

УДК 541.128.13; 621.313.12

Анатычук Л.И., Михайловский В.Я., Семизоров А.Ф.,
Струтинская Л.Т., Каштелян А.Ф., Максимук Н.В.

Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины, ул. Науки, 1,
Черновцы, 58029, Украина

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛА С ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ГЕНЕРАТОРОМ

Представлены результаты исследований и разработки автономного каталитического источника тепла с термоэлектрическим генератором, применением которого достигается повышение эффективности и экологическая чистота каталитического сжигания газовых органических топлив. Проведена оценка и дан сравнительный анализ характеристик каталитических источников тепла, на основании которого определены пути повышения их эффективности. Описана конструкция диффузионного каталитического источника тепла с термогенератором, приведены результаты экспериментальных исследований и оптимизации параметров, а также рациональные области применения таких источников тепла.

Ключевые слова: каталитический источник тепла, термоэлектрический 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.

Введение

В настоящее время пламенное сжигание органического топлива – это основной способ получения тепловой энергии для промышленного и бытового назначения. При этом эффективность использования химической энергии топлива достаточно низкая, поскольку потери тепла при таком сжигании топлива в ряде случаев могут достигать 30 – 40 %. Кроме этого, использование пламенного сгорания ухудшает экологические показатели окружающей среды. Содержание токсических веществ (оксиды азота и углерода) в продуктах сгорания топлива может достигать 20 – 50 мг/м³ и 100 – 500 мг/м³ соответственно [1, 2]. Это на несколько порядков больше норм приземных гранично-допустимых концентраций соответствующих веществ в населенной местности (табл. 1) [3].

Для сжигания газового топлива и получения тепла используются также инфракрасные беспламенные излучатели, спектр излучения которых составляет 0.5 – 3 мкм, температура керамической насадки, где сгорает топливо, достигает 800 – 1200 °С [4]. В таких устройствах

сохраняются недостатки, свойственные пламенным горелкам, поэтому они имеют ограниченное применение.

Таблица 1

*Гранично-допустимые концентрации и показатели
относительной опасности веществ*

Вещество	Максимальная разовая концентрация, мг/м ³	Среднесуточная концентрация, мг/м ³	Относительная опасность
Оксид углерода	5	3	1
Углеводороды	5	1.5	2
Оксид азота	0.4	0.06	50
Диоксид азота	0.09	0.04	75

Длинноволновые излучатели, с более низкой температурой теплоотдающей поверхности (200 – 600 °С), используются преимущественно для отопления цехов, ангаров, спортивных залов и т.п. [5]. В них также используется пламенное сжигание газа. Для функционирования таких обогревателей необходима электрическая энергия, что ограничивает их использование для автономного обеспечения потребителей тепловой энергией.

С точки зрения экологической чистоты и безопасности наиболее перспективным методом является каталитическое беспламенное сжигание газового топлива в устройствах с отдельной подачей топлива и воздуха в зону горения [6]. Горение топлива на катализаторе осуществляется при температуре 300 – 600 °С без значительного избытка воздуха, что позволяет уменьшить потери тепла и существенно снизить образование CO и NO_x [5]. В таких источниках тепла газ поступает на катализатор под небольшим давлением, а воздух, необходимый для горения, проникает в слой пористого катализатора путем естественной диффузии. Количество поступающего воздуха не регулируется, поэтому максимальный расход газа в условиях естественной диффузии воздуха ограничивается величиной 0.25 г/см³ катализатора. В связи с этим диффузионные каталитические источники тепла имеют низкую теплопроизводительность и большие габариты.

Каталитические источники тепла с отдельной подачей реагентов используются для обогрева бытовых помещений, техники, аппаратуры, сушки лакокрасочных покрытий [7-11]. Обогрев помещений осуществляется путем естественной циркуляции воздуха, который нагревается катализатором. При этом продукты сгорания топлива H_2O и CO_2 остаются в помещении, что ухудшает экологические показатели обогреваемого помещения и требует применения эффективной вентиляции помещения. Целью настоящей работы является повышение эффективности и улучшение экологических показателей беспламенных каталитических источников тепла с отдельной подачей горючего газа и топлива на катализатор.

Результаты разработки и исследования параметров каталитического источника тепла с термоэлектрическим генератором

Увеличение эффективности сгорания топлива и теплопроизводительности каталитических источников тепла с отдельной подачей реагентов может быть достигнуто

интенсификацией массообменных процессов в слое катализатора [12]. Определен ряд факторов, которые влияют на движение газовой смеси в пористом слое катализатора источника тепла:

1 – давление газа, обусловленное принудительной подачей горючего газа, направленного от внутренней поверхности катализатора к внешней (излучающей) поверхности, и возникающее в результате этого поперечное вихревое перемешивание газов в слое катализатора;

2 – диффузия газов, в частности, кислорода для горения, которая более интенсивна в сравнении с другими газами, поскольку кислород выгорает в слое катализатора и вследствие этого сохраняется большой градиент концентрации O_2 : около 21 % вблизи излучающей поверхности катализатора до близкой к нулю возле внутренней поверхности;

3 – температурная конвекция горячих газов (O_2 , CO_2 , H_2O , N_2), которые двигаются в слое катализатора и вдоль вертикальной излучающей поверхности катализатора.

Схема движения газов в каталитическом источнике тепла представлена на рис. 1.

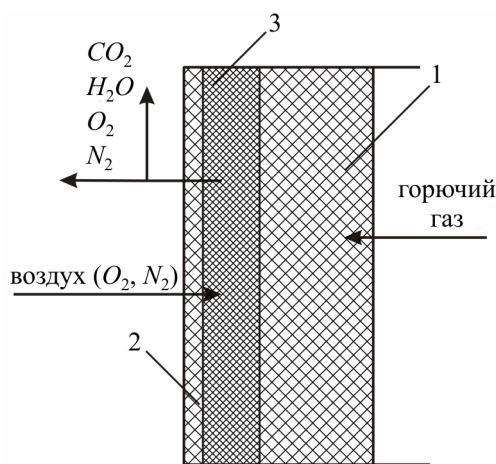


Рис. 1. Схема движения газов в каталитическом слое источника тепла: 1 – катализатор; 2 – излучающая поверхность катализатора; 3 – зона горения.

Осуществить регулирование диффузии кислорода в слой катализатора достаточно трудно, поскольку она зависит от градиента концентрации O_2 по толщине слоя работающего катализатора. При этом следует учесть, что кислород диффундирует в слой катализатора навстречу продуктам сгорания, что уменьшает его концентрацию в зоне горения. Уменьшение концентрации кислорода происходит также вследствие того, что азот воздуха не выгорает и концентрация его в поверхностных слоях катализатора больше, чем в воздухе, что дополнительно снижает концентрацию O_2 , диффундирующего в слой катализатора.

Специальными исследованиями установлено, что при обдуве воздухом излучающей поверхности катализатора происходит существенное увеличение концентрации кислорода по толщине слоя катализатора (рис. 2, кр. 1, 2). Соответственно концентрация углеводорода в слое катализатора уменьшается (кр. 3, 4). Следует отметить, что уменьшение концентрации горючего газа происходит не в результате его разведения другими газами, а вследствие увеличения удельного количества сгораемого газа. Для исследуемого состава катализатора ($Co-Cr-Ni-Pd/SiO_2$) количество сжигаемого газа (пропан-бутан) увеличивается от 0.25 г/см^3 до 0.35 г/см^3 катализатора. При этом температура катализатора в зоне горения увеличивается на $30 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$, что в итоге позволяет увеличить теплопроизводительность единицы объема катализатора в 1.2 – 1.3 раза.

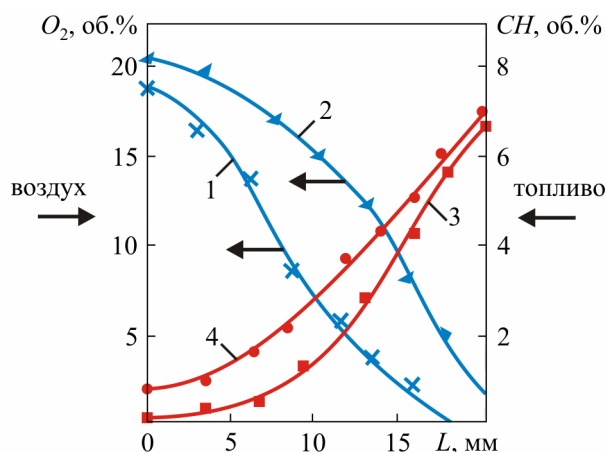


Рис. 2. Распределение концентрации кислорода (1, 2) и горючего газа (3, 4) по толщине слоя катализатора (L) при естественной диффузии воздуха в слой катализатора (1, 4) и принудительным обдувом воздухом (2, 3).

Результаты проведенных исследований реализованы в конкретной конструкции каталитического источника тепла, где использованы раздельная подача реагентов на катализатор и принудительный обдув излучающей поверхности катализатора с помощью электрического вентилятора, питание которого осуществляется от термоэлектрического генератора. Схема и внешний вид каталитического источника тепла мощностью 1 кВт приведены на рис. 3.

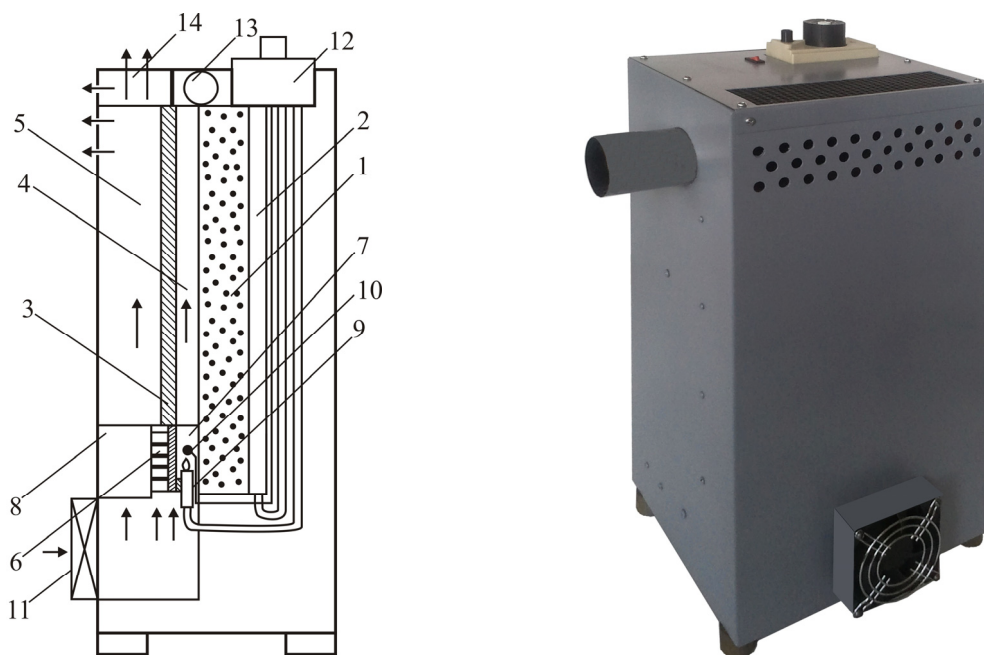


Рис. 3. Схема и внешний вид каталитического источника тепла на газовом топливе с термоэлектрическим генератором: 1 — катализатор; 2 — распределительная камера; 3, 4, 5 — воздушный радиатор; 6 — термогенератор; 7 — горячий радиатор генератора; 8 — холодный радиатор генератора; 9 — пусковая горелка; 10 — термопара; 11 — вентилятор; 12 — газовая автоматика; 13, 14 — коллекторы.

Каталитический источник тепла состоит из катализатора 1, распределительной газовой камеры 2 и радиатора 3, который имеет вертикальные ребра 4 для отвода тепла от катализатора

и ребра 5 для нагрева воздуха, которым обогревается помещение. В нижней части радиатора 3 размещен термоэлектрический генератор 6, который имеет горячий 7 и холодный 8 радиаторы.

Электрическая мощность термогенератора составляет 1.5 – 2.5 Вт. Между ребрами горячего радиатора установлена пусковая горелка 9 с термопарой 10. Принудительная подача воздуха для горения газа и обогрева помещения осуществляется электрическим вентилятором 11, который питается от термогенератора 6. Запуск и управление работой каталитического источника тепла осуществляется газовой автоматикой 12. В верхней части источника тепла размещены коллектор 13 для отвода продуктов сгорания газа в окружающую среду и коллектор 14 для выхода нагретого воздуха.

Особенность разработанного каталитического источника тепла состоит в том, что поток воздуха, который подается вентилятором, распределяется на два потока. Воздух, необходимый для горения газа, поступает между ребрами 4 радиатора 3 к поверхности катализатора и затем вместе с продуктами горения отводится через коллектор 13 и дымовую трубу в окружающую среду. Второй поток воздуха движется между ребрами 5 радиатора 3 нагревается и чистым (не загрязнен продуктами сгорания) поступает через коллектор 14 для обогрева помещения.

Результаты экспериментальных исследований параметров каталитического источника тепла с термогенератором приведены на рис. 4.

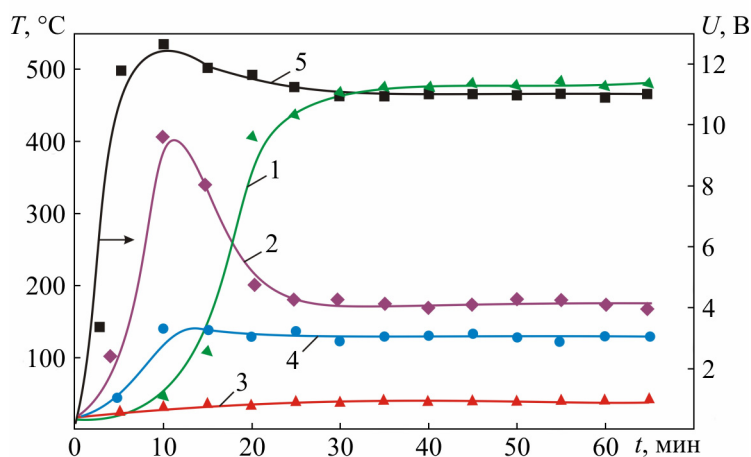


Рис. 4. Зависимость температуры катализатора (1, 2), температуры холодного (3), горячего (4) радиаторов термогенератора и напряжения термогенератора (5) от времени.

Видно, что зависимость температуры катализатора от времени имеет сложный характер. В начальном периоде работы температура нижней части катализатора, где размещена пусковая горелка, быстро возрастает (кр. 2) и проходит через максимум при 370 – 400 $^\circ\text{C}$. После достижения в нижней части катализатора максимальной температуры, начинается быстрый рост температуры в верхней части катализатора (кр. 1) и ее стабилизация на уровне 450 – 480 $^\circ\text{C}$. При таких температурах катализатора температура горячего радиатора термогенератора составляет 130 – 140 $^\circ\text{C}$ (кр. 4), холодного 30 – 40 $^\circ\text{C}$ (кр. 3), а выходное напряжение генератора – 11 ÷ 11.5 В (кр. 5)

Электрическая мощность термогенератора при разности температур между горячей и холодной сторонами 90 – 100 $^\circ\text{C}$ находится на уровне 2.0 – 2.5 Вт. Этой мощности достаточно для питания электрического вентилятора, который используется для обдува воздухом излучающей поверхности катализатора и подачи нагретого воздуха для обогрева помещения.

При этом оптимальная скорость движения воздуха в каналах радиатора для отвода тепла от катализатора составляет 1 м/с, температура горячего воздуха для обогрева помещения 70 – 90 °С, а температура продуктов горения, которые отводятся дымовой трубой в окружающую среду – 100 – 110 °С.

Выводы

Использование принудительной подачи воздуха к излучающей поверхности катализатора диффузионного источника тепла существенно увеличивает концентрацию кислорода в слое катализатора, что позволяет повысить теплопроизводительность единицы объема катализатора в 1.3 раза при сохранении 100 % полноты сгорания газового топлива. Применение термоэлектрического генератора обеспечивает автономное снабжение потребителей тепловой энергией и улучшает экологические показатели отапливаемых помещений.

Каталитический источник тепла с термоэлектрическим генератором может использоваться для обогрева жилых и рабочих помещений, теплиц, гаражей, торговых палаток, ангаров и т.п.

Литература

1. T.B. Janheman, The Development of Atmospheric Burners with Respect to Increasing Emission Rectification, *Proceedings of First European Conference on Small Burner Technology and Heating Equipment*, Vol. 1, P. 23 – 34 (Zurich, September, 25 – 26, 1996).
2. Кириллов В.А. Применение каталитического способа окисления углеводородных газов для получения тепла в бытовой теплоэнергетике / В.А. Кириллов, Н.А. Кузин, А.В. Куликов // Теплоэнергетика. – 2000. – № 1. – С. 18 – 22.
3. Маляренко В.А. Энергетичні установки. / В.А. Маляренко – Видавн. САГА, 2008. – 133 с.
4. Соснин Ю.П. Бытовые печи, камины и водонагреватели. / Ю.П. Соснин, У.Н. Бухарки – Москва: Стройиздат, 1984. – 368 с.
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. L.I. Anatyshuk, V.Ya. Mikhailovsky, L.T. Strutinskaya, Catalytic generators of thermal and electric energy on gaseous fuel, *Journal of Thermoelectricity*, 4, 72 – 80 (1999).
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.Ya. Mikhailovsky, Heat Sources with Catalytic Combustion of Hydrocarbons for Thermoelectric Generators, *Journal of Thermoelectricity*, 1, 51 – 58 (1993).
12. Михайловский В.Я. Термоэлектрические генераторы на органическом топливе: дис. на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. / В.Я. Михайловский – Черновцы, 2007. – 315 с.

Поступила в редакцию 14.08.2013.