

УДК 541.128.13; 621.313.12

Анатичук Л.І., Михайловський В.Я., Семізорів О.Ф.,  
Струтинська Л.Т., Каштелян О.Ф., Максимук М.В.

Інститут термоелектрики НАН і МОН України,  
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна

### КАТАЛІТИЧНЕ ДЖЕРЕЛО ТЕПЛА З ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМ ГЕНЕРАТОРОМ

---

*Показано результати досліджень і розробки автономного каталітичного джерела тепла з термоелектричним генератором, застосуванням якого досягається підвищення ефективності і екологічна чистота каталітичного спалювання газових органічних палив. Проведені оцінки і аналіз характеристик каталітичних джерел тепла, на підставі якого визначено шляхи підвищення їх ефективності.*

*Описано конструкцію дифузійного каталітичного джерела тепла з термогенератором, наведено результати експериментальних досліджень і оптимізації параметрів, а також раціональні області застосування таких джерел тепла.*

**Ключові слова:** каталітичне джерело тепла, термоелектричний генератор.

*The results of research and development of a self-contained catalytic heat source with a thermoelectric generator used to achieve improved efficiency and ecological purity of the catalytic combustion of gas organic fuels are presented. An estimate is made and comparative analysis of characteristics of catalytic heat sources is performed and the ways for improving their efficiency are determined. Construction of a diffusion catalytic heat source with a thermal generator is described with the results of experimental research and parameter optimization, as well as the rational application areas of such heat sources are given.*

**Key words:** catalytic heat source, thermoelectric generator.

#### Вступ

Нині полум'яне спалювання органічного палива – це основний спосіб одержання теплової енергії для промислового і побутового призначення. При цьому ефективність використання хімічної енергії палива дуже низька, оскільки втрати тепла за такого спалювання палива нерідко можуть досягати 30-40%. Крім цього, використання полум'яного згорання погіршує екологічні показники навколишнього середовища. Вміст токсичних речовин (оксиди азоту і вуглецю) у продуктах згорання палива може досягати 20-50 мг/м<sup>3</sup> і 100-500 мг/м<sup>3</sup> відповідно [1, 2]. Це на кілька порядків більше норм приземних гранично допустимих концентрацій відповідних речовин у населеній місцевості (табл.1) [3].

Для спалювання газового палива й одержання тепла використовуються також інфрачервоні безполум'яні випромінювачі, спектр випромінювання яких становить 0.5-3 мкм, температура керамічної насадки, де згорає паливо досягає 800 - 1200 °С [4]. У таких пристроях зберігаються недоліки, властиві полум'яним пальникам, тому їх застосування обмежене.

Таблиця 1

Гранично допустимі концентрації й показники відносної небезпеки речовин

Речовина	Максимальна разова концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Середньодобова концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Відносна небезпека
Оксид вуглецю	5	3	1
Вуглеводні	5	1.5	2
Оксид азоту	0.4	0.06	50
Діоксид азоту	0.09	0.04	75

Довгохвильові випромінювачі з більш низькою температурою тепловіддаючої поверхні (200 - 600 °С) використовуються переважно для опалення цехів, ангарів, спортивних залів і т.п. [5]. У них також використовується полум'яне спалювання газу. Для функціонування таких обігрівачів необхідна електрична енергія, що обмежує їхнє використання для автономного забезпечення споживачів тепловою енергією.

З погляду екологічної чистоти та безпеки найперспективнішим методом є каталітичне безполум'яне спалювання газового палива в пристроях з роздільною подачею палива і повітря в зону горіння. [6] Горіння палива на каталізаторі здійснюється за температури 300 – 600 °С без значного надлишку повітря, що дає можливість зменшити втрати тепла і суттєво знизити утворення  $CO$  і  $NO_x$  [5]. У таких джерелах тепла газ надходить на каталізатор під невеликим тиском, а повітря, необхідне для горіння, проникає в шар пористого каталізатора шляхом природної дифузії. Кількість повітря, що надходить, не регулюється, тому максимальна витрата газу в умовах природної дифузії повітря обмежується величиною 0.25 г/см<sup>3</sup> каталізатора. У зв'язку із цим дифузійні каталітичні джерела тепла мають низьку теплопродуктивність і більші габарити.

Каталітичні джерела тепла з роздільною подачею реагентів використовуються для обігріву побутових приміщень, техніки, апаратури, сушіння лакофарбових покриттів. [7 – 11] Обігрів приміщень здійснюється шляхом природної циркуляції повітря, яке нагрівається каталізатором. При цьому продукти згорання палива  $H_2O$  і  $CO_2$  залишаються в приміщенні, що погіршує екологічні показники приміщення, яке обігрівається, і вимагає застосування ефективної вентиляції приміщення. Мета пропонованої роботи – підвищення ефективності та поліпшення екологічних показників безполум'яних каталітичних джерел тепла з роздільною подачею горючого газу і палива на каталізатор.

## Результати розробки і дослідження параметрів каталітичного джерела тепла з термоелектричним генератором

Збільшення ефективності згорання палива і теплопродуктивності каталітичних джерел тепла з роздільною подачею реагентів може бути досягнуто інтенсифікацією масообмінних процесів у шарі каталізатора [12]. Визначено низку факторів, які впливають на рух газової суміші в пористому шарі каталізатора джерела тепла:

1 – тиск газу обумовлений примусовою подачею горючого газу, спрямованого від внутрішньої поверхні каталізатора до зовнішньої (випромінюючої) поверхні, і виникаюче в результаті цього поперечне вихрове перемішування газів у шарі каталізатора;

2 – дифузія газів, зокрема кисню для горіння, яка більш інтенсивна порівняно з іншими

газами, оскільки кисень вигорає в шарі каталізатора і внаслідок цього зберігається великий градієнт концентрації  $O_2$ : від майже 21% поблизу випромінюючої поверхні каталізатора до близької до нуля біля внутрішньої поверхні;

3 – температурна конвекція гарячих газів ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$ ), які рухаються в шарі каталізатора та уздовж вертикальної випромінюючої поверхні каталізатора.

Схему руху газів у каталітичному джерелі тепла показано на рис. 1.

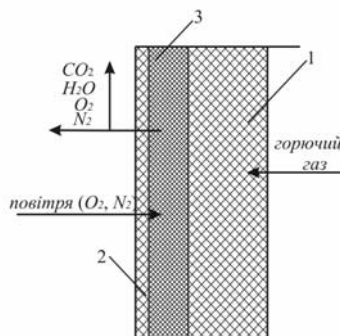


Рис. 1. Схема руху газів у каталітичному шарі джерела тепла: 1 – каталізатор; 2 – випромінююча поверхня каталізатора; 3 – зона горіння.

Здійснити регулювання дифузії кисню в шар каталізатора досить важко, оскільки вона залежить від градієнта концентрації  $O_2$  по товщині шару працюючого каталізатора. При цьому слід врахувати, що кисень дифундує в шар каталізатора назустріч продуктам згорання, що зменшує його концентрацію в зоні горіння. Зменшення концентрації кисню відбувається також внаслідок того, що азот повітря не вигорає і концентрація його в поверхневих шарах каталізатора більша, ніж в повітрі. Це додатково знижує концентрацію  $O_2$ , що дифундує в шар каталізатора.

Спеціальними дослідженнями встановлено, що з обдувом повітрям випромінюючої поверхні каталізатора відбувається істотне збільшення концентрації кисню по товщині шару каталізатора (рис. 2, кр. 1,2). Відповідно концентрація вуглеводню в шарі каталізатора зменшується (кр. 3,4). Слід зазначити, що зменшення концентрації горючого газу відбувається не в результаті його розведення іншими газами, а внаслідок збільшення питомої кількості спаленого газу. Для досліджуваної сполуки каталізатора ( $Co-Cr-Ni-Pd/SiO_2$ ) кількість газу, що спалюється (пропан-бутан) збільшується від  $0.25 \text{ г/см}^3$  до  $0.35 \text{ г/см}^3$  каталізатора. При цьому температура каталізатора в зоні горіння збільшується на  $30 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , що в результаті дає можливість збільшити теплопродуктивність одиниці об'єму каталізатора в 1.2 – 1.3 раза.

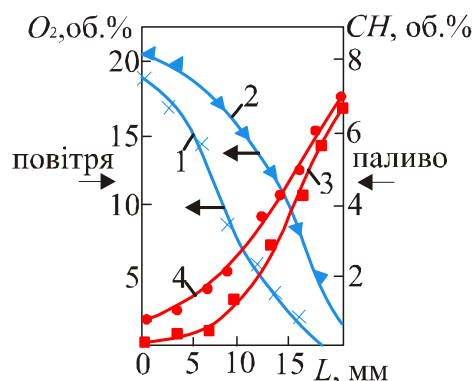


Рис. 2. Розподіл концентрації кисню (1,2) і пального газу (3,4) по товщині шару каталізатора ( $L$ ) за природної дифузії повітря в шар каталізатора (1,4) і примусовим обдувом повітрям (2,3).

Результати проведених досліджень реалізовані в конкретній конструкції каталітичного джерела тепла, в якому використано роздільну подачу реагентів на каталізатор і примусовий обдув випромінюючої поверхні каталізатора за допомогою електричного вентилятора, живлення якого здійснюється від термоелектричного генератора. Схема і зовнішній вигляд каталітичного джерела тепла потужністю 1 кВт наведено на рис. 3.

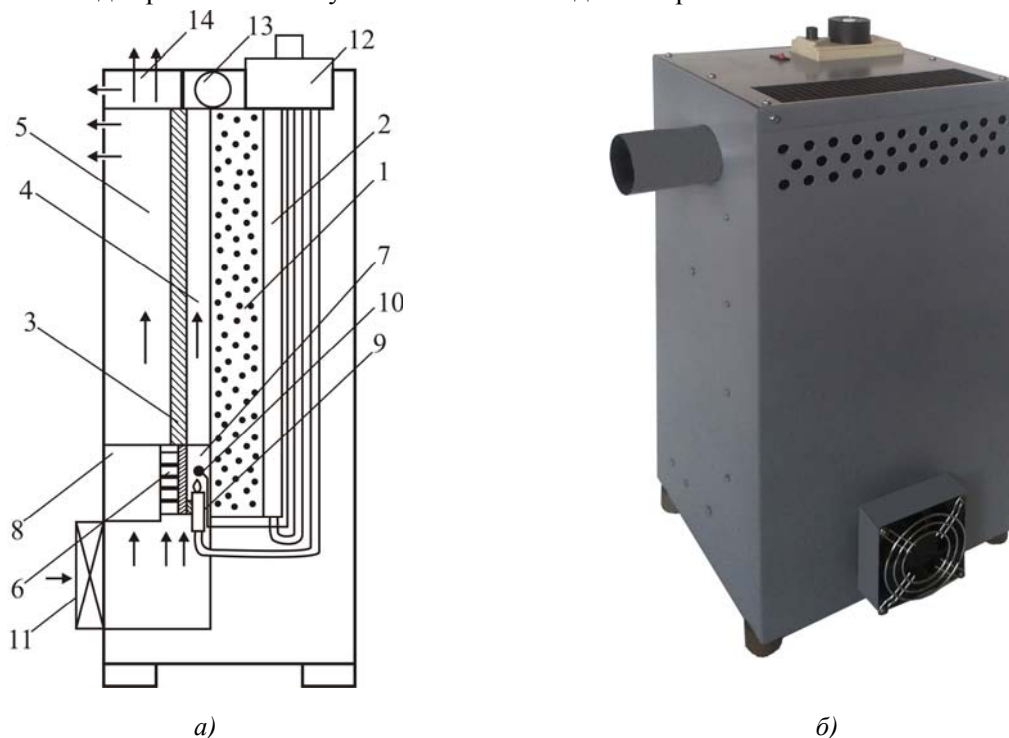


Рис. 3. Схема і зовнішній вигляд каталітичного джерела тепла на газовому паливі з термоелектричним генератором: 1 – каталізатор; 2 – розподільна камера; 3,4,5 – повітряний радіатор; 6 – термогенератор; 7 – гарячий радіатор генератора; 8 – холодний радіатор генератора; 9 – пусковий пальник; 10 – термопара; 11 – вентилятор; 12 – газова автоматика; 13, 14 – колектори.

Каталітичне джерело тепла складається з каталізатора 1, розподільної газової камери 2, радіатора 3, який має вертикальні ребра 4 для відводу тепла від каталізатора і ребра 5 для нагрівання повітря, яким обігрівается приміщення. У нижній частині радіатора 3 розміщений термоелектричний генератор 6, який має гарячий 7 і холодний 8 радіатори.

Електрична потужність термогенератора становить 1.5 – 2.5 Вт. Між ребрами гарячого радіатора встановлений пусковий пальник 9 з термопарою 10. Примусова подача повітря для горіння газу і обігріву приміщення здійснюється електричним вентилятором 11, який живиться від термогенератора 6. Запуск і керування роботою каталітичного джерела тепла здійснюється газовою автоматикою 12. У верхній частині джерела тепла розміщені колектор 13 для відводу продуктів згорання газу в навколишнє середовище та колектор 14 для виходу нагрітого повітря.

Особливість розробленого каталітичного джерела тепла полягає в тому, що потік повітря, яке подається вентилятором, розподіляється на два потоки. Повітря, необхідне для горіння газу, надходить між ребрами 4 радіатора 6 до поверхні каталізатора і потім разом із продуктами горіння відводиться через колектор 13 і димар у навколишнє середовище. Другий потік повітря рухається між ребрами 5 радіатора 6, нагрівається і чистим (не забруднений продуктами згорання) надходить через колектор 14 для обігріву приміщення.

Результати експериментальних досліджень параметрів каталітичного джерела тепла з

термогенератором наведено на рис. 4.

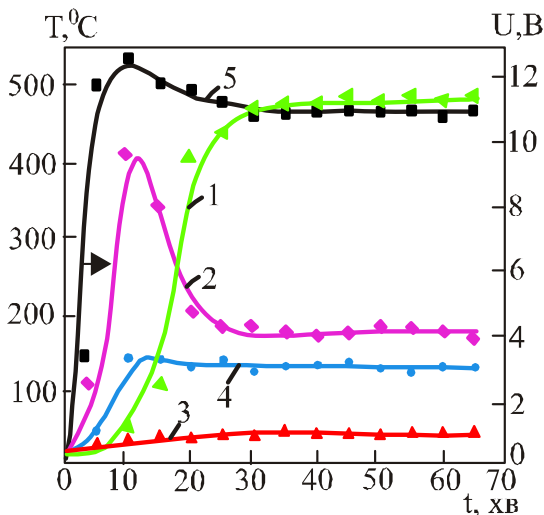


Рис.4. Залежність температури каталізатора (1,2), температури холодного (3), гарячого (4) радіаторів термогенератора і напруги термогенератора (5) від часу.

Видно, що залежність температури каталізатора від часу має складний характер. У початковому періоді роботи температура нижньої частини каталізатора, де розміщений пусковий пальник, швидко зростає (кр. 2) і проходить через максимум за 370 – 400 °C. Після досягнення в нижній частині каталізатора максимальної температури починається швидке зростання температури у верхній частині каталізатора (кр. 1) і її стабілізація на рівні 450 – 480 °C. За таких температур каталізатора температура гарячого радіатора термогенератора становить 130 – 140 °C (кр. 4), холодного 30 – 40 °C (кр. 3), а вихідна напруга генератора – 11-11.5 В (кр. 5)

Електрична потужність термогенератора за різниці температур між гарячою та холодною сторонами 90 – 100 °C перебуває на рівні 2.0 – 2.5 Вт. Цієї потужності досить для живлення електричного вентилятора, який використовується для обдуву повітрям випромінюючої поверхні каталізатора і подачі нагрітого повітря для обігріву приміщення. При цьому оптимальна швидкість руху повітря в каналах радіатора для відводу тепла від каталізатора становить 1 м/с, температура гарячого повітря для обігріву приміщення 70 – 90 °C, а температура продуктів горіння, які відводяться димарем у навколишнє середовище, – 100 – 110 °C.

## Висновки

Використання примусової подачі повітря до випромінюючої поверхні каталізатора дифузійного джерела тепла суттєво збільшує концентрацію кисню в шарі каталізатора, що робить можливим підвищити теплопродуктивність одиниці об'єму каталізатора в 1.3 рази зі збереженням 100% повноти згорання газового палива. Застосування термоелектричного генератора забезпечує автономне постачання споживачів тепловою енергією та поліпшує екологічні показники опалювальних приміщень.

Каталітичне джерело тепла з термоелектричним генератором може використовуватися для обігріву житлових і робочих приміщень, теплиць, гаражів, торговельних наметів, ангарів і т.п.

## **Література**

1. Janheman T.B. The development of atmospheric burners with respect to increasing emission rectification // Proceeding of First European Conference on Small Burner Technology and Heating Equipment. – Zurich. September, 25-26. – 1996. – Vol.1. – P. 23 – 34.
2. Кирилов В.А. Застосування каталітичного способу окиснення вуглеводневих газів для одержання тепла в побутовій теплоенергетиці / В.А. Кирилов, Н.А. Кузін, А.В. Куліков // Теплоенергетика. – 2000. – №1. – С. 18-22.
3. Маляренко В.А. Енергетичні установки. / В.А. Маляренко // – В. САГА, 2008. – 133 С.
4. Соснин Ю.П. Бытовые печи, камины и водонагреватели. / Ю.П. Соснин, У.Н. Бухарки // – М.: Стройиздат, 1984. – С. 368.
5. Михайловський В.Я. Про перспективи використання каталітичних джерел тепла та електрики / В.Я. Михайловський // Доповіді НАНУ – 2002. – №4. – С. 111 – 115.
6. Михайловський В.Я. Каталитические генераторы тепла и электричества – путь оптимального использования энергии углеводородного топлива / В.Я. Михайловський // Термоэлектричество. – 2001. – №2. – С. 3 – 13
7. Михайловський В.Я. Термоэлектрические микрогенераторы с каталитическим сжиганием пропан-бутана / В.Я. Михайловський // Термоэлектричество. – 2002. – №4. – С. 86 – 90
8. Anatyshuk L.I., Mikhailovsky V.Ja., Strutinskaya L.T. Catalytic generators of thermal and electric energy on gaseous fuel. J.of Thermoelectricity, 4, 1999, p. 72-80.
9. Анатычук Л.И. Рациональные области исследований и применений термоэлектричества / Л.И. Анатычук // Термоэлектричество. 2001. – №1. – С. 3 – 14.
10. Анатычук Л.И. Современное состояние и некоторые перспективы термоэлектричества / Л.И. Анатычук // Термоэлектричество. 2007. – №2. – С. 7 – 20.
11. V. Ja. Mikhailovsky Heat sources with catalytic combustion of hydrocarbons for thermoelectric generators // J. of Thermoelectricity, 1, 1993, p. 51-58.
12. Михайловський В.Я. Термоэлектрические генераторы на органическом топливе: дис. На соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. / В.Я. Михайловський – Черновцы, 2007. – 315 С.

Надійшла до редакції 14.08.2013