



ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОАКТИВАЦІЇ МОЛЕКУЛ-РЕАГЕНТІВ РЕАКЦІЇ ГОРІННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАЛИВНИХ УСТАНОВОК

Ковалишин Б.М., к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел. (044) 527-86-23

Анотація – проведено обґрунтування підвищення ефективності спалювання пропану і природного газу під дією високочастотного пульсуючого нерівномірного електричного поля, проаналізовані отримані експериментальні результати.

Ключові слова - електроактивація, молекул-реагенти, енергоефективність.

Постановка проблеми. Основним визначальним і лімітуючим розвиток практично всіх галузей економіки чинником у наш час є паливно-енергетичні ресурси. Терміни вичерпання як розвіданих, так і прогнозних запасів вуглеводневих енергоносіїв складають кілька десятків років [1]. Тому підвищення ефективності енергогенеруючих установок актуальне і своєчасне. Особливо це стосується пострадянських країн, економіки яких відрізняються істотно більшою енерговитратністю порівняно з країнами Євросоюзу, США і, особливо, Японії [2]. Окрім економічного ефекту при підвищенні енергоефективності паливних установок збільшуються терміни використання традиційних вуглеводневих енергоносіїв, зменшується негативне навантаження на екологічний стан навколишнього середовища.

Аналіз останніх досліджень. Основна кількість теплової та інших видів енергії отримується при спалюванні традиційних і нетрадиційних енергоносіїв в окислювальному газовому середовищі, тому слід приділити увагу процесу горіння [1, 3]. Так як процес горіння є екзотермічною окислювально-відновною хімічною реакцією, для підвищення ефективності теплогенерації актуальною є оптимізація протікання хімічних реакцій горіння.

Формулювання мети статті. Теоретичне та експериментальне обґрунтування підвищення ефективності протікання екзотермічних реакцій горіння при спалюванні газоподібних пропану і природного

газу в повітрі в електричному полі високої напруженості.

Основна частина. Теоретичні дослідження. Основною енергетичною характеристикою палива є його теплотворна здатність (питома теплота згоряння). Теплотворна здатність палива - це кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні 1 кг твердого чи рідкого палива, або 1 м³ газоподібного палива. Розрізняють вищу Q_v^p і нижчу Q_n^p теплотворні здатності палива [3]. Вища теплотворна здатність Q_v^p характеризує паливо при повному його згорянні і конденсації утвореної при горінні водяної пари. Так як в реальних умовах водяна пара разом з відпрацьованими газами викидається в атмосферу, тому для теплотехнічних розрахунків використовується нижча теплотворна здатність Q_n^p , що не враховує теплоту конденсації водяної пари.

Оскільки процеси теплогенерування пов'язані з окислювально-відновними екзотермічними реакціями горіння, то для оптимізації їх слід розглядати з точки зору теорії хімічної кінетики.

Основним питанням сучасної теорії хімічної кінетики є залежність реакційних властивостей хімічної системи будови реагентів, їх внутрішньої енергії та атомно-молекулярного складу.

Можливість протікання хімічних реакцій між молекулами-реагентами описує основоположний в теорії активованих комплексів закон Арреніуса, відкритий ще у 1889 році [4]. Цей закон пов'язує константу швидкості реакції з енергією активації молекули (E_A) і температурою (T)

$$k = k_0 \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}}, \quad (1)$$

де k_0 – передекспоненційна константа;
 R – газова стала (рівна 1,987 кал/град · моль);
 e – основа натуральних логарифмів.

У формулі (1) дію на молекулярну систему зовнішнього середовища характеризує температура, а енергетичний стан молекули – енергію активації.

Після логарифмування обох частин рівняння (1), отримаємо формулу

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

Замінивши натуральні логарифми на десяткові отримаємо рівняння

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

де число $1/4,575$ - коефіцієнт переводу натуральних логарифмів в десяткові, помножений на величину $R = 1,987$.

З рівняння (3) можна визначити енергію активації молекули по формулі

$$E_A = (\lg k_0 - \lg k) \cdot 4,575T. \tag{4}$$

З формули (4) видно, що залежність енергії активації молекул від температури має прямо пропорційний характер.

Повна енергія молекули складається з електронної, коливальної і обертальної складових. Вклад кожної складової в загальну енергію молекули наступний. Найбільший вклад в загальну енергію молекули вносять електрони. Величина коливальної енергії приблизно на порядок менша електронної складової. Також на порядок менша, ніж коливальна енергія, величина обертальної енергії [5].

Процес активації молекулярної системи полягає в переведенні електронів на більш високий енергетичний рівень.

Енергетичний стан атома (молекули) можна пояснити за допомогою енергетичної діаграми на рис. 1.

$q_e U_i$	}	Рівень іонізації
$q_e U_{з2}$ $q_e U_{зм1}$ $q_e U_{зр1}$	----- ----- -----	}	Рівні збудження
$q_e U_k$ $q_e U_1$	----- . ----- . ----- . ----- ----- . ----- . ----- . ----- ----- . ----- . ----- . -----	}	Стаціонарні рівні

Рис. 1. Енергетична діаграма молекули.

Стаціонарні енергетичні рівні на діаграмі зображені штрихпунктирними лініями, рівні збудження - штриховими. Рівень іонізації молекули зображений точковою пунктирною прямою. Ми не розглядаємо іонізовані атоми і молекули, так як вони мають інші фізико-хімічні властивості, ніж нейтральні.

Рівні збудження можуть бути резонансними або метастабільними.

На резонансних рівнях збудження $q_e U_{зр1}$ і $q_e U_{зр2}$ молекула перебуває досить нетривалий час ($\sim 10^{-8}$ с) [6]. В більшості випадків цього часу недостатньо для транспортування активованих молекул до місця

спалювання. За цей час відбувається релаксація молекул, при якій вони повертаються на стаціонарні енергетичні рівні, тобто перестають бути активованими. Тому переведення молекул на резонансні рівні збудження є неефективним з погляду заміщення частини теплової енергії активації іншим видом енергії.

Час релаксації молекул на метастабільних рівнях збудження на декілька порядків вищий ($10^{-4} \div 10^{-2}$ с і більше), ніж на резонансних рівнях [7]. Цього часу може бути достатньо для транспортування активованих молекул окислювача і відновника від місця активації до місця спалювання. Тому, для підвищення ефективності спалювання газоподібного вуглеводневого палива в повітрі, молекули-реагенти необхідно перевести на метастабільні енергетичні рівні, на яких час релаксації, співмірний або більший від часу їх транспортування від місця активації до місця спалювання.

Згідно з нашою робочою гіпотезою, для збудження молекул-реагентів, крім теплової енергії (E_{AT}), можна використовувати й інші види енергії (E_{AB}) від зовнішніх джерел. Доповнивши формулу (4) ефектом дії на молекули-реагенти іншими чинниками отримаємо

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

де W – енергія від зовнішніх джерел;

b – коефіцієнт використання зовнішньої енергії.

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

Як джерела зовнішньої енергії для активізації молекул-реагентів можна, наприклад, використовувати ультрафіолетове опромінювання, електромагнітну дію, опромінювання потоком заряджених частинок та інші.

Активізація молекул світлом (фотозбудження) полягає у непружному зіткненні кванта світла з молекулою [8]. При певній енергії кванта електромагнітного випромінювання ініціюється перехід одного або кількох електронів молекули із стаціонарних енергетичних рівнів на рівні збудження. Енергія кванта світла E_c розраховується за формулою

$$E_c = h_o \nu, \quad (6)$$

де h_o – стала Планка ($6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с);

ν – частота електромагнітної хвилі (Гц).

Проведемо розрахунок частоти електромагнітного випромінювання для активації молекул метану, етану, пропану і кисню та занесямо результати в таблицю 1.

Таблиця 1 - Параметри електромагнітного активуючого випромінювання

Молекула	Енергія іонізації, еВ	Енергія активації			Частота світла, Гц	Довжина електромагнітної хвилі, нм
		еВ	Дж/молекула	Дж/моль		
Метан	12,6	11,91	$19,08 \cdot 10^{-19}$	$11,48 \cdot 10^5$	$2,87 \cdot 10^{15}$	104
Етан	11,5	10,87	$17,41 \cdot 10^{-19}$	$10,48 \cdot 10^5$	$2,63 \cdot 10^{15}$	114
Пропан	11,5	10,87	$17,41 \cdot 10^{-19}$	$10,48 \cdot 10^5$	$2,63 \cdot 10^{15}$	114
Кисень	15,5	14,65	$23,47 \cdot 10^{-19}$	$14,12 \cdot 10^5$	$3,54 \cdot 10^{15}$	85

Із отриманих результатів видно, що для активації молекул можна використовувати вакуумне ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі в межах 100 нм і менше. В нормальних умовах отримання випромінювання з такими параметрами є досить складним. Тому, з нашої точки зору, фотоактивація молекул без спеціальної підготовки параметрів оточуючого середовища недостатньо ефективна.

Найприйнятнішим способом активації молекул-реагентів реакції горіння є, з нашої точки зору, їх активація в електричному полі високої напруженості. Енергетичні параметри електричного поля повинні забезпечувати переведення молекул із стаціонарних енергетичних рівнів на метастабільні рівні збудження.

Витрати теплової енергії на активацію молекул можуть бути знижені на величину ефективної енергії активації від зовнішнього джерела і на таку ж величину може бути збільшена корисна тепла енергія при спалюванні однакової кількості палива. Це свідчить про те, що має місце підвищення теплотворної здатності палива при активації молекул-реагентів реакції горіння. З цього випливає, що застосування системи електроактивації молекул-реагентів в нерівномірному електричному полі високої напруженості підвищує енергетичну ефективність паливної установки.

Експериментальні дослідження. Для дослідження ефективності паливних установок нами вибрана електроактивація молекул-реагентів реакції горіння у високовольтному пульсуючому нерівномірному електричному полі (ВПНЕП). Відновником вибране газоподібне вуглеводневе паливо (пропан і природний газ), окислювачем - кисень повітря.

Для проведення досліджень дії ВПНЕП на окислювач і паливо при спалюванні пропану і природного газу розроблена експериментальна установка. Функціональна схема експериментальної установки приведена на рис. 2.

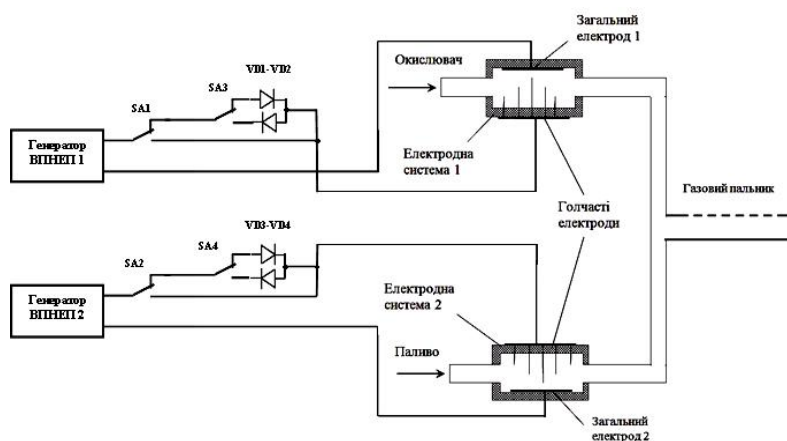


Рис. 2. Функціональна схема експериментальної установки.

Робота експериментальної установки полягає в наступному. По окремих каналах газ пропан або природний газ і повітря надходять в газовий пальник. Окислювач в електродній системі 1 і паливо в електродній системі 2 піддаються дії отриманого від генераторів ВПНЕП високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля. Генератор ВПНЕП складається з генератора звукової частоти ГЗ-112 і котушки запалювання Б-117А-11. Генератори звукової частоти використовуються для генерації синусоїдних і прямокутних сигналів в діапазоні 10 Гц - 10 МГц з амплітудною напругою 5 В для синусоїдного сигналу і 10 В - для сигналу прямокутної форми. Коефіцієнти трансформації котушок запалення рівний 70. Використовуючи сигнали прямокутної форми з різкими фронтами, на виходах генераторів ВПНЕП, завдяки високій ЕРС самоіндукції, отримуємо амплітудну напругу імпульсних сигналів до 8 кВ. Осцилограми вихідних електричних сигналів генератора ВПНЕП приведені на рис. 3.

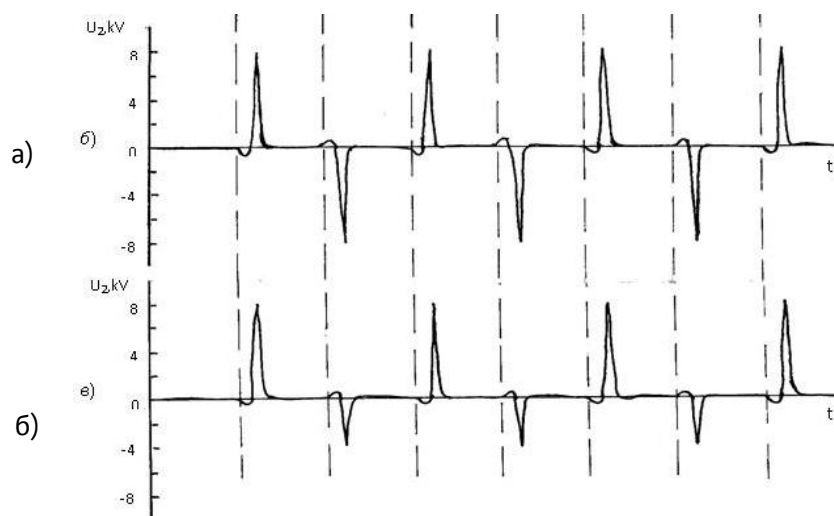


Рис. 3. Осцилограми вихідних сигналів генератора ВПНЕП без випрямлення (а) і з випрямленням (б).

Обидві електродні системи ідентичні за конструктивним виконанням і призначенням. Електродна система складається з корпусу, виготовленого з діелектричного матеріалу і має вхідні і вихідні отвори для подачі і відбору відповідної газової складової реакції горіння; виконаного у вигляді металевої пластини загального електроду; розміщених перпендикулярно до загального електроду голчастих електродів. Перемикачі SA1 - SA4 призначені для вибору режимів роботи експериментальної установки.

Дослідження впливу ВПНЕП на молекули-реагенти реакції горіння проводили при спалюванні пропану і природного газу в повітрі. Імпульси електричного поля в обох експериментах досліджувались в 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 першому експерименті проводилося дослідження ефективності спалювання пропану в повітрі під дією на молекули-реагенти електричного поля високої напруженості. 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.

Отримані результати оцінювались як за фактичною тривалістю часу, витраченого на нагрівання води, так і за різницею в часі між дослідними варіантами і контролем (без подачі сигналу від генератора ВПНЕП). Результати експерименту за скороченням часу нагрівання води по перерахованих варіантах спалювання пропану в повітрі приведені на рис. 4.

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 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 першого експерименту $HP_{0,05}=3,31$ дає підстави для висновку про суттєвість отриманих результатів.

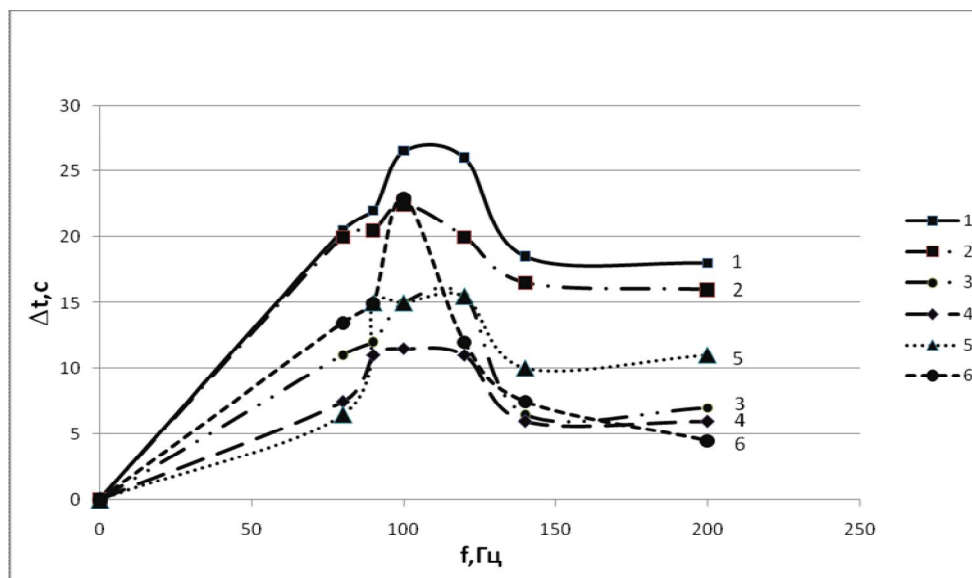


Рис. 4. Залежність зниження часу нагріву води від частоти імпульсів для різних варіантів електроактивації пропану і повітря.

Отримані в першому експерименті результати узгоджуються з даними раніше проведених досліджень ефективності спалювання пропану і повітря, активованих у високовольтному нерівномірному електричному полі [9].

В другому експерименті проводилася оцінка ефективності спалювання активованих молекул природного газу і повітря. В одному варіанті цього експерименту досліджувалася активація лише повітря, в другому варіанті – одночасна активація повітря і природного газу.

Результати експерименту за скороченням часу нагрівання води при спалюванні активованого природного газу в активованому повітрі показані на рисунку 5.

Результати другого експерименту показують, що активація високовольтною пульсуючою напругою молекул-реактивних екзотермічної реакції горіння природного газу в повітрі скорочує час нагріву води в обох варіантах дослідження. Активація повітря імпульсами з частотою 100 Гц скорочує час нагрівання води на 11,1 %. Одночасна активація пропану і повітря призводить до скорочення часу нагрівання води на 12 %. Розрахована для другого експерименту $HP_{0,05}=2,46$ свідчить про неістотність відмінностей між варіантами практично для всього досліджуваного діапазону частот ВПНЕП. Ця неістотність відмінностей пояснюється тим, що у варіанті з одночасною активацією обох компонентів реакції горіння ефективною була лише активація повітря, а внесок в загальну ефективність реакції горіння активованого природного газу був незначним. Звідси можна зробити висновок, що в другому варіанті другого експерименту параметри електричного поля не дозволили в достатній мірі провести активацію молекул природного газу, а саме метану, як основної його складової. Тому, необ-

хідно продовжити дослідження дії високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля на молекули-реагенти реакції горіння природного газу (метану) в повітрі.

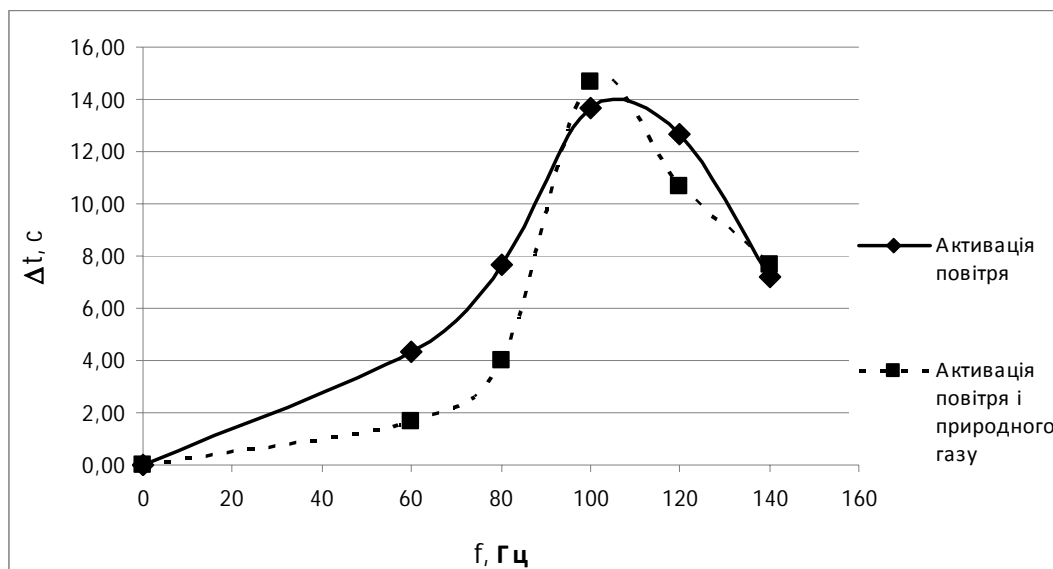


Рис. 5. Залежність величин зниження часу нагрівання води від частоти імпульсів при електроактивації пропану і повітря.

Висновки. 1. Активация молекул-реагентів реакції горіння пропану і природного газу в повітрі високовольтним пульсуючим нерівномірним електричним полем призводить до підвищення ефективності паливних установок.

2. Найбільша ефективність застосування електроактивації (до 22%) виявлена при спалюванні пропану в повітрі при частоті високовольтного пульсуючого нерівномірного електричного поля 120 Гц і активації обох компонентів реакції горіння.

3. Отримана 12 % -а економія палива при електроактивації молекул-реагентів реакції горіння природного газу в повітрі при частоті ВПНЕП 100 Гц пояснюється активацією лише кисню повітря.

4. Необхідно продовжити дослідження з електроактивації молекул-реагентів реакції горіння природного газу в повітрі.

5. Передбачається використання в перспективі запропонованого способу електроактивації молекул-реагентів реакції горіння пропану і природного газу в повітрі та обладнання для підвищення ефективності паливних установок різних типів.

Література

1. *Гуков Я.С.* Використання відновлюваних джерел енергії в сільському господарстві (наукова доповідь)/*Я.С. Гуков.* – ННЦ „ІМЕСГ”, 2005.– 24 с.

2. *А.В. Праховник.* Енергетичний менеджмент: Навчальний по-

сібник / *А.В. Праховник, В.П. Розен, О.В. Разумовський та ін.* – К. : Київ. Нот.ф-ка, 1999.–184 с.

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

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

5. *А.И. Китайгородский*. Введение в физику / *А.И. Китайгородский*. – М. : Наука, 1973.– 688 с.

6. Физическая энциклопедия.– Метастабильное состояние /<http://dic.academic.ru>.

7. The Open University/ <http://openlearn.open.ac.uk/mod/oucontent>.

8. *Н.А. Кацов*. Электроника / *Н.А. Кацов*. – М. : «Гостехиздат», 1954. - 470 с.

9. *Б.М. Ковальшин*. Застосування електричного поля високої напруги для підвищення енергоефективності паливних установок / *Б.М. Ковальшин*. – К.: Науковий вісник НУБіП України, “Техніка та енергетика в АПК”, вип. 161.–2011. - С. 27–32.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИИ МОЛЕКУЛ-РЕАГЕНТОВ РЕАКЦИИ ГОРЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНЫХ УСТАНОВОК

Ковальшин Б.М.

Аннотация - проведено обоснование повышения эффективности сжигания пропана и природного газа под воздействием высоковольтного пульсирующего неравномерного электрического поля, проанализированы полученные экспериментальные результаты.

THE USED OF ELECTRO-ACTIVATION OF MOLECULES-REAGENTS OF BURNING REACTION FOR INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF FUEL EQUIPMENTS

B. Kovalyshyn

Summary

The substantiation of increase of efficiency of burning of the pro-sir and natural gas under the influence of high-voltage pulsing non-uniform electric field is spent, the received experimental results are analysed.