

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПАЛЮВАННЯ ПРОПАН-БУТАНОВОЇ СУМІШІ І ПРИРОДНОГО ГАЗУ ПРИ ЕЛЕКТРОАКТИВАЦІЇ МОЛЕКУЛ-РЕАГЕНТІВ РЕАКЦІЇ ГОРІННЯ

Червінський Л. С., Ковалишин Б. М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

*Розглянута фізико-хімічна природа окислювально-відновних процесів горіння, експериментально обґрунтовано застосування електроактивації молекул для оптимізації протікання хімічних реакцій горіння при спалюванні газоподібних вуглеводневих палив в окислювальному повітряному середовищі. Різниця в активації пропану і природного газу пояснюється поляризованістю молекул.*

**Постановка проблеми.** Рівень розвитку економік і добробут населення практично всіх країн світу в наш час визначає наявність та ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів. Терміни вичерпання запасів як розвіданих, так і прогностичних традиційних вуглеводневих енергоносіїв вимірюються кількома десятками років [1,2]. Подовження термінів використання цих енергоносіїв дозволило б виграти час, за який можна було провести відповідні наукові дослідження для отримання нових енергетичних носіїв та технологій, які б забезпечили енергією виробництво і населення. Подовження термінів використання викопних вуглеводневих енергоносіїв актуальне також з точки зору збільшення термінів їх використання в хімічній і харчовій галузях і зменшення негативного впливу на довкілля. Тому підвищення ефективності енергогенеруючих установок є тим напрямком розвитку технологій спалювання, який дозволить збільшити строки використання викопних вуглеводневих енергоносіїв і тому є своєчасним та актуальним. Оскільки основну кількість теплової та інших видів енергії (75 % і більше) [3] 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 режимів електроактивації молекул-реагентів для оптимізації протікання хімічних реакцій горіння при спалюванні газоподібних вуглеводневих палив в окислювальному повітряному середовищі.

**Матеріали та методика досліджень.** Підвищення енергоефективності паливних установок ґрунтується на використанні основного положення теорії хімічної кінетики – закону Арреніуса [4], який характеризує можливість протікання і 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 [5], що енергоефективність паливних установок при спалюванні вуглеводневого палива в 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 і природного газу в повітрі показали можливість практичної реалізації запропонованого способу в паливних установках різних типів для газоподібних вуглеводневих енергоносіїв [6]. Експериментальні дослідження ефективності електроактивації молекул-реагентів реакції горіння полягали в проведенні трьох серій дослідів.

У першій серії проведено дослідження впливу ВПНЕП окремо на повітря і пропан, та одночасно на обидва компоненти.

Перша серія дослідів включала такі варіанти:

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

В першій серії експериментальних досліджень 1,0 л води нагрівався від 20 °С до 40 °С. Імпульси електричного поля змінювались в діапазоні частот (f) 0–140 Гц. Ефективність електроактивації компонентів реакції горіння при застосуванні ВПНЕП оцінювалась за перевищенням часу ( $\Delta t$ ) нагрівання води без активації компонентів реакції горіння над часом при їх активації. Повторність експерименту трикратна. Результати першого експерименту приведені на рис. 1.

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

В другому експерименті варіанти дослідження були такими:

Контроль – без випрямлення високовольтного імпульсного сигналу.

1. З випрямленням – на електродну систему в каналі повітря подається імпульсна переважно негативна напруга, а на електродну систему 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.

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

В третьому експерименті проводилася оцінка ефективності електроактивації молекул природного газу і повітря. В одному варіанті цього експерименту проводилось дослідження активації одного тільки повітря, в другому варіанті – спільна активація повітря і природного газу. Ефективність електроактивації оцінювалась за скороченням часу нагрівання води. Результати третього експерименту приведені на рис.3.

**Результати досліджень.** Отримані в першій серії дослідів експериментальні результати показують, 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 і 100 Гц спостерігається зменшення витрати палива на 8,6 %. Електроактивація пропану в полі пульсуючої з частотою 80 Гц високої напруги 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 по сумісному впливу активації компонентів реакції горіння.

Отримані в другому експерименті результати свідчать про суттєве скорочення часу нагрівання води при електроактивації повітря і пропану в електричному полі високої напругеності практично у всіх варіантах.

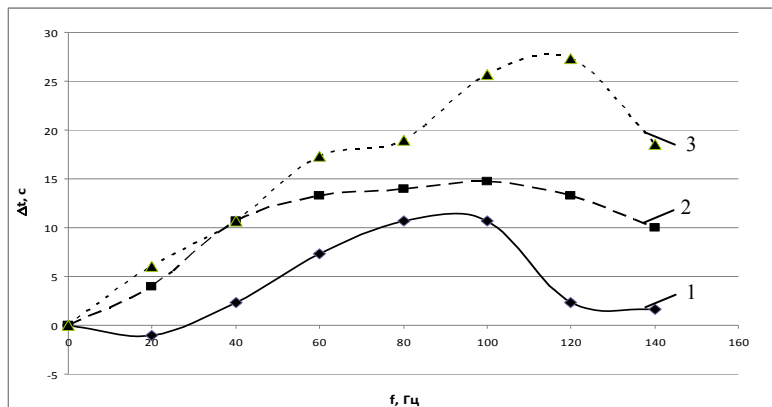


Рисунок 1 - Залежність зменшення часу нагрівання води від частоти імпульсів при електроактивації пропану і повітря (експеримент 1): 1 – активація повітря; 2 – активація пропану; 3 – активація повітря і пропану.

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.

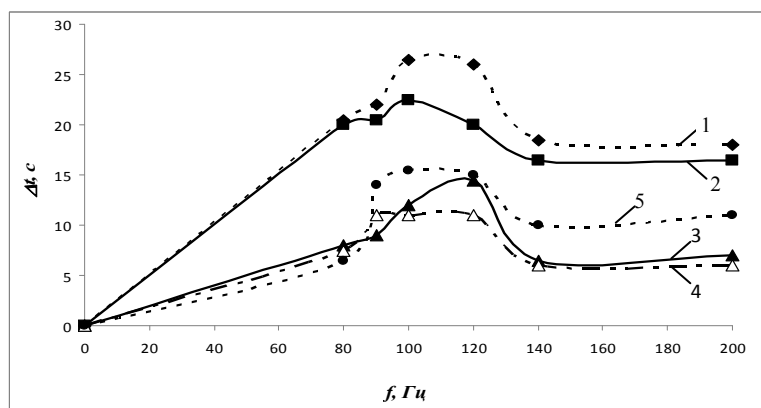


Рисунок 2 - Залежність зменшення часу нагрівання води від частоти імпульсів для різних варіантів електроактивації пропану і повітря (експеримент 2): 1,2,3,4,5 – номери варіантів дослідів

Результати першого і другого експериментів подібні і 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.

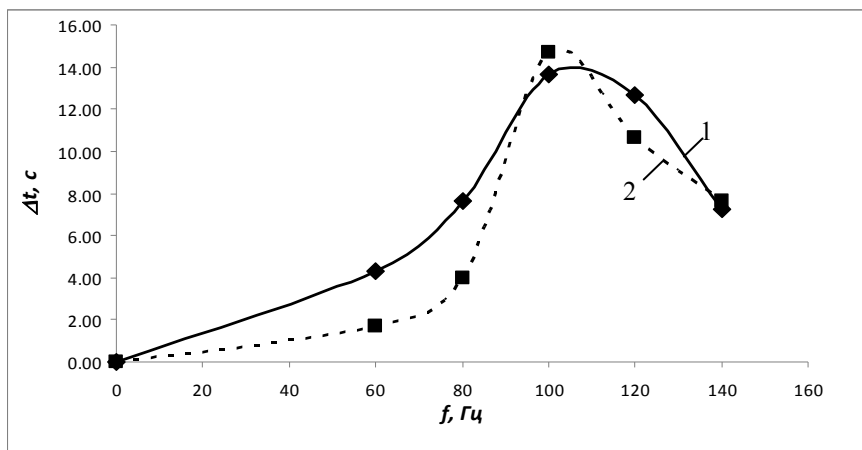


Рисунок 3 - Залежність величин зниження часу нагрівання води від частоти імпульсів при електроактивації природного газу і повітря (експеримент 3): 1 – активація повітря, 2 – активація повітря і природного газу

За результатами третього експерименту видно, що активація високовольтною пульсуючою напругою 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 склало 12,0 %. Розрахована для третього експерименту  $НР_{0,05} = 2,46$  свідчить про неістотність відмінностей між обома варіантами дослідів 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 в 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. Так як вміст в природному газі метану складає 89 – 98 % [7], 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 і метану полягає, на нашу думку, в будові самих молекул. Відомо, що протікання хімічних реакцій супроводжується переходом електронів з вищої зайнятої на нижчу вакантну орбіталь [9]. 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 полярніший зв'язок. Чим більша 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 метану  $CH_4$  може бути представлена за допомогою кулестрижневої моделі. На рис.4а показана кулестрижнева модель молекули метану. Форма молекули тетраедрична з валентними кутами  $H-C-H$  рівними  $109^{\circ}28'$ . Молекула метану є симетричною, а значить неполяризованою.

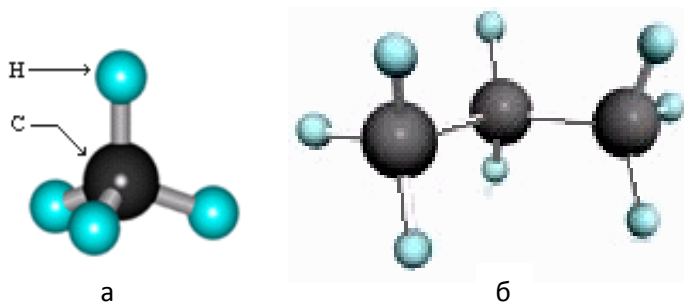


Рисунок 4 - Просторова будова молекул метану (а) і пропану (б)

Симетричність молекули метану робить її стійкою до переведення електронів на енергетичні рівні збудження.

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

Атоми вуглецю в молекулах з розгалуженими ланцюгами відрізняються типом з'єднання з іншими вуглецевими атомами.

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

Повітря, пропан-бутанова суміш і природний газ є багатокомпонентними сумішами. Їх поляризованість складається з поляризованостей кожної складової. Загальна поляризованість  $P$  складного (багатокомпонентного) газу визначається за формулою [8]:

$$P = \frac{4M}{3\rho} \pi [N_1\alpha_1 + N_2\alpha_2 + \dots + N_k\alpha_k],$$

де  $M$  – молекулярна маса газу ( $г \cdot моль^{-1}$ );

$\rho$  – густина газу ( $г \cdot см^{-3}$ );

$N_1 \dots N_k$  – об'ємна концентрація компонентів газу ( $моль^{-1}$ );

$\alpha_1 \dots \alpha_k$  – поляризованість молекул кожної газової компоненти ( $см^3$ ).

Поляризованість, як міра здатності молекули до поляризації, залежить від рухливості електронів. Так,  $p$ -електрони більш рухливі, ніж  $s$ -електрони. Тому молекули з  $\pi$ -зв'язком легше піддаються поляризації, ніж молекули з  $\sigma$ -зв'язком.

Опосередкованим підтвердженням впливу рівня поляризованості на активацію молекул може, на нашу думку, служити їх температура займання [9], яка у метану рівна 545, у пропану – 504, а у ще більш поляризованої молекули бутану – 430 °С.

#### Висновки:

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

2. Електроактивація пропану і 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.

3. Електроактивація природного газу і 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  $НП_{0,05} = 2,46$  свідчить про несуттєвість відмінностей між вказаними варіантами.

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

#### Список використаних джерел

1. Гуков Я. С. Використання відновлюваних джерел енергії в сільському господарстві (наукова доповідь). – ННЦ "ІМЕСГ". – 2005. – 24 с.

2. Праховник А. В., Розен В. П., Разумовський О. В. та ін. Енергетичний менеджмент: навчальний посібник. – К.: Нотна ф-ка, 1999. – 184 с.

3. <https://www.gov.uk/government/publications>

4. Физическая химия / Под ред. К.С. Краснова. – М.: Высшая школа, 2001. – Кн. 1. – 512 с; кн. 2, – 319 с.

5. Ковалишин Б. М. Підвищення енергоефективності паливних установок через активацію молекул-реагентів реакції горіння // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2011. – №1. – С.136–139.

6. Ковалишин Б. М. Застосування електричного поля високої напруженості для активації молекул-реагентів реакції горіння // Міжвідомчий тематичний науковий збірник ННЦ "ІМЕСГ" "Механізація та електрифікація сільського господарства". – Вип.96.- 2012. – С.481-490.

7. ГОСТ 30319.2-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости

8. Ейрінг Г., Лин С. Г., Лин С. М. Основы химической кинетики. – М.: Мир, 1983. – 528 с.

9. Мала гірнича енциклопедія / За ред. В. С. Білецького. – Донецьк: "Донбас", 2004. – Т.1. – 640 с.

#### Анотація

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ПРОПАН-БУТАНОВОЙ СМЕСИ И ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИИ МОЛЕКУЛ-РЕАГЕНТОВ РЕАКЦИИ ГОРЕНИЯ

Червінський Л. С., Ковалишин Б. М.

*Рассмотрена физико-химическая природа окислительно-восстановительных процессов горения, экспериментально обосновано применение электроактивации молекул для оптимизации протекания химических реакций горения при сжигании газообразных углеводородных топлив в окислительной воздушной среде. Разница в активации пропана и природного газа объясняется поляризуемостью молекул.*

#### Abstract

#### INCREASE OF EFFICIENCY OF BURNING OF PROPAN-BUTANOVY OF MIX AND NATURAL GAS AT ELECTROACTIVATION OF MOLECULES REAGENTS OF REACTION OF BURNING

L. Chervinsky, B. Kovalyshyn

*The physical and chemical nature of the redox processes of combustion experimentally substantiated application elektroaktyvatsiyi molecules to optimize chemical reactions during combustion of gaseous combustion of hydrocarbon fuels in an oxidizing air. The difference in the activation of propane and natural gas explains the polarization of molecules.*