



УДК 537-77:544.431.122:539.91

## INCREASING OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE COMBINATION OF HYDROCARBON FUEL THROUGH ELECTROACTIVATION OF REAGENT MOLECULES

### ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕАКЦІЇ ГОРІННЯ ВУГЛЕВОДНЕВОГО ПАЛИВА ЧЕРЕЗ ЕЛЕКТРОАКТИВАЦІЮ МОЛЕКУЛ-РЕАГЕНТІВ

Kovalyshyn V.M. / Ковалишин Б. М.,

*ph.d., associate professor / к.т.н., доцент**Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture**Povitroflotsky Avenue, 31, 03037, Kyiv, Ukraine,**Київський Національний університет будівництва і архітектури**Повітрофлотський проспект, 31, 03037, Київ, Україна,*

**Анотація.** В роботі теоретично обґрунтована концепція підвищення енергоефективності паливних установок на газоподібному вуглеводневому паливі на основі активації молекул-реагентів реакції горіння електричним полем високої напруженості.

**Ключові слова:** горіння, енергоефективність, молекули-реагенти, активація, електричне поле, висока напруженість.

#### **Постановка проблеми.**

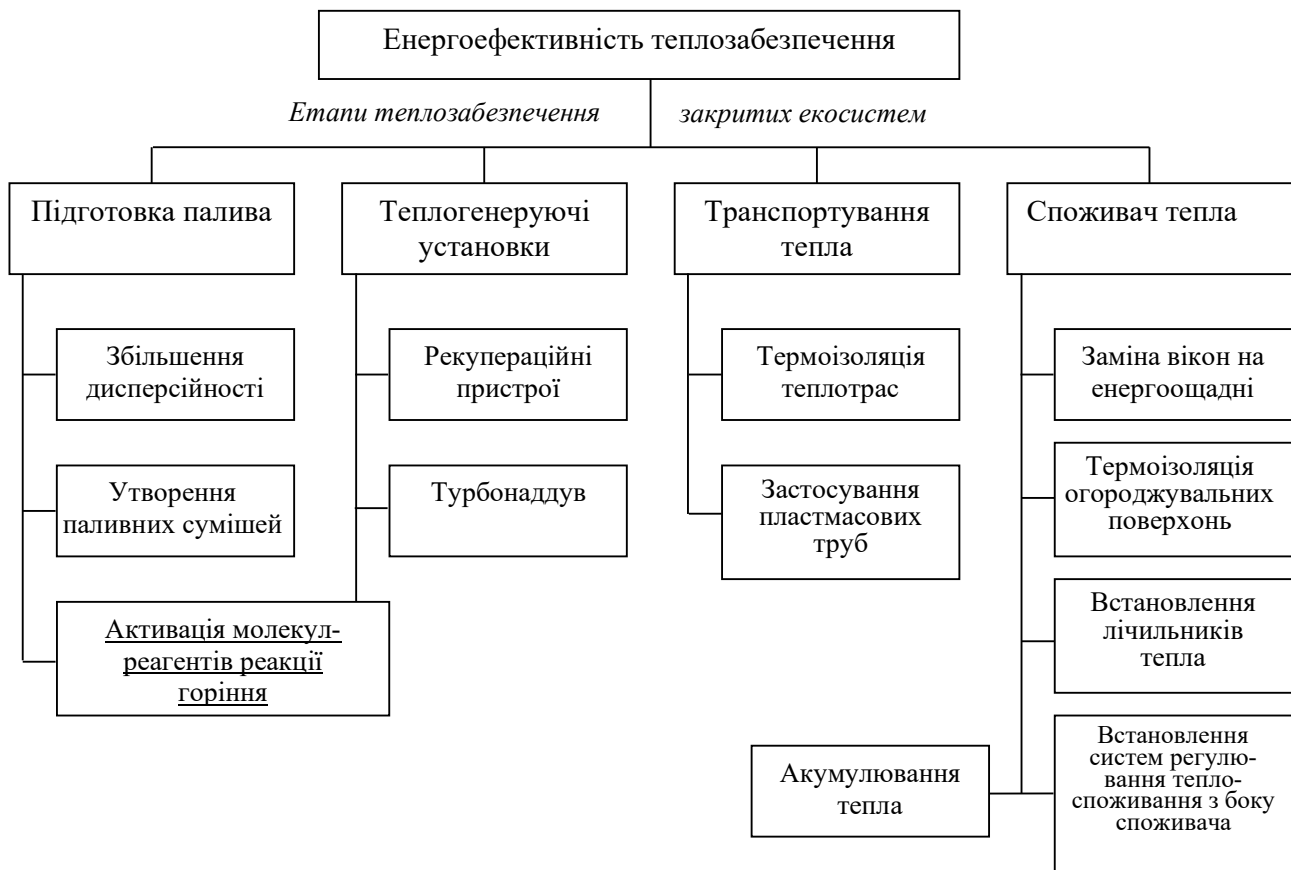
Теплогенерація на основі вуглеводневих енергоносіїв складає біля 80 % як в загальносвітовому, так і в українському балансі виробництва енергії. Крім того, за статистичними даними останніх років [1], найбільшими кінцевими споживачами енергії в загальному балансі споживання енергії в Україні є побутовий сектор (домогосподарства і послуги) – 38,6%, промисловість – 33,4%, транспорт – 16,8%.

Підвищення енергоефективності теплозабезпечуючих систем в промисловості, сільському господарстві і комунальній сфері актуальні як в світі, так і в Україні.

#### **Аналіз останніх досягнень.**

Вирішення питань в галузі підвищення енергоефективності теплогенерації пов'язане з розв'язанням цілої низки економічних, технологічних, психологічних та інших задач. Структура заходів з підвищення енергоефективності в теплозабезпеченні різних об'єктів відрізняється по галузях і об'єктах, але в загальному вигляді може бути представлена мнемосхемою, представленою на рис. 1.

Споживачеві теплової енергії відводиться важлива роль у підвищенні енергоефективності теплозабезпечення. І саме психологічний фактор може забезпечити значний вклад у сферу енергозбереження та енергоефективності. Встановлення лічильників на електроенергію, воду, газ, теплозабезпечення дозволяє користувачеві самому визначати кількість споживаних енергетичних та інших ресурсів, здатні забезпечити чи не найбільший ефект. Використання систем споживання енергії з керуванням зі сторони споживача вважається одним із перспективних заходів з підвищення енергоефективності.



**Рис 1. Структура заходів з підвищення енергоефективності в теплозабезпеченні об'єктів**

Велике значення для підвищення ефективності теплозабезпечення має використання термоізоляції стін і стелі приміщень, використання вікон з подвійним і потрійним остекленням, що дозволяє економити від 10 до 60 % тепла.

Також важливим енергозберігаючим заходом є герметизація і теплоізоляція трубопроводів системи централізованого опалення, заміна металевих труб на пластмасові.

Значному зниженню витрат на теплозабезпечення сприяє використання теплоакumuлюючих установок [2].

Для енергозабезпечення промислових і побутових приміщень актуальними є питання зменшення споживання енергії і ресурсів при генеруванні теплової енергії. Проблеми, які розглядаються, відповідають концепції енергозбереження України та Закону України "Про енергозбереження" [3].

Першим блоком заходів з підвищення енергоефективності слід вважати технологічні процеси і використання обладнання з підготовки палива до спалювання. Забезпечення дрібнодисперсної консистенції твердого і рідкого палива призводить до його кращого згорання, підвищення ККД і зменшення шкідливих викидів у викидних газах.

Утворення паливних сумішей різних видів палив часто призводить до підвищення енергоефективності паливних установок. Використовують суміші вугілля дрібнодисперсного помелу з природним газом, киснем, мазутом.



Підвищення енергоефективності через модернізацію паливних установок і використання в них нових технологій включає використання рекупераційних пристроїв і турбонаддуву. За допомогою рекупераційних установок підвищується коефіцієнт корисної дії паливних установок за рахунок повернення частини теплової енергії від тепла викидних газів і за рахунок термоактивації молекул-реагентів реакції горіння. Турбонаддув створює надлишок окислювача в паливно-повітряній суміші, що також підвищує коефіцієнт корисної дії паливних установок.

**Мета роботи.** Підвищення енергоефективності паливних установок через активацію молекул-реагентів реакції горіння іншим, відмінним від теплової енергії, енергетичним чинником з використанням спеціального електротехнічного обладнання.

#### **Результати досліджень.**

За Арреніусом – для участі молекул або атомів в будь-якій хімічній реакції вони обов'язково повинні бути активованими. А процес активації молекул і атомів полягає у переведенні їх на синглетні або триплетні енергетичні рівні.

В 1889 році Ареніус відкрив закон хімічної кінетики [4], відомий як закон його імені. Цей закон характеризує можливість протікання хімічних реакцій між молекулами-реагентами. Він зв'язує константу швидкості реакції  $k$  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  $k_0$  – передекспоненційний множник;

$R$  – 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.

При спалюванні молекул вуглеводневого палива в окислювальному середовищі частина теплової енергії (в межах 25 – 30 %) витрачається на термоактивацію молекул-реагентів. Замінивши цю теплову енергію на енергію активації з іншою фізичною природою, можна, відповідно, знизити питомі витрати палива і підвищити енергоефективність теплогенеруючих установок.

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 (1) прийме вигляд

$$E_a = [(\lg k_0 - \lg k)4,575T] - Wb, \quad (2)$$



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

Основуючись на запропонованій нами робочій гіпотезі сформулюємо концепцію підвищення енергоефективності паливних установок.

**Підвищення енергоефективності паливних установок за рахунок збільшення теплопродуктивності спалюваного палива здійснюється при компенсації теплової енергії, яка витрачається на термоактивацію молекул-реагентів реакції горіння, енергією від інших енергетичних чинників і використання компенсованої теплової енергії для корисних цілей.**

До енергетичних чинників активації молекул і атомів, крім теплової енергії, можна віднести енергію від зовнішніх джерел енергії:

- фотони;
- зовнішнє електричне поле високої напруженості;
- електричне поле сусідніх молекул;
- радіоактивне опромінення;
- непружні зіткнення частинок та інші.

Більш детально розглянемо активацію молекул-реагентів реакції горіння в теплогенеруючих установках з використанням вуглеводневих газоподібних енергоносіїв.

Активація електричним полем високої напруженості стосується частинок, які володіють певним зарядом. Під дією електричного поля частинки набувають відповідної кінетичної енергії, що визначається зарядом і масою частинки. Електричне поле з вектором напруженості  $\vec{E}$  діє на частинку з зарядом  $q$  з силою  $F_e$ , яка викликає рух частинки з швидкістю  $\vec{v}$  і визначається за формулою:

$$F = q\vec{E} = m \frac{d\vec{v}}{dt} . \quad (3)$$

При русі частинки у дворівневій системі координат  $(x, y)$  зі швидкістю  $v$  її кінетична енергія рівна  $W_{кин} = \frac{mv^2}{2}$  при  $v^2 = v_x^2 + v_y^2$  .

Після початку руху частинки з центру координат через час  $t$  її кінетична енергія буде рівна [5]:

$$W_{кин} = \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}m \left[ v_{ox}^2 + 2 \frac{q}{m} E \left( v_{ox}t + \frac{q}{2m} Et^2 \right) \right] . \quad (4)$$

Так як  $v_{ox}t + \frac{q}{2m} Et^2 = x$  – шлях, пройдений частинкою за час  $t$  в напрямку осі  $x$ . Тому, кінетична енергія при русі частинки в електричному полі визначається за формулою:

$$W_{кин} = \frac{1}{2}mv_{0y}^2 + \frac{1}{2}mv_{0x}^2 + qEx , \quad (5)$$

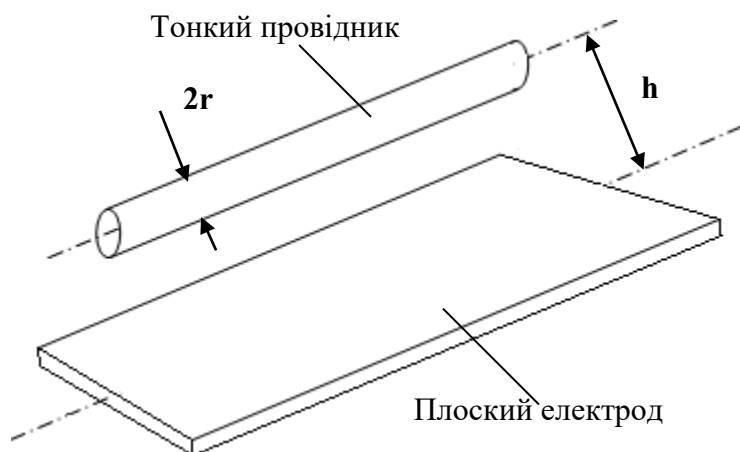
де у правій частині рівняння перших два доданки описують початкову кінетичну енергію частинки; а третій доданок – характеризує енергію, отриману частинкою від прикладеного електричного поля після проходження нею відстані  $x$ .



Позитивний вплив неоднорідного стаціонарного електричного поля на протікання реакції горіння описаний в [6, 7, 8, 9].

Одним з найбільш прийнятних способів активації молекул-реагентів окислювально-відновлювальної реакції горіння є електроактивація в полі коронного розряду.

Для отримання коронного розряду використовуються електродні системи у вигляді паралельних тонких провідників або провідників і плоского електроду (рис. 2).



**Рис. 2. Схематичне зображення провідникової розрядної системи**

Початкові значення напруженості  $E_0$  (кВ/см) електричного поля і напруги  $U_0$  (кВ) корони при застосуванні провідникових коронуючих систем визначаються за формулами [10]:

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

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

де  $\rho_{II}$  – відносна питома провідність повітря;

$r$  – радіус кривизни провідників, см;

$h$  – відстань між коронуючими електродами, см.

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

Інший спосіб запалювання коронного розряду полягає у використанні голчастої електродної системи, яка складається з одного голчастого коронуючого електроду і плоского загального електроду, розміщених на відстані  $d$ . Схематичне зображення голчастої електродної системи приведено на рис. 3.

Напруженість у кожній вибраній точці коронного розряду у голчастій розрядній системі запишеться у вигляді:

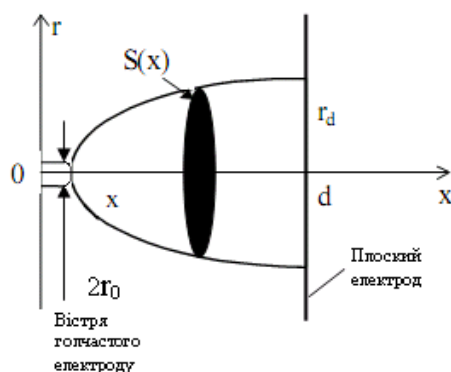
$$\int_0^d E dx = U - RSj, \quad (8)$$

де  $x$  – відстань від кінця вістря до точки вимірювання, м;

$U$  – напруга прикладена до розрядного проміжку, В;



$R$  – обмежуючий опір, Ом;  
 $j$  – густина струму, Ом/м<sup>2</sup>.



**Рис. 3. Структура струмового каналу коронного розряду у голчастій розрядній системі**

Напруженість електричного поля  $E_0^I(x)$  в осьовій області коронного розряду, при використанні однорядної голчастої електродної системи, у початковий момент запалювання корони обчислюється за формулою [11, 12]:

$$E_0^I(x) = \frac{2U}{(2x + r_0) \cdot \ln \frac{2d}{r_0 + l}} \quad (9)$$

Для розрахунку струму коронного розряду, утвореного голчастою розрядною системою, при видаленні аероіонів з розрядного проміжку коронного розряду з допомогою потоку повітря, С. Чепменом [13] запропонована емпірична формула:

$$I_k = 1,315 \cdot \varepsilon_0 \cdot V (U_k - U_{k0}) \left( \frac{\rho_{п0}}{\rho_{п}} \right)^{0,31} + 1,785 \cdot \varepsilon_0 \cdot K \cdot U_k (U_k - U_{k0}) \left( \frac{\rho_{п0}}{\rho_{п}} \right) \quad (10)$$

де  $\rho_{п0}$  – густина повітря за нормальних умов, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_{п}$  – густина повітря в розрядному проміжку, кг/м<sup>3</sup>;  
 $V$  – швидкість потоку повітря, м/с;  
 $U_k$  – напруга на коронуючих електродах, В;  
 $U_{k0}$  – напруга початку появи корони, В;  
 $\varepsilon_0$  – діелектрична проникність повітря, Ф/м.

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

$$W = I_k U_0 t, \quad (11)$$

де  $I_k$  – струм у колі коронного розряду,  
 $t$  – час, за який протікає 1 моль (22,4 л) газу, який піддається активації.

При використанні енергії електричного поля високої напруженості як





активуючого чинника для молекул-реагентів компенсуємо частину теплової енергії, що витрачалась на активацію. Тим самим, збільшимо на таку ж величину корисну теплову енергію  $\Delta E_{AT}$ , що у символічному вигляді запишеться як

$$\Delta E_{AT} = E_{A3} = 0,82 \cdot I_K \cdot b \cdot t \cdot [31 \cdot \rho_{II} * \left( 1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho_{II} \cdot r}} \right) \cdot r \cdot \ln \frac{2h}{r}] \quad (12)$$

Тим самим, використовуючи емпіричні формули (6, 7) і формули (8, 9), отримаємо вираз для визначення величини зменшення енергії  $\Delta E_A$ , необхідної для активації молекул реагуючої системи електричним полем високої напруженості:

$$\Delta E_A = [( \lg k_0 - \lg k ) 4,575T] - 0,82 \cdot I_K \cdot b \cdot t \cdot [31 \cdot \rho_{II} * \left( 1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho_{II} \cdot r}} \right) \cdot r \cdot \ln \frac{2h}{r}] \quad (13)$$

За формулою (13) можна констатувати, що витрати теплової енергії на активацію молекул-реагентів екзотермічної реакції, будуть зменшені на величину ефективної енергії активації від зовнішнього джерела (коронного розряду)  $E_{A3}$ . Тому, на величину  $E_{A3}$  буде збільшена корисна теплова енергія при спалюванні вуглеводневого або іншого виду палива, що свідчить про підвищення його теплотворної здатності. А це призводить до підвищення ефективності паливних установок та економії палива.

**Висновки** Проведені теоретичні дослідження дають підстави стверджувати про доцільність підвищення енергоефективності паливних установок на газоподібних вуглеводневих енергоносіях за рахунок електроактивації молекул-реагентів реакції горіння.

Підтверджено запропоновану нами концепцію підвищення енергоефективності паливних установок на газоподібних вуглеводневих енергоносіях.

### Використані джерела

1. [https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/energ.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm)
2. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001.–976 с.
3. Закон України “Про енергозбереження”. Відомості Верховної Ради.– 1994, № 30. – 283 с.
4. Физическая химия. / Под ред. К.С. Краснова. М.: Высшая школа, 2001.– Кн. 1.– 512 с; кн. 2.– 319 с.
5. Бортник И.М., Верещагин И.П., Вершинин Ю.Н. и др. Электрофизические основы техники высоких напряжений. – М.: Энергоатомиздат, 1993.–594 с.
6. Малиновский А.Э. Влияние частоты электрического поля на скорость горения газов / Малиновский А.Э., Россихин В.С., Тимковский В.П. // ЖЭТФ.–



1934.– т.4, в.2.– с.208–214.

7. Малиновский А.Э., Россихин В.С., Тимковский В.П. Влияние переменного электрического поля высокой частоты на скорость горения газа.//ЖЭТФ. -1934. – т.4, в.2. –с.183–188.

8. Малиновський А.Е., Лавров Ф.А. Про вплив електричного поля на процеси горіння в газах. // ЖФХ. – 1931. –Т.2, В.3-4. –С.530-534.

9. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – 2-е изд. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.

10. Кудрявцев И.Ф., Карасенко В.А. Электрический нагрев и электротехнология.– М.–Колос, 1975.–384 с.

11. Райзер Ю.П. Физика газового разряда.–М.: Наука, 1987.–591 с.

12. Чигинь В. Експериментальні дослідження і чисельні моделювання плазми коронного розряду. – Фізичний збірник НТШ, т.8, 2011.–С.257-285.

13. Chapman S. Corona point current in wind.– J. of Geophysical Research. Vol. 75, №12, 1970.– P.2165-2169.

#### References.

1. [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016 /sg/ekolog/ukr/ k\\_enspu.html](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016 /sg/ekolog/ukr/ k_enspu.html). Kinceve energospozhy`vannya za 2007 - 2017 roky`.

2. Korchemny`j M. Energozberezhennya v agropromy`slovomu kompleksi / Korchemny`j M., Fedorejko V., Shherban` V. – Ternopil` : Pidruchny`ky` i posibny`ky`, 2001.–976 s.

3. Zakon Ukrayiny` “Pro energozberezhennya”. Vidomosti Verhovnoyi Rady`.–1994, # 30. – 283 s.

4. Fy`zy`cheskaya xy`my`ya. / Pod red. K.S. Krasnova. M.: Vysshaya shkola, 2001.– Kn. 1.– 512 s; kn. 2.– 319 s.

5. Bortnyk Y.M., Vereshhagyn Y.P., Vershynyn Yu.N. y` dr. Elektrofyzychesky`e osnovy texnyky` vysoky`h napryazhenyj. – М.: Energoatomizdat, 1993.–594 s.

6. Maly`novsky`j A.E. Vly`yany`e chastoty elektry`cheskogo polya na skorost` goren`ya gazov / Maly`novsky`j A.E., Rossyhyn V.S., Ty`mkovsky`j V.P. // ZhЭТФ.– 1934.– т.4, в.2.– с.208–214.

7. Malynovsky`j A.E., Rossyhyn V.S., Tymkovsky`j V.P. Vly`yany`e peremennogo elektrycheskogo polya vysokoj chastoty na skorost` goren`ya gaza.//ZhETF. -1934. – т.4, в.2. – с.183–188.

8. Malynovsky`j A.E., Lavrov F.A. Pro vplyv elektrychnogo polya na procesy gorinnya v gazax. // ZhFX. – 1931. –Т.2, В.3-4. –С.530-534.

9. Sokolov E.Ya., Brodyansky`j V.M. Energetychesky`e osnovy transformacy`y` tepla y` processov oxlazhdeny`ya. – 2-e y`zd. – М.: Energoizdat, 1981. – 320 s.

10. Kudryavcev Y`.F., Karasenko V.A. Elektrycheskyj nagrev y` elektrotexnologiy`ya.– М.–Kolos, 1975.–384 s.

11. Rajzer Yu.P. Fyzyka gazovogo razryada.–М.: Nauka, 1987.–591 s.

12. Chygin` V. Eksperymental`ni doslidzhennya i chysel`ni modelyuvannya plazmy koronnogo rozryadu. – Fizychny`j zbirnyk NTSh, т.8, 2011.–С.257-285.

13. Chapman S. Corona point current in wind.– J. of Geophysical Research. Vol. 75, #12, 1970.– P.2165-2169.

**Abstract.** *The concept of energy efficiency improvement of fuel installations on gaseous hydrocarbon fuels is theoretically substantiated on the basis of activation of high-voltage electric-field combustion reaction reagent molecules.*

**Keywords:** *combustion, energy efficiency, reactant molecules, activation, electric field, high voltage*