

УДК 537.523.3:662.7

## ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОАКТИВАЦІЇ МОЛЕКУЛ ПРОПАНУ І ПРИРОДНОГО ГАЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАЛИВНИХ УСТАНОВОК

**Б.М. Ковалишин**, канд.техн.наук

*Національний університет біоресурсів і природокористування  
України*

*Описані аспекти фізичної і хімічної природи окисно-відновних процесів горіння. Показано зв'язок енергоефективності термогенеруючих установок на вуглеводневому паливі з електроактивацією і поляризацією молекул-реагентів у полі імпульсної високої напруги. Приведено і проаналізовано результати експериментальних досліджень зі спалювання пропану і природного газу у повітряному середовищі.*

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

**Постановка проблеми.** Наявність та ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів у наш час визначають рівень розвитку економік і добробут населення практично всіх країн світу. Водночас тривожить також той факт, що терміни вичерпання запасів традиційних вуглеводневих енергоносіїв вимірюються кількома десятками років [1]. З врахуванням тенденції до постійного збільшення споживання викопних традиційних невідновлюваних енергетичних ресурсів (за даними 2005 року) строк вичерпання вугілля рівний 200 років, ядерного палива – 40 років, нафти і природного газу – 36 років. Для потенційних запасів енергоресурсів терміни вичерпання складають 1120, 210, 73 і 53 роки, відповідно для вугілля, ядерного палива, природного газу і нафти [2]. Подовження термінів використання цих енергоносіїв важливе як з точки зору отримання часу для проведення досліджень і обґрунтування принципово нових способів і обладнання для отримання енергії, так і з погляду збільшення термінів їх використання в хімічній і харчовій галузях і зменшення негативного впливу на довкілля. Підвищення ефективності енергогенеруючих установок дасть можливість збільшити строки використання викопних енергоносіїв і тому є актуальним і своєчасним.

© Б.М.Ковалишин.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

Оскільки основну кількість теплової та інших видів енергії отримують при спалюванні традиційних і нетрадиційних енергоносіїв, тому слід приділити увагу процесу горіння. Сам процес горіння є екзотермічною окислювально-відновною хімічною реакцією і при використанні вуглеводневих енергоносіїв необхідно добиватись оптимізації протікання хімічних реакцій горіння.

**Мета досліджень** – обґрунтування 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 [3]. Закон Арреніуса характеризує можливість і швидкість протікання хімічних реакцій між молекулами-реагентами. Теоретичні та експериментальні дослідження показали можливість підвищення ефективності спалювання газоподібних вуглеводневих енергоносіїв у повітрі через електроактивацію молекул-реагентів реакції горіння. Теоретично доведено [4], що енергоефективність паливних установок при спалюванні вуглеводневого палива в повітрі може бути підвищена через дію на компоненти реакції горіння високовольним пульсуючим нерівномірним електричним полем високої напруженості (ВПНЕП).

Експериментальні дослідження електроактивації молекул-реагентів реакції горіння пропану і природного газу в повітрі являли собою три серії дослідів [5].

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

Перша серія дослідів включала такі варіанти спалювання: 1) без електроактивації (контроль); 2) з електроактивацією повітря; 3) з електроактивацією пропану; 4) з електроактивацією повітря і пропану одночасно.

В першій серії експериментальних досліджень 1,0 л води нагрівався від 20 до 40 °С. Імпульси електричного поля досліджувались у діапазоні частот 0–140 Гц. Ефективність електроактивації компонентів реакції горіння при застосуванні ВПНЕП оцінювалась за перевищенням часу нагрівання води без активації компонентів реакції горіння над часом при їх активації. Повторність експерименту трикратна.

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 у діапазоні частот 0–200 Гц. Ефективність дії імпульсного електричного поля різної частоти при спалюванні пропану і природного газу оцінювалася за часом нагрівання 0,7 л води від 20 до 40 °С. Повторності експериментів – трикратні.

В другому експерименті варіанти дослідження були такими: 1) без випрямлення високовольтного імпульсного сигналу; 2) 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); 3) з випрямленням (+ – на повітря, + – на пропан); 4) з випрямленням (+ – на повітря, - – на пропан); 5) з випрямленням (- – на повітря, - – на пропан); 6) з випрямленням (+ – на повітря), пропан - без випрямлення.

В третьому експерименті проводилася оцінка ефективності електроактивації молекул природного газу і повітря. В одному варіанті цього експерименту досліджувалась активація одного тільки повітря, в другому варіанті – спільна активація повітря і природного газу.

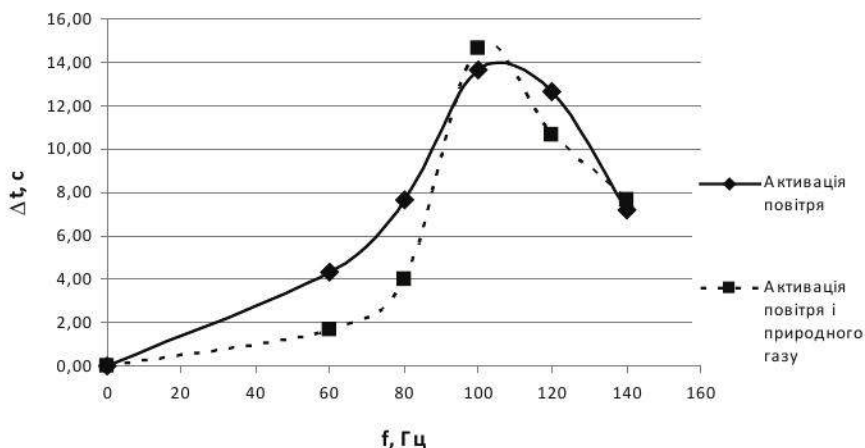
Ефективність електроактивації оцінювалася за скороченням часу нагрівання води.

**Результати досліджень.** Отримані в першій серії дослідів результати показують, що електроактивація компонентів реакції горіння пропану в повітрі, порівняно з контролем, суттєво скорочує час нагрівання води в 1 літровій посудині практично у всіх варіантах. 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 окислювально-відновної екзотермічної реакції горіння високовольтним пульсуючим нерівномірним електричним полем з частотою 100÷120 Гц. В останньому варіанті першої серії дослідів можна відзначити здійснення принципу суперпозиції по сумісному впливу активації компонентів реакції горіння.

Отримані в першому експерименті результати свідчать про суттєве скорочення часу нагрівання води при електроактивації повітря і пропану в електричному полі високої напруженості практично у всіх варіантах. Для всіх варіантів дослідження максимуми зниження часу нагрівання води відзначині 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 варіанта з подачею на електродні системи імпульсів високої напруги без випрямлення.

Результати першого і другого експериментів подібні і показують, що найбільша ефективність спалювання пропану в повітрі спостерігається при електроактивації обох компонентів реакції горіння без випрямлення.



**Рис. 1.** Залежність величин зниження часу нагрівання води від частоти імпульсів при електроактивації природного газу і повітря

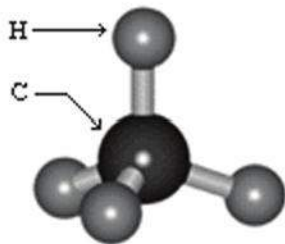
За результатами третього експерименту видно, що активація високовольтною пульсуючою напругою природного газу і повітря скорочує час нагрівання води в обох варіантах дослідження. Активація повітря високовольтними імпульсами з частотою 100 Гц скорочує час нагрівання води на 11,1 %. При спільній активації природного газу і повітря скорочення часу нагрівання води склало 12,0 %. Розрахована для третього експерименту  $НІР_{0,05} = 2,46$  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 пара-

метри електричного поля не дали можливості в достатній мірі провести активацію молекул природного газу. Оскільки вміст у природному газі метану складає 89÷98 % [7], то, на нашу думку, 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.

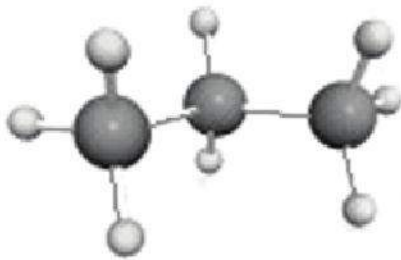
Різниця в ступені електроактивації молекул пропану і метану полягає, на нашу думку, в будові самих молекул. Існує твердження, що протікання хімічних реакцій супроводжується переходом електронів з вищої, зайнятої, на нижчу вакантну орбіту [8]. Рівномірність розподілу електронних орбіталей у молекулі характеризується полярністю. Полярність – найважливіша властивість коваріантного зв'язку, яка пов'язує структуру та реакційну здатність молекул. Полярністю вважається нерівномірність 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  $\text{CH}_4$  може бути представлена за допомогою кулестрижневої моделі [9]. На рис.2 показана кулестрижнева модель молекули метану. Форма молекули тетраедрична з валентними кутами Н-С-Н, рівними  $109^\circ 28'$ . Молекула метану симетрична, а значить неполяризована.

Просторова будова молекули пропану  $\text{C}_3\text{H}_8$  [9] має зигзагоподібну форму (рис.3).



**Рис. 2.** Просторова будова молекули метану



**Рис. 3.** Просторова будова молекули пропану

Молекула пропану має несиметричний розподіл електронних орбіталей і, відповідно, більшу поляризованість. Більш поляризовані молекули легше піддаються активації під дією зовнішніх чинників. Це дає можливість з меншими енергетичними затратами переводити молекули пропану на рівні збудження.

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 ( $\text{г}\cdot\text{моль}^{-1}$ );  $\rho$  – густина газу ( $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$ );  $N_1 \dots N_k$  – об'ємна концентрація компонентів газу ( $\text{моль}^{-1}$ );  $\alpha_1 \dots \alpha_k$  – поляризованість молекул кожної газової компоненти ( $\text{см}^3$ ).

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 полярності на активацію молекул може служити їх температура займання, яка у метану рівна  $545^\circ\text{C}$ , в етану –  $530^\circ\text{C}$ , у пропану –  $504^\circ\text{C}$ , а у ще більш поляризованих молекул бутану –  $430^\circ\text{C}$ .

Отримані результати досліджень зі спалювання активованих пропану і природного газу в активованому повітрі при дії на них високоевольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля дають підставу зробити наступні висновки.

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

2. Електроактивація пропану і повітря призводить до зменшення часу нагріву води на  $19,0 \dots 22,1\%$  при частоті активуючої імпульсної високої напруги  $100 \dots 120$  Гц. При спалюванні пропану в повітрі електроактивація обох компонентів реакції горіння дає аддитивний ефект.

3. Електроактивація природного газу і повітря призводить до зменшення часу нагріву на  $12,0\%$  при частоті імпульсної високої напруги  $100$  Гц, електроактивація лише повітря зменшує час нагріву на  $11,1\%$ , що свідчить про несуттєвість відмінності між вказаними варіантами.

4. Різниця в результатах електроактивації пропану і природного газу може бути пояснена величиною поляризації їх молекул у висо-

ковольтному пульсуючому нерівномірному електричному полі високої напруженості.

### БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Гуков Я.С.* Використання відновлюваних джерел енергії в сільському господарстві (наукова доповідь).–ННЦ „ІМЕСГ”.–2005.–24 с.
2. *Праховник А.В.* Енергетичний менеджмент: Навчальний посібник / А.В.Праховник, В.П. Розен, О.В. Разумовський та ін. –К.:Київ. Нот.ф-ка, 1999.–184 с.
3. *Физическая химия.* / Под ред. К.С. Краснова. М.: Высшая школа, 2001.– Кн. 1.– 512 с; кн. 2, - 319 с.
4. *Ковалишин Б.М.* Підвищення енергоефективності паливних установок через активацію молекул-реагентів реакції горіння / Б.М. Ковалишин.– Наукові вісті НТУУ «КПІ».–2011.–№1.– С.136–139.
5. *Ковалишин Б.М.* Застосування електричного поля високої напруженості для активації молекул-реагентів реакції горіння / Ковалишин Б.М. .–Міжвідомчий тематичний науковий збірник ННЦ «ІМЕСГ» «Механізація та електрифікація сільського господарства». –2012. –Вип.96, – С.481-490.
6. *Мала гірнича енциклопедія/* За ред. В. С. Білецького. — Донецьк: «Донбас», 2004.–Т.1.– 640 с.
7. *ГОСТ 30319.2-96.* Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжигаемости.
8. *Эйринг Г.* Основы химической кинетики/ Эйринг Г., Лин С.Г., Лин С.М.– М.: Мир, 1983.–528 с.
9. <http://www.chemistry.ssu.samara.ru/chem2/index2.htm> (Самарский государственный университет).

### ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИИ МОЛЕКУЛ ПРОПАНА И ПРИРОДНОГО ГАЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНЫХ УСТАНОВОК

*Описаны аспекты физической и химической природы окислительно-восстановительных процессов горения. Показана связь энергоэффективности термодогенерирующих установок на углеводородном топливе с электроактивацией и поляризацией молекул-реагентов в поле импульсного высокого напряжения. Приведены и проанализированы результаты экспериментальных исследований по сжиганию пропана и природного газа в воздушной среде.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, топливо, молекула, электрическое поле, высокое напряжение, активация, поляризация.

## FEATURES OF ELECTRO-ACTIVATING OF MOLECULES OF PROPANOU AND NATURAL GAS FOR RISE OF ENERGY EFFICIENCY OF FUEL EQUIPMENTS

*Aspects of physical and chemical nature of the REDOX processes of combustion are described. The connection of energy termogenerative equipments on hydrocarbon fuel with electrical activating and polarization of molecules reagents in the field of pulse high voltage is shown. The results of experimental research of propane and natural gas combustion in the air are adduced and analyzed.*

**Key words:** energy efficiency, fuel, molecules, electric field, high voltage, activating, polarization.

УДК 620.92

## ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ЗРІВНОВАЖУВАННЯ МАГНІТНИХ МОМЕНТІВ ТА БЕЗКОНТАКТНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЗАЗОРУ АКСІАЛЬНОГО МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ДУГОСТАТОРНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА

М.І. Трегуб, канд. техн. наук  
Білоцерківський НАУ

---

*Описаний принцип роботи дугостаторного вітроелектричного генератора з постійними магнітами та методи зрівноважування магнітних моментів за різної кількості секцій статора і безконтактної стабілізації повітряного зазору магнітними кондукторами.*

**Ключові слова:** магнітоелектричний дугостаторний аксіальний генератор, безредукторна вітроустановка, зрівноважування магнітних моментів, стабілізація повітряного зазору.

---

**Актуальність.** У безредукторних автономних вітроелектричних установках (АВЕУ) встановлення ротора електрогенератора безпосередньо на валу вітродвигуна технічно доцільне лише за невеликих розмірів лопатей, менших ніж 1,5 м. Відомо [1], що збільшення довжини лопатей забезпечує зростання потужності у квадраті, але одночасно з цим обернено пропорційно зменшується частота обертання вала. Тому для підвищення лінійних швидкостей руху електромагніт-

---

© М.І. Трегуб.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.