. При активації повітря високовольтними імпульсами з частотою 100 Гц час нагрівання води скорочується на 11,1 %. При спільній активації пропану і повітря скорочення часу нагрівання води складо 12,0 %. Розрахована для третього експерименту $НР_{0,05}=2,46$ свідчить про неістотність відмінностей між обома варіантами досліду практично для всього досліджуваного діапазону частот ВПНЕП. Така неістотність відмінностей пояснюється, з нашої точки зору, тим, що у варіанті з одночасною активацією обох компонент реакції горіння ефективною була лише активація повітря. Внесок у загальну ефективність реакції горіння активованого природного газу був незначним. Можна також зробити висновок про те, що в другому варіанті третього експерименту параметри електричного поля не дозволили в достатній мірі провести активацію молекул природного газу. Оскільки вміст у природному газі метану складає $89\div 98\%$ [6], то, з нашої точки зору, отриманий результат пояснюється неефективністю впливу ВПНЕП з цими параметрами на молекули метану. Тому, необхідно продовжити дослідження дії високовольтного пульсуючого електричного поля на молекули-реагенти реакції горіння природного газу (метану) в повітрі на іншій частоті.

Різниця в ступені електроактивації молекул пропану і метану полягає, на нашу думку, в будові самих молекул. Чим більша ступінь полярності (несиметричності) молекул, тим легше вони піддаються активації. І чим ближча будова молекули до уніполярної, тим важче вона активується зовнішніми чинниками.

Опосередкованим підтвердженням впливу просторової будови молекули на її активацію може, на нашу думку, бути їх температура запалювання [7], яка у метану рівна 545, у пропану – 504, а у молекули бутану – 430 °С.

Висновки. Теоретичними і експериментальними дослідженнями обґрунтована концепція підвищення енергоефективності паливних установок на основі оптимізації окислювально-відновних реакцій при додатковій активації молекул-реагентів реакції горіння від різних енергетичних чинників. Електроактивація пропан-бутанової суміші і повітря призводить до зменшення часу нагріву води на 19,0...22,1 % при частоті активуючої імпульсної високої напруги 100...120 Гц.

Електроактивація природного газу і повітря призводить до зменшення часу нагріву на 12,0 % при час-

тоті 100 Гц. Електроактивація тільки повітря зменшує час нагріву на 11,1 %, що при $НР_{0,05}=2,46$ свідчить про несуттєвість відмінностей між вказаними варіантами.

Список використаних джерел

1. Краснов К. С. Физическая химия. / Под ред. К. С. Краснова. М.: Высшая школа, 2001.– Кн. 1.– 512 с; кн. 2, - 319 с.
2. Стромберг А. Г. Физическая химия / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко // - М.: Высшая школа, 2001.– 527 с.
3. Червінський Л. С. Використання енергетичних параметрів молекул для підвищення ефективності окислювально-відновних реакцій. / Л. С. Червінський, Б. М. Ковалишин // - Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – Мелітополь, 2016. - Вип. №4. - С.69-77.
4. Шкляр В. С., Овсій О. В. Патент України №24193. Спосіб підготування окислювача до спалювання та пристрій для його здійснення. В. С. Шкляр, О. В. Овсій – Бюл. №5, 1998.
5. Кудрявцев И. Ф. Электрический нагрев и электротехнология / И. Ф. Кудрявцев, В. А. Карасенко.– М.: Колос, 1975.– 384 с.
6. ГОСТ 30319.2-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости. – Минск: Межгос. совет по стандарт., метрол. и сер тиф., 1996. – 72 с.
7. Мала гірнича енциклопедія / [за ред. В.С. Білецького]. – Донецьк: "Донбас", 2004.–Т.1.– 640 с.

Аннотация

КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНЫХ УСТАНОВОК

Ковалишин Б. М.

Концепция повышения энергоэффективности топливных установок заключается в применении активации молекул-реагентов реакции горения при помощи различных источников энергии. Теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию электроактивации молекул-реагентов реакции горения подтверждают целесообразность практического применения концепции.

Abstract

CONCEPT THE IMPROVEMENT ENERGYEFFICIENCY OF THE FUEL INSTALLATIONS

B. Kovalyshyn

The concept of energy efficiency fuel plants is to use molecules activating reagents combustion reaction using different energy sources. Theoretical and experimental research on justification electric activation molecules reagents confirm the feasibility of the combustion of the practical application of concepts.