

Енергосберегающие технологии

УДК 537-77:544.431.122:539.91

Ковалишин Б.М., канд. техн. наук*Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ
вул. Героїв Оборони, 12, 03041 Київ, Україна, e-mail: bikoval15@ukr.net*

Роль електроактивації молекул-реагентів реакції горіння у підвищенні енергоефективності паливних установок при спалюванні пропан-бутанової суміші та природного газу

Проаналізовано стан проблеми підвищення енергоефективності паливних установок на вуглеводневих енергоносіях. Показано зв'язок енергоефективності паливних установок на вуглеводневому паливі з електроактивацією та поляризацією молекул-реагентів в полі імпульсної високої напруги. Наведено результати експериментальних досліджень щодо застосування електроактивації молекул-реагентів реакції горіння при спалюванні пропан-бутанової суміші та природного газу у повітряному середовищі. Отримані результати експериментальних досліджень доводять ефективність електроактивації молекул-реагентів реакції горіння для підвищення енергоефективності паливних установок на вуглеводневих носіях. Сформульовано концепцію підвищення енергоефективності паливних установок, яка полягає у підвищенні їх енергоефективності за рахунок збільшення теплопродуктивності спалюваного палива при компенсації теплової енергії, яка витрачається на термоактивацію молекул-реагентів реакції горіння, енергією від інших енергетичних чинників. *Бібл. 11, рис. 4.*

Ключові слова: паливо, енергоефективність, електричне поле, висока напруга, активація, поляризація.

Постановка проблеми. Рівень розвитку економіки та добробут населення практично усіх країн світу в наш час визначає наявність та ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів. Терміни вичерпання розвіданих та прогнозних запасів традиційних вуглеводневих енергоносіїв вимірюються кількома десятками років [1, 2]. Подовження термінів використання цих енергоносіїв дає змогу виграти час, за який можна виконати відповідні наукові дослідження для отримання нових енергетичних носіїв та технологій, які б забезпечили енергією виробництво

та населення. Подовження термінів використання викопних вуглеводневих енергоносіїв актуальне також з точки зору збільшення термінів їх використання в хімічній і харчовій галузях та зменшення негативного впливу на довкілля. Підвищення ефективності енергогенеруючих установок є тим напрямком розвитку технологій спалювання, який дасть змогу збільшити строки використання викопних вуглеводневих енергоносіїв і тому є своєчасним та актуальним.

Поряд з подовженням строків використання вуглеводневих енергоносіїв важливе значен-

ня має зниження негативного навантаження на довкілля через зменшення об'ємів спалюваних енергоносіїв та їх повнішу утилізацію [3].

Основну кількість теплової та інших видів енергії (75 % і більше) [4] отримують при спалюванні традиційних енергоносіїв, тому процесу їх горіння слід приділити підвищену увагу. Процес горіння є екзотермічною окислювально-відновною хімічною реакцією. Тому оптимізація протікання хімічних реакцій горіння необхідна для підвищення ефективності теплогенерування при використанні вуглеводневих енергоносіїв.

Мета досліджень — обґрунтування процесу оптимізації протікання хімічних реакцій горіння при спалюванні газоподібних вуглеводневих палив в окислювальному повітряному середовищі.

Матеріали та методика досліджень. Підвищення енергоефективності паливних установок основане на використанні основного положення теорії хімічної кінетики — закону Арреніуса [5], який характеризує можливість протікання та швидкість хімічних реакцій між молекулами-реагентами. Теоретичні та експериментальні дослідження показали можливість підвищення ефективності спалювання газоподібних вуглеводневих енергоносіїв у повітрі при електроактивації молекул-реагентів реакції горіння. Теоретично доведено [6], що енергоефективність паливних установок при спалюванні вуглеводневого палива у повітрі може бути підвищена через дію на компоненти реакції горіння високовольтним пульсуючим нерівномірним електричним полем високої напруженості (ВПНЕП).

Експериментальні дослідження електроактивації молекул-реагентів реакції горіння пропану та природного газу в повітрі показали можливість практичної реалізації пропонованого способу в паливних установках різного типу для газоподібних вуглеводневих енергоносіїв [7].

Експериментальні дослідження ефективності електроактивації молекул-реагентів реакції горіння полягали в проведенні трьох серій дослідів.

У першій серії було досліджено вплив ВПНЕП окремо на повітря та пропан-бутанову суміш (далі пропан) та одночасно на обидва компоненти.

Перша серія дослідів мала такі варіанти спалювання:

- з електроактивацією повітря;
- з електроактивацією пропану;
- з електроактивацією повітря та пропану одночасно;
- без електроактивації (контроль).

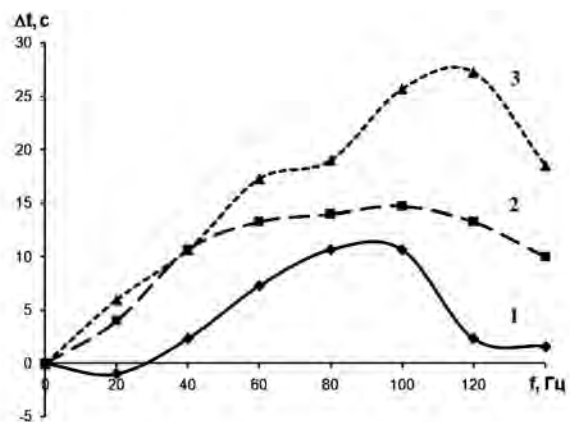


Рис. 1. Залежність зменшення часу нагрівання води від частоти імпульсів при електроактивації повітря (1), пропану (2) та повітря і пропану (3) (експеримент 1).

У першій серії експериментальних досліджень 1,0 л води нагрівався від 20 до 40 °С. Імпульси електричного поля змінювалися в діапазоні частот $f = 0-140$ Гц. Ефективність електроактивації компонентів реакції горіння при застосуванні ВПНЕП оцінювалася за перевищенням часу (Δt) нагрівання води без активації компонентів реакції горіння над часом при їх активації. Повторність експерименту трикратна. Результати першого експерименту дані на рис. 1

У другій та третій серіях експериментів досліджувався вплив ВПНЕП на молекули-реагенти реакції горіння при спалюванні пропан-бутанової суміші та природного газу в повітрі. В обох експериментах імпульси електричного поля досліджувалися в діапазоні частот 0–200 Гц. Ефективність дії імпульсного електричного поля різної частоти при спалюванні пропану та природного газу оцінювалася за часом нагрівання 0,7 л води від 20 до 40 °С. Повторності експериментів трикратні.

У другому експерименті варіанти дослідження були такими:

- 1) з випрямленням — на електродну систему 1 в каналі повітря подається імпульсна переважно негативна напруга, а на електродну систему 2 в каналі пропану — імпульсна переважно позитивна напруга (– на повітря, + на пропан);
- 2) з випрямленням (+ на повітря, + на пропан);
- 3) з випрямленням (+ на повітря, – на пропан);
- 4) з випрямленням (– на повітря, – на пропан);
- 5) з випрямленням (+ на повітря), пропан — без випрямлення.

Контроль — без випрямлення високовольтного імпульсного сигналу.

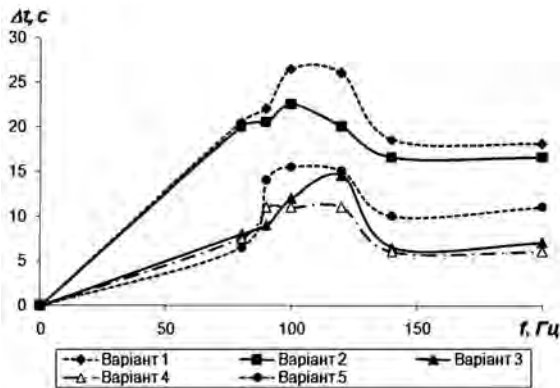


Рис.2. Залежність зменшення часу нагрівання води від частоти імпульсів для варіантів 1–5 електроактивації пропану та повітря (експеримент 2).

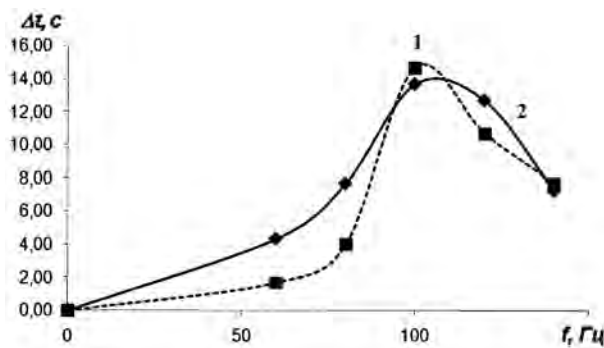


Рис.3. Залежність величин зниження часу нагрівання води від частоти імпульсів при електроактивації повітря (1) та природного газу та повітря (2) (експеримент 3).

Ефективність впливу ВПНЕП на компоненти реакції горіння оцінювалася за різницею в часі між дослідними варіантами та контролем (без електроактивації молекул). Результати другого експерименту наведені на рис.2.

У третьому експерименті була зроблена оцінка ефективності електроактивації молекул природного газу та повітря. В одному варіанті цього експерименту здійснювалося дослідження активації одного тільки повітря, в другому варіанті — спільної активації повітря та природного газу.

Ефективність електроактивації оцінювалася за скороченням часу нагрівання води. Результати третього експерименту наведені на рис.3.

Результати досліджень. Одержані в першій серії дослідів експериментальні результати вказують, що електроактивація компонентів реакції горіння пропану в повітрі порівняно з контролем суттєво скорочує час нагрівання води практично у всіх варіантах. Розрахована $НІР_{0,05} = 4,33$. При електроактивації повітря в полі високої напруги на частоті 80 та 100 Гц спостерігається зменшення витрати палива на

8,6 %. Електроактивація пропану в полі пульсуючої з частотою 80 Гц високої напруги дала змогу 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 здійснюється принцип суперпозиції по сумісному впливу активації компонентів реакції горіння.

Одержані в експерименті 2 результати свідчать про суттєве скорочення часу нагрівання води при електроактивації повітря та пропану в електричному полі високої напруженості практично у всіх варіантах. Для всіх варіантів дослідження максимуми зниження часу нагрівання води відмічені при використанні імпульсів з частотою 100–120 Гц. Найбільший позитивний ефект (зниження часу нагріву на 22,1–19,0 %) спостерігали у вказаному діапазоні частот для варіанту з подачею на електродні системи імпульсів високої напруги без випрямлення. Розрахована для другого експерименту $НІР_{0,05} = 3,31$ дає підстави вважати суттєвими відмінності між результатами різних варіантів.

Результати експериментів 1, 2 подібні та показують, що найбільша ефективність спалювання пропану в повітрі спостерігається при електроактивації обох компонентів реакції горіння імпульсами високої напруги з частотою 100–120 Гц без випрямлення.

З результатів експерименту 3 видно, що активація високовольтною пульсуючою напругою природного газу та 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 та повітря скорочення часу нагрівання води склало 12,0 %. Розрахована $НІР_{0,05} = 2,46$ для експерименту 3 свідчить про неістотність відмінностей між обома варіантами дослідження практично для всього досліджуваного діапазону частот ВПНЕП. Така неістотність відмінностей пояснюється, з нашої точки зору, тим, що у варіанті з одночасною активацією обох компонентів 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 експерименту 3 параметри електричного поля не

дають змогу в достатній мірі провести активацію молекул природного газу. Оскільки вміст у природному газі метану складає 89–98 % [8], то, з нашої точки зору, отриманий результат пояснюється неефективністю впливу ВПНЕП на молекули метану. Тому необхідно продовжити дослідження дії високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля на молекули-реагенти реакції горіння природного газу (метану) в повітрі.

Різниця в ступені електроактивації молекул пропану та метану полягає, на нашу думку, в будові самих молекул. Відомо, що протікання хімічних реакцій супроводжується переходом електронів з вищої (зайнятої) на нижчу (вакантну) орбіталь [10]. Рівномірність розподілу електронних орбіталей в молекулі характеризується полярністю. Полярність — найважливіша властивість ковалентного зв'язку, яка пов'язує структуру та реакційну здатність молекул. Полярність полягає у нерівномірності розподілу густини електронної хмари між двома атомами молекули внаслідок різниці їх електронегативностей. Чим більша ця нерівномірність, тим більш полярний зв'язок. Чим більший ступінь полярності (несиметричності) молекул, тим легше вони піддаються активації, і чим ближча будова молекули до уніполярної, тим важче вона активується зовнішніми чинниками.

Просторова будова молекули CH_4 може бути представлена за допомогою куле-стрижневої моделі. На рис.4,а показана куле-стрижнева модель молекули метану. Форма молекули тетраедрична з валентними кутами H-C-H , що дорівнюють $109^\circ 28'$. Молекула метану є симетричною, отже неполяризованою. Симетричність молекули метану робить її стійкою до переведення електронів на енергетичні рівні збудження.

Просторова будова молекули пропану C_3H_8 має зигзагоподібну форму (рис.4,б). Молекула пропану має несиметричний розподіл електронних орбіталей. Це дає змогу з меншими енергетичними затратами переводити молекули пропану на рівні збудження.

Атоми вуглецю в молекулах з розгалуженими ланцюгами відрізняються типом з'єднання з

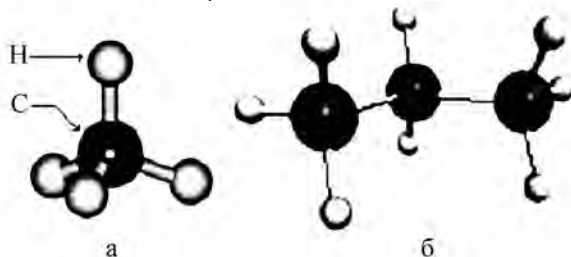


Рис.4. Просторова будова молекул метану (а) та пропану (б).

іншими вуглецевими атомами. Із збільшенням числа атомів вуглецю у складі молекул збільшується ймовірність розгалуження вуглеводневих ланцюгів. Кількість ізомерів вуглеводнів зростає із збільшенням в молекулі кількості атомів вуглецю.

Загальна поляризованість P складного (багатокомпонентного) газу визначається за формулою [9]:

$$P = (4M/3\rho)\pi [N_1 \alpha_1 + N_2 \alpha_2 + \dots + N_k \alpha_k],$$

де M — молекулярна маса газу, г/моль; ρ — густина газу, г/см³; N_1-N_k — об'ємна концентрація компонентів газу, моль⁻¹; $\alpha_1-\alpha_k$ — поляризованість молекул кожної газової компоненти, см³.

Поляризованість як міра здатності молекули до поляризації залежить від рухливості електронів. Так, р-електрони більш рухливі, ніж s-електрони. Тому молекули з π -зв'язком легше піддаються поляризації, ніж молекули з σ -зв'язком.

Опосередкованим підтвердженням впливу полярності на активацію молекул може бути їх температура займання [9], яка у метану дорівнює 545°C , у пропану — 504°C , а у ще більш поляризованої молекули бутану — 430°C .

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень сформульована концепція підвищення енергоефективності паливних установок [11]: «Підвищення енергоефективності паливних установок здійснюється за рахунок компенсації теплової енергії, що витрачається на термоактивацію молекул-реагентів реакції горіння, енергією від інших енергетичних чинників».

Висновки

Підвищення ефективності паливних установок при використанні газоподібних вуглеводневих палив можливе внаслідок електроактивації молекул-реагентів реакції горіння в нерівномірному електричному полі високої напруги.

Електроактивація пропану та повітря призводить до зменшення часу нагріву води на 19,0–22,1 % при частоті активуючої імпульсної високої напруги 100–120 Гц. Спалювання активованого пропану в активованому повітрі дає аддитивний ефект.

Електроактивація природного газу та повітря в полі імпульсної високої напруги призводить до зменшення часу нагріву на 12,0 % при частоті 100 Гц. Електроактивація тільки повітря зменшує час нагріву на 11,1 %, що при

$НІР_{0,05} = 2,46$ свідчить про несуттєвість відмінностей між вказаними варіантами.

Різницю в ефективності електроактивації пропану та природного газу можна пояснити відмінностями поляризованостей молекул пропану та метану.

Сформульовано концепцію підвищення енергоефективності паливних установок.

Список літератури

1. Гуков Я.С. Використання відновлюваних джерел енергії в сільському господарстві (Наукова доповідь). — Глеваха : Нац. наук. центр «ІМЕСГ», 2005. — 24 с.
2. Праховник А.В., Розен В.П., Разумовський О.В. Енергетичний менеджмент : Навчал. посіб. — Київ : Нотна ф-ка, 1999. — 184 с.
3. Матвеева О.Л., Алієва О.Р. Можливість застосування силових полів для інтенсифікації біодеградації нафтопродуктів // Проблеми екологічної біотехнології. — 2014. — № 2.
4. [Сжигание традиционных энергоносителей]. — <https://www.gov.uk/government/publications>
5. Физическая химия / Под ред. К.С.Краснова. — М. : Высш. шк., 2001. — Кн. 1. — 512 с.; Кн. 2. — 319 с.
6. Ковалишин Б.М. Підвищення енергоефективності паливних установок через активацію молекул-реагентів реакції горіння // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2011. — № 1. — С. 136–139.
7. Ковалишин Б.М. Застосування електричного поля високої напруженості для активації молекул-реагентів реакції горіння // Механізація та електрифікація сільського господарства : Міжвід. темат. наук. зб. ННЦ «ІМЕСГ». — 2012. — Вип. 96. — С. 481–490.
8. ГОСТ 30319.2–96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости. — Введ. 01.01.96.
9. Эйринг Г., Лин С.Г., Лин С.М. Основы химической кинетики. — М. : Мир, 1983. — 528 с.
10. Мала гірнича енциклопедія / За ред. В.С.Білецького. — Донецьк : Донбас, 2004. — Т. 1. — 640 с.
11. Ковалишин Б.М. Обґрунтування концепції підвищення ефективності паливних установок // Енергетика та електрифікація. — 2015. — № 10. — С. 12–19.

Надійшла до редакції 30.06.17

Ковалишин Б.М., канд. техн. наук

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев
ул. Героев Оборонь, 12, 03041 Киев, Украина, e-mail: bikoval15@ukr.net*

Роль електроактивації молекул-реагентів реакції горіння в підвищенні енергоефективності топливних установок при сжигании пропан-бутанової суміші і природного газу

Проаналізовано стан проблеми підвищення енергоефективності топливних установок на углеводородних енергоносітелях. Показана зв'язь енергоефективності топливних установок на углеводородному паливі з електроактивацією і поляризацією молекул-реагентів в полі імпульсного високого напруження. Приведені результати експериментальних досліджень по застосуванню електроактивації молекул-реагентів реакції горіння при сжигании пропан-бутанової суміші і природного газу в воздушній середі. Отримані результати експериментальних досліджень доводять ефективність електроактивації молекул-реагентів реакції горіння для підвищення ефективності топливних установок на углеводородних носітелях. Сформульована концепція підвищення енергоефективності топливних установок, яка заключається в підвищенні їх енергоефективності за рахунок збільшення теплової потужності сжигаемого палива при компенсації теплової енергії, яка витрачається на термоактивацію молекул-реагентів реакції горіння, енергією від інших енергетических факторів. *Бібл. 11, рис. 4.*

Ключевые слова: паливо, енергоефективність, електричне поле, високе напруження, активація, поляризація.

Kovalyshyn B.M., Candidate of Technical Sciences
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev
 12, Geroiv Oborony Str., 03041 Kiev, Ukraine, e-mail: bikoval15@ukr.net

The Role of Electrical Activation of Molecules Reagents Combustion Reaction in the Energy Efficiency of Fuel Combustion Installations with a Propane-Butane Mixture and Natural Gas

The state energy efficiency problems of fuel installations on hydrocarbons were analyzed. Shown connection energy fuel systems on hydrocarbon fuels with electrical activation and polarized molecules reagents in the field of pulsed high voltage. The results of experimental studies on the use of molecules reagents electrical activation of combustion reaction at burning propane-butane mixture and natural gas in the air. The obtained experimental results prove the effectiveness of electrical activation of molecules reagent of the combustion to improve fuel systems efficiency for hydrocarbon carriers. With us was formulated the concept of energy efficiency ricing of fuel plants, which is to increase energy efficiency by increasing the heat output of fuel combusted in the compensation of thermal energy that is spent on thermal activation molecules reagents combustion reaction, energy from other energy factors. *Bibl. 11, Fig. 4.*

Key words: fuel, energy efficiency, electrical field, high voltage, activation, polarization.

References

1. Hukov Ya.S. Vykorystannya vidnovlyuvanyh dzherel enerhiyi v sil's'komu hospodarstvi (Naukova dopovid"), Glevakha : Nacional'nij naukovij centr «Institut mehanizacii ta elektrifikacii sil's'kogo gospodarstva», 2005, 24 p. (Ukr.)
2. Prahovnyk A.V., Rozen V.P., Razumovskij O.V., Enerhetychnyj menedzhment, Kiev : Notna fabrika, 1999, 184 p. (Ukr.)
3. Matvyeyeva O.L., Aliyeva O.R., Mozhlyvist' zastosuvannya sylovyx poliv dlya intensyfikaciyi biodehradaciyi naftoproduktiv, *Problemy ekologichnoyi biotechnologiyi*, 2014, (2).
4. [Spalyuvannya tradytsiynykh enerhonosiyiv]. — <https://www.gov.uk/government/publications>
5. Fyzycheskaya hymyya, Ed. K.S.Krasnov, Moscow : Vysshaya shkola, 2001, Iss. 1, 512 p.; Iss. 2, 319 p.
6. Kovalyshyn B.M. Pidvyshhennya enerhoefektyvnosti palyvnyx ustanovok cherez aktyvaciyu molekul-reahentiv reakciji horinnya, *Naukovi visti NTUU «KPI»*, 2011 (1), pp.136–139. (Ukr.)
7. Kovalyshyn B.M. Zastosuvannya elektrychnoho polya vysokoyi napruzhenosti dlya aktyvaciyi molekul-reahentiv reakciji horinnya, *Mexanizaciya ta elektrifikaciya sil's'koho gospodarstva*, Mizhvidomchij tematychnyj naukovyj zbirnyk Nacional'nogo naukovogo centru «Institut mehanizacii ta elektrifikacii sil's'kogo gospodarstva» 2012, Iss. 96, pp. 481–490. (Ukr.)
8. GOST 30319.2-96. Haz pryrodnyj. Metody rascheta fyzycheskyh svojstv. Opredelenye koeffycenta szhymaemosti, Vveden 01.01.96.
9. Ejrin H., Lyn S.H., Lyn S.M. Osnovy hymycheskoj kynetyky, Moscow : Myr, 1983, 528 p.(Rus.)
10. Mala hirnycha encyklopediya, Ed. V.S.Biletsky, Donetsk : Donbas, 2004, 1, 640 p. (Ukr.)
11. Kovalyshyn B.M. Obhruntuvannya koncepciji pidvyshhennya efektyvnosti palyvnyx ustanovok, *Energetyka ta elektrifikaciya*, 2015, (10), pp. 12–19. (Ukr.)

Received June 30, 2017