

УДК 537.523.3:662.7

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАЛИВНИХ УСТАНОВОК ЧЕРЕЗ АКТИВАЦІЮ МОЛЕКУЛ-РЕАГЕНТІВ РЕАКЦІЇ ГОРІННЯ

Ковалишин Б.М., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
Тел. (066)12-66-532

**Анотація** – теоретично та експериментально обґрунтовано спосіб підвищення енергоефективності паливних установок за рахунок активації молекул-реагентів реакції горіння під дією електричного поля високої напруги, приведено варіант технічної реалізації пропонуваного способу.

**Ключові слова** – молекули-реагенти, паливо, окиснювач, відновник, висока напруга, енергоефективність.

*Постановка проблеми.* Економія паливно-енергетичних ресурсів за рахунок підвищення ефективності використання енергоносіїв є одним з основних завдань сучасної науки і виробництва. Економіка ж нашої країни вирізняється високою енергозатратністю серед інших. На початку третього тисячоліття Україною витрачалося на одиницю валового внутрішнього продукту енергоносіїв вартістю 1400 єкю (умовних грошових одиниць). Країни ж Північної Америки і Євросоюзу витрачають 500-600 єкю на одиницю валового внутрішнього продукту, а Японія – близько 400 єкю [1]. Відповідно, більша витрата енергоносіїв на одиницю продукції справляє більший негативний питомий вплив на оточуюче середовище. Тому підвищення ефективності використання енергоносіїв є актуальним як для економіки в цілому, так і необхідним для кожної галузі з точки зору економічної та екологічної ефективності їх функціонування.

Традиційні викопні енергоносії на даний час є основним джерелом енергії практично всіх економік світу. Джерелами теплової енергії є традиційні і переважна більшість нетрадиційних енергоносіїв. Теплова енергія отримується в результаті їх спалювання в окислювальному газовому середовищі, тобто при протіканні окислювально-відновних хімічних реакцій. Тому, при використанні енергоносіїв важливим завданням є оптимізація протікання хімічних реакцій.

Саме процес активації молекул-реагентів екзотермічних реакцій горіння є об'єктом наших теоретичних та експериментальних досліджень.

Предметом досліджень є технічні і технологічні режими та обладнання для оптимізації реакції горіння вуглеводневих палив в повітрі через дію на них електричним полем високої напруги.

*Метою* даної роботи є теоретичне та експериментальне обґрунтування підвищення ефективності протікання екзотермічних реакцій горіння на прикладі спалювання вуглеводневого газоподібного палива в повітрі в електричному полі високої напруги.

*Аналіз останніх досліджень.* Основними енергетичними характеристиками палива є його теплотворна здатність і температура полум'я. Теплотворна здатність (питома теплота згорання) палива — це кількість теплоти (МДж/кг), яка виділяється при повному згоранні 1 кг твердого чи рідкого палива, або 1 м<sup>3</sup> газоподібного палива. На практиці розрізняють вищу  $Q_v^p$  і нижчу  $Q_n^p$  теплотворну здатність палива [2]. Вища теплотворна здатність є характеристикою палива при повному його згоранні і конденсації утвореної під час горіння водяної пари. Так як в реальних умовах водяна пара викидається в атмосферу, тому у теплотехнічних розрахунках і довідковій літературі під терміном теплотворна здатність палива розуміють нижчу теплотворну здатність палива, в якій не враховується теплота конденсації водяної пари. Важливими є питання, чи теплотворна здатність кожного традиційного і нетрадиційного енергоносія – величина строго визначена і незмінна, чи можна за допомогою відповідних технологій змінити її в сторону збільшення.

Процеси теплогенерування пов'язані, в основному, з окислювально-відновними екзотермічними реакціями горіння. Для оптимізації цих процесів доцільно розглянути їх 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.

Ще у 1889 році Ареніус відкрив закон хімічної кінетики [3], відомий як закон його імені. Цей закон характеризує можливість протікання хімічних реакцій між молекулами-реагентами. Він зв'язує константу швидкості реакції з енергією активації ( $E_A$ ), яка 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. Рівняння (1) містить дві невідомі величини –  $k_0$  і  $E_A$ . Після логарифмування обох частин рівняння (1) отримуємо формулу

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_A}{RT} \quad (2)$$

Для більшої зручності розрахунків, використовуються не натуральні, а десяткові логарифми

$$\lg k = \lg k_0 - \frac{E_A}{4,575T} \quad (3)$$

де число  $1/4,575$  – модуль переводу натуральних логарифмів у десяткові, помножений на величину  $R = 1,987$ .

Енергію активації можна визначити за формулою

$$E_A = (\lg k_0 - \lg k) 4,575T \quad (4)$$

Із формули (4) видно, що енергія активації молекул прямо пропорційно залежить від температури.

Резонно виникає питання – чи можлива активація молекул іншими, крім температури, факторами?

Процес активації молекулярної системи полягає у переведенні енергетичного стану електронів на більш високий енергетичний рівень.

Перехід системи на більш високий енергетичний рівень можна пояснити наступним. Всі системи поділяються на стійкі, нестійкі і метастабільні. Метастабільні системи є найбільш поширеними. Метастабільна система стійка по відношенню до всіх систем, незначно відмінних від неї, але є принаймні одна система, по відношенню до якої вона нестійка. Наприклад, стан А, що має найменшу енергію Гіббса, є стійким, а стан Б, що має більшу енергію Гіббса – метастабільним станом відносно стану А. Однак для переходу системи із стану Б в стан А слід подолати потенційний енергетичний бар'єр. Якщо ж енергія збудження (активації) менша від потенційного бар'єру, то система залишається в стані Б.

Можливі енергетичні стани атома (молекули) можна пояснити за допомогою енергетичної діаграми на рис. 1.

Процес збудження атома (молекули) полягає в переході під дією енергетичного чинника одного або кількох валентних електронів із стаціонарної оболонки в атомі (молекулі) на нестаціонарні, що відповідають підвищеним рівням збудження.

На енергетичній діаграмі атома, приведений на рис. 1, стаціонарні енергетичні рівні зображені штрих-пунктирними лініями, а рівні збу-

дження – штриховими. Точкова пунктирна пряма відповідає мінімальному енергетичному рівню енергії електрона, при якому стає можливим вихід електрона з атома чи молекули, тобто їх іонізація. Іонізовані атоми і молекули мають дещо інші фізико-хімічні властивості, порівняно з нейтральними.

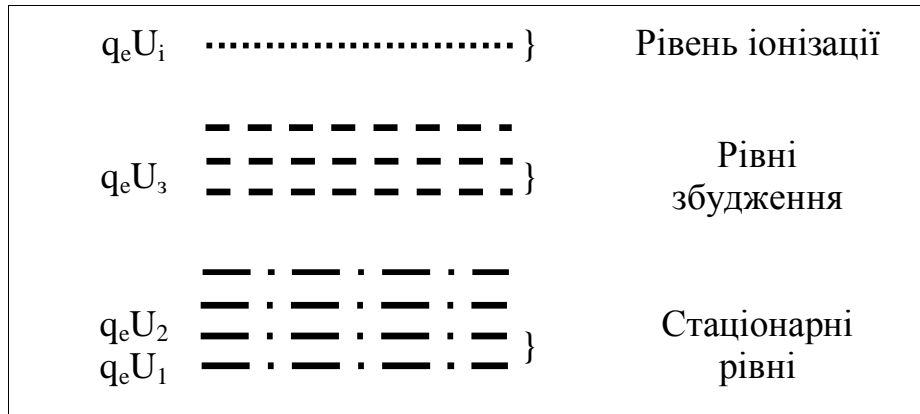


Рис. 1. Енергетична діаграма атома.

*Теоретичне обґрунтування активації молекул-реагентів реакції горіння для підвищення енергоефективності паливних установок.* Для активації молекул-реагентів за нашою робочою гіпотезою, крім теплової ( $E_{AT}$ ), можна використовувати й інші зовнішні джерела з енергією ( $E_{AZ}$ ). Доповнивши формулу (4) ефектом дії на молекули-реагенти іншими факторами отримаємо

$$E_A = E_{AT} - E_{AZ} = [(\lg k_0 - \lg k)4,575 T] - Wb, \quad (5)$$

де  $W$  – енергія від зовнішніх джерел;

$b$  – коефіцієнт використання зовнішньої енергії.

З формули (5) видно, що теплова енергія активації може бути зменшена за рахунок використання інших зовнішніх джерел активації молекул.

До джерел зовнішньої енергії для активізації молекул-реагентів можна віднести, наприклад, електромагнітний вплив, ультрафіолетове опромінення або опромінення потоком заряджених частинок. З допомогою потоку електромагнітного та інфрачервоного лазерного випромінювання досягали ініціалізації і збільшення реакційної здатності речовин [4]. Позитивний вплив неоднорідного стаціонарного електричного поля на протікання реакції горіння описаний в [5, 6].

Найбільш прийнятним, з нашої точки зору, способом активації молекул-реагентів окислювально-відновлювальної реакції горіння є їх активація в полі високої напруги.

Для створення високої напруженості електричного поля використали голчасту електродну систему. Початкові значення напруженості

електричного поля  $E_0$  (кВ/см) і напруги на електродах  $U_0$  (кВ) визначаються за формулами [9]:

$$E_0 = 31\rho_{II} \left( 1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho_{II}r}} \right); \quad (6)$$

$$U_0 = 0,82 \cdot E_0 \cdot r \cdot \ln \frac{2h}{r}, \quad (7)$$

де  $\rho_{II}$  – відносний питомий опір повітря;

$r$  – радіус кривизни вістря голчастого електроду, см;

$h$  – відстань між різнополюсними електродами, см.

Формули (6) і (7) застосовуються при  $h > 15r$ .

Енергію активації молекул-реагентів у полі високої напруги розряду можна знайти з виразу

$$W = I_K U_0 t, \quad (8)$$

де  $I_K$  – струм у колі розряду,

$t$  – час, за який протікає 1 моль (22,4 л) газу, який піддається активації.

Використовуючи емпіричні формули (6) і (7) та формулу (8) отримаємо математичну модель залежності енергії активації молекул-реагентів від параметрів високовольтної активаційної системи

$$E_A = [(\lg k_0 - \lg k)4,575 T] - 0,82 \cdot I_K \cdot b \cdot t \cdot \left[ 31 \cdot \rho_{II} \left( 1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho_{II} \cdot r}} \right) \cdot r \cdot \ln \frac{2h}{r} \right], \quad (9)$$

Із формули (9) витікає, що витрати теплової енергії на активацію молекул-реагентів екзотермічної реакції, будуть знижені на величину ефективної енергії активації від зовнішнього джерела  $E_{A3}$ . Тому на таку ж величину  $E_{A3}$  буде збільшена корисна тепла енергія при спалюванні вуглеводневого або іншого виду палива. Дане твердження свідчить про підвищення теплотворної здатності палива і, тим самим, про підвищення енергетичної ефективності паливної установки, при застосуванні системи електроактивації молекул-реагентів у полі високої напруги.

*Експериментальна перевірка способу електроактивації молекул-реагентів реакції горіння.* Із всіх можливих способів активації молекул – компонентів окислювально-відновлювальної реакції горіння нами для дослідження вибрана електроактивація. Як компонент-відновник вибрано вуглеводневе паливо (зріджений газ пропан), як окислювач – кисень повітря.

Розроблена експериментальна установка забезпечила проведення дослідження ефективності впливу високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля (ВПНЕП) на окислювач і

паливо при спалюванні пропану. Функціональна схема експериментальної установки показана на рис. 2.

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

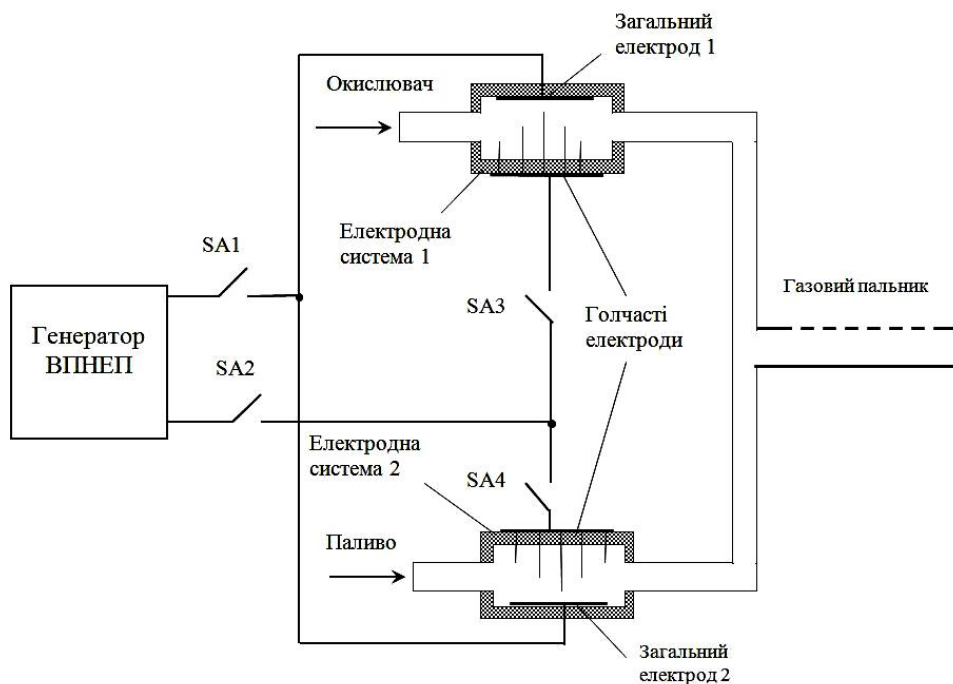


Рис. 2. Функціональна схема експериментальної установки.

Експериментальні дослідження ефективності впливу електроактивації окислювача і палива при спалюванні пропану в повітрі проводилось за такими варіантами:

- 1) – спалювання без електроактивації (контроль) ;
- 2) – спалювання з електроактивацією повітря;
- 3) – спалювання з електроактивацією пропану;
- 4) – спалювання з електроактивацією повітря і пропану.

Ефективність електроактивації застосування ВПНЕП проводилась за часом нагрівання 1,0 л води від 20 °С до 40 °С. Повторність експерименту трьохкратна. Результати експерименту приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вплив електроактивації компонентів реакції горіння на час нагрівання води

Спосіб спалювання палива	Час нагрівання води (с) при частоті електричного поля						
	0 Гц	20 Гц	40 Гц	60 Гц	80 Гц	100 Гц	120 Гц
Без електроактивації (контроль)	124	–	–	–	–	–	–
З електроактивацією повітря	–	125,0	121,7	116,7	113,3	113,3	121,7
З електроактивацією пропану	–	120,0	113,3	110,7	110,0	112,3	110,7
З електроактивацією повітря і пропану	–	110,0	113,3	106,7	105,0	98,3	96,7
						НІР	4,33

Отримані результати показують, що електроактивація компонентів екзотермічної реакції горіння пропану в повітрі скорочує час нагрівання 1 л води практично у всіх варіантах дослідження. Найбільш позитивний ефект спостерігається при дії на обидва компоненти реакції горіння високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля з частотою 100–120 Гц.

#### Висновки.

1. Активація молекул–компонентів реакції горіння високовольтним пульсуючим нерівномірним електричним полем призводить до зменшення витрати палива.
2. Найбільша ефективність застосування електроактивації (до 22%) виявлена при частоті високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля 120 Гц та активації обох компонентів реакції горіння.
3. В перспективі використання пропонованого способу і обладнання для підвищення ефективності паливних установок різних типів.

#### Література

1. Енергетичний менеджмент: Навчальний посібник. / [Прахівник А.В., Розен В.П., Разумовський О.В. та ін.] – К.: Київ, Нот.ф-ка, 1999. – 184 с.

2. Корчемний М. Энергозбереження в агропромисловому комплексі. / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 976 с.

3. Краснова К.С. Физическая химия / К.С. Краснова – М.: Высшая школа, 2001, 512 с.

4. Багратишвили В.Н. Многофотонные процессы в молекулах в инфракрасном лазерном поле / В.Н. Багратишвили, В.С. Летохов, А.А. Макаров. – М.: ВИНТИ, 1988. – 245 с.

5. Патент України №24193. Спосіб підготування окислювача до спалювання та пристрій для його здійснення / В.С. Шкляр, О.В. Овсій – Бюл. №5, 1998.

6. Патент України №52845. Пристрій підготовки окислювача до спалення палива / В.О. Мальцев, В.М. Кушнір, В.А. Педос, М.М. Ніколаєв – Бюл. №1, 2003.

## **ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНЫХ УСТАНОВОК ПУТЕМ АКТИВАЦИИ МОЛЕКУЛ–РЕАГЕНТОВ РЕАКЦИИ ГОРЕНИЯ**

Ковалышин Б.М.

### *Аннотация*

**Теоретически и экспериментально обоснован способ повышения энергоэффективности топливных установок за счет активации молекул-реагентов реакции горения под воздействием электрического поля высокого напряжения, приведен вариант технической реализации предлагаемого способа**

## **THE FEASIBILITY STUDY TO IMPROVE OF THE ENERGY EFFICIENCY OF COMBUSTION EQUIPMENTS BY ACTIVATING OF MOLECULES-REAGENTS OF BURNING REACTION**

B. Kovalyshyn

### *Summary*

**One is considered of methods of rise of energy efficiency of fuel options, based on activating of molecules-reagents of reaction of burning under action of field of crown digit. In theory a method of rise of energy efficiency of fuel options due to activating of molecules from outsourcings is grounded. The example of technical realization of offered method is shown.**