

4. *Нетрадиционные* энерготехнологии эффективного получения и использования искусственных композитных жидких топлив / О. В. Кравченко, И. Г. Суворова, Я. В. Смирнов, С. С. Холобцев // *Авиац.-косм. техника и технология*. – Харьков, 2006. – № 10 (36). – С. 91–97.
5. Пат. 79617 Украина МПК (2006) C10G 15/00. Способ кавитационной гидрогенизации и гидролиза углеводородов и устройство для его осуществления / И. И. Мирошниченко, Ю. М. Мацевитый, И. И. Мирошниченко, О. В. Кравченко, А. А. Тарелин; заявитель и патентодержатель Ин-т проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины. – № а 2005 00188; заявл. 10.01.2005; опубл. 10.07.07, Бюл. № 10.
6. Заявка 2005 10753 Україна, МПК7 B01F 7/00, C 10 G 7/06. Спосіб переробки мазуту та роторно-кавітаційний диспергатор для його здійснення / І. І. Мірошниченко, І. Г. Суворова, Ю. М. Мацевитий, О. В. Кравченко, А. О. Тарелін, І. І. Мірошниченко (Україна). – Заявл. 14.11.05.
7. *Хмельв, В. Н.* Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве / В. Н. Хмельв, О. В. Попова. – Барнаул: АлтГТУ, 1997. – 160 с.
8. *Уразовский, С. С.* О диспергировании ультразвуком / С. С. Уразовский, И. Г. Полоцкий // *Коллоид. журн.* – 1940. – Т. 6, вып. 9. – 1940. – С. 779–785.
9. *Агранат, Б. А.* Ультразвуковая технология. – М.: Металлургия, 1974. – 504 с.
10. *Гершгал, Д. А.* Ультразвуковая технологическая аппаратура. Учеб. пособие. — 3-е изд., перераб. и доп. / Д. А. Гершгал, В. М. Фридман – М.: Энергия, 1976. – 320 с.
11. *Маркова, А. И.* Применение ультразвука в промышленности. – М.: Машиностроение, 1975. – 240 с.
12. ЦТС-19 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elpariezo.ru/generalpurpose.shtml>.
13. *Кошкин Н. Н.* Справочник по элементарной физике / Н. Н. Кошкин, М. Г. Ширкевич. – М.: Наука, 1976. – 256 с.
14. *Таблицы физических величин: Справ. / Под ред. И. К. Кикоина.* – М.: Атомиздат., 1976. – 1008 с.
15. *Кулемин, А. В.* Ультразвук и диффузия в металлах / А. В. Кулемин. – М.: Металлургия, 1978. – 199 с.
16. *Антрацит* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://centrcoal.com/products/anthracite/>.
17. *Антрацит* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ecosystema.ru/08nature/min/2\\_5\\_2\\_21\\_2.htm](http://www.ecosystema.ru/08nature/min/2_5_2_21_2.htm).

Поступила в редакцию 02.11.14

<sup>1</sup> А. Н. Попович

<sup>2</sup> А. А. Климаш,  
канд. техн. наук

<sup>1</sup> Технологический институт  
Востокукраинского национального  
университета им. В. Даля,  
г. Северодонецк,  
e-mail: deseretwind@ukr.net

<sup>2</sup> Институт химических технологий  
Востокукраинский национальный  
университет им. В. Даля,  
г. Рубежное, e-mail: ankl-80@rambler.ru

**Ключові слова:** оксидні каталізатори, мінеральне волокно, каталітично-стабілізований пальник, спалювання метану.

УДК 662.951.2

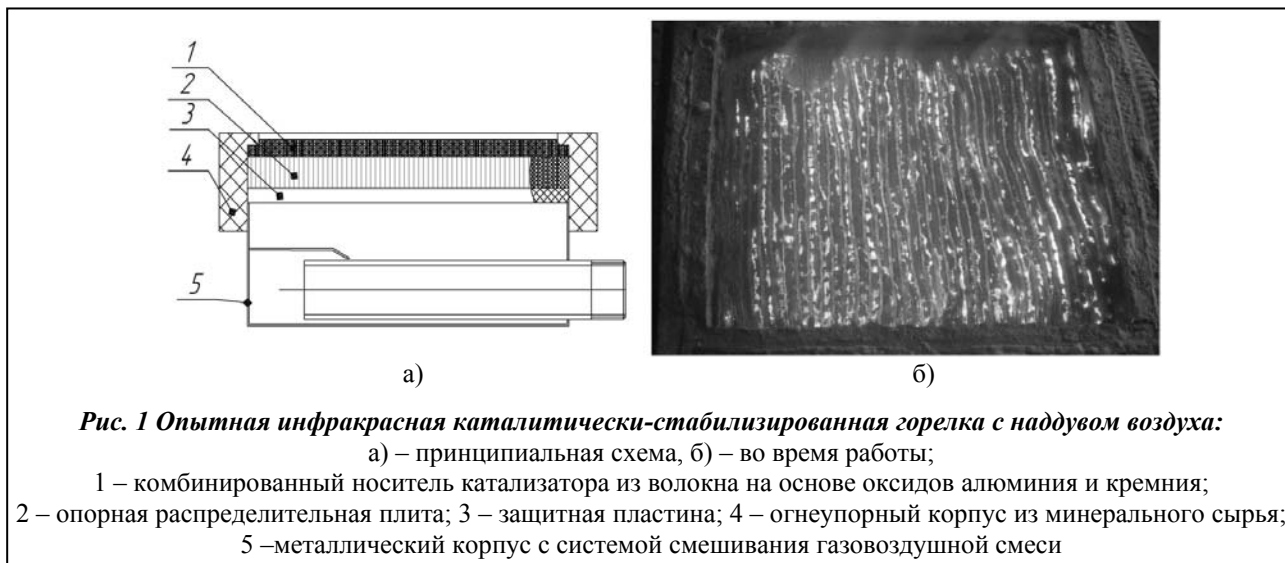
## РАЗРАБОТКА КАТАЛИТИЧЕСКИ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ГОРЕЛОК ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ

*Експериментально підтверджена працездатність і надійність розроблених пальників в умовах високих температур і великих термічних навантажень. Результати дослідження показують збільшення ефективності, зниження емісій токсичних газів, стабільну роботу при різних режимах і співвідношеннях компонентів у горючій суміші, термічну стійкість мінерального каталізатора на основі магній-алюміній-хромової шпінелі.*

### Введение

На сегодняшний день проблеме более эффективного и экологически безопасного использования природных ресурсов уделяют большое внимание: модернизируются технологии утилизации промышленных отходов и сточных вод, уменьшается потребление отравляющих окружающую среду

© А. Н. Попович, А. А. Климаш, 2014



**Рис. 1** Опытная инфракрасная каталитически-стабилизированная горелка с наддувом воздуха:

а) – принципиальная схема, б) – во время работы;

1 – комбинированный носитель катализатора из волокна на основе оксидов алюминия и кремния; 2 – опорная распределительная плита; 3 – защитная пластина; 4 – огнеупорный корпус из минерального сырья; 5 –металлический корпус с системой смешивания газовойдушной смеси

формальдегидных смол, продуктов нефтехимии, увеличивается доля использования альтернативных источников электрической энергии, рекуперации тепла. Также одним из примеров рационального использования ресурсов является каталитически-стабилизированное и каталитическое сжигание углеводородных топлив. Сегодня теоретические и практические принципы каталитически-стабилизированного сжигания топлива, влияние природы применяемых катализаторов, разнообразные конструкции реакторов, сферы применения изучаются по всему миру [1–6]. Так, в США и европейских странах разрабатываются и внедряются каталитические горелки для модернизации каталитических газотурбинных установок разной мощности, туннельных сушилок. Это позволяет увеличить коэффициент полезного действия и улучшить экологические показатели. В РФ и Украине успешно разрабатывают катализаторы для получения синтез-газа и водорода, утилизации токсичных выбросов, эффективного проведения энергетических процессов.

Кроме перечисленных выше, очень актуальной является замена пламенных горелок, как бытовых, так и промышленного значения на каталитически-стабилизированные. Ведь пламенное сжигание углеводородного топлива является не только неэффективным (max КПД  $\approx 55\%$ ), но и одним из главных источников парниковых газов:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ .

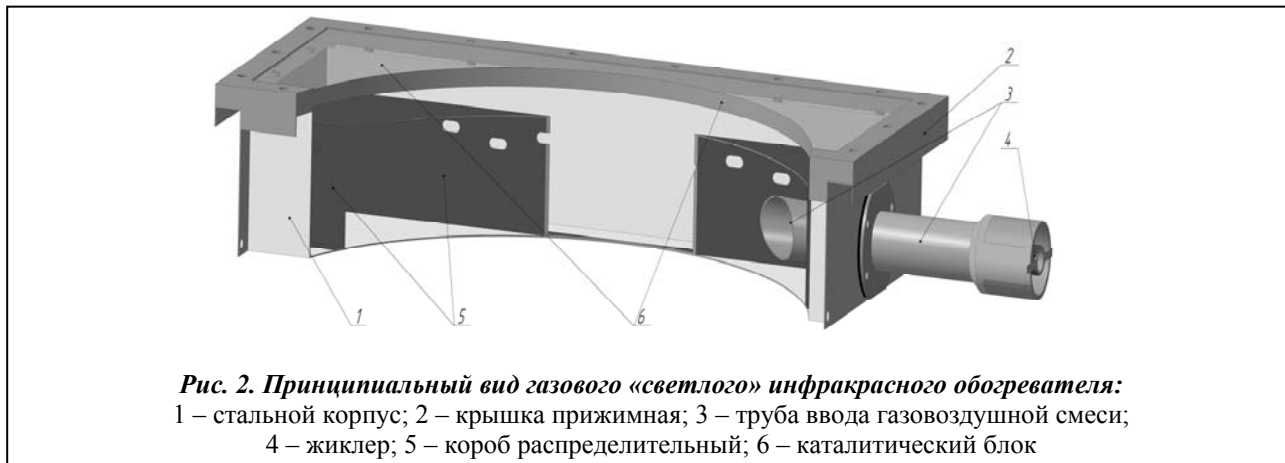
Первые шаги в этом направлении были сделаны еще в конце XX столетия, а уже сегодня производятся инфракрасные каталитические горелки для бытовых печей, водогрейных аппаратов, котлов, газотурбинных установок, первичного реформинга метана, но у них еще есть недостатки. К основным недостаткам можно отнести дороговизну из-за наличия благородных металлов в составе катализатора, хрупкость носителя при высоких скоростях газовойдушной смеси и температурах.

### Основная часть

С целью усовершенствования проведения высокотемпературных процессов: плавление базальта, стекла, где рабочие температуры в пределах от 1000 до 1600 °С нами было принято решение о разработке каталитически-стабилизированных горелок номинальной мощностью от 15 до 50 кВт.

Для реализации данной задачи было проведено серию опытов, посвященных методике наработке катализатора и выбору конструкционных материалов, из которых изготавливается огнеупорный корпус. В результате проведенных опытов [7] мы разработали горелки инфракрасного действия, позволяющие расширить область применения каталитически-стабилизированного горения.

Особенностью данной горелки (рис. 1) является материал носителя катализатора, способ сборки, а также сам катализатор, которые обеспечивают высокую эффективность и безопасность при сжигании топлива. В качестве катализатора использовались шпинели алюмината и хромата магния в заданных пропорциях, а в качестве носителя – алюмосиликатное волокно различной плотности марки «ALSIFLEX KT-1600». Для лучшего распределения газовойдушной смеси и защиты от самовоспламенения за счет теплоотдачи под слоем катализатора в конструкции горелки предусмотрены защитные пластины, изготовленные из перфорированной алюмосиликатной плиты.



Результаты исследования опытного образца подтвердили данные по выбросам парниковых газов, полученные при тестировании аналогичного лабораторного образца [7], работоспособность катализатора и носителя под действием высоких температур и объемных нагрузок топлива. Разработанная конструкция горелки обеспечивает прирост коэффициента полезного действия за счет инфракрасного излучения, стойкость к термическим нагрузкам до 55 Вт/см<sup>2</sup>. За счет использования катализатора и рекуперации отходящих газов на 15% уменьшается расход природного газа.

Газовые «светлые» обогреватели появились в 1936 году. С тех пор принцип их работы практически не изменялся – беспламенное поверхностное сжигание газа приводит к нагреванию пористой керамической пластины, которая начинает излучать тепло в инфракрасном спектре. Основные усовершенствования относились к конструкции прибора, материалам, рекуперации тепловой энергии, автоматике.

В своей работе мы предлагаем изменить принцип сжигания углеводородного топлива на беспламенное каталитически-стабилизированное горение, которое обладает особенностями: горение протекает в две стадии, обеспечивая при этом глубокое окисление топлива; низкую эмиссию парниковых газов; увеличение удельной мощности.

При разработке «светлого» каталитически-стабилизированного инфракрасного обогревателя (рис. 2) за базу был принят ГИИ-15 ТЕРМО-ШВАНК 2104 (ТУ 4858-001-44708510-97) номинальной тепловой мощностью 15 кВт (14 Вт/см<sup>2</sup>). Серийный аппарат оснащен 8 кардиеритовыми сотовыми керамическими блоками размерами 98×135×14 мм.

С целью получения положительного эффекта в конструкцию излучателя были внесены следующие изменения:

- уменьшена первоначальная длина корпуса от 1146 до 600 мм. Остальная конструкция корпуса и распределительного короба не претерпели изменений;
- заменена керамическая плита на каталитический блок. Каталитический блок – это катализатор на основе шпинели алюмината и хромата магния в заданных пропорциях, нанесенные на специфично уложенное алюмосиликатное волокно марки «ALSIFLEX KT-1600»;
- заменена системы инжекции (сопло и смесительная труба) на систему турбонадува, которая обеспечивает интенсивное смешение газозвушной смеси, прирост мощности, улучшает безопасность эксплуатации излучателя.

При проведении лабораторных испытаний (рис. 3) в качестве углеводородного топлива был использована смесь (% об.): пропан – 78; бутан 22 (средняя плотность 2,2 кг/м<sup>3</sup>).

Результаты испытаний представлены в таблице.

В результате проведенной работы получены результаты (таблица), свидетельствующие о целесообразности применения каталитически-стабилизированного горения углеводородного топлива как перспективной замены беспламенному поверхностному сжиганию топлива, поскольку улучшаются:

- технологические показатели (уменьшаются габаритные размеры, увеличивается КПД), при сравнимых габаритах и массе производительность увеличивается с 15 до 40 кВт·ч (по удельной тер-

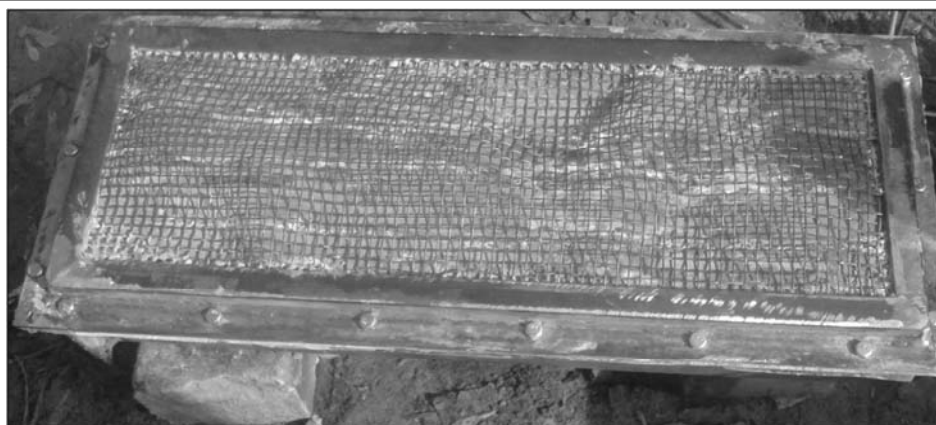


Рис. 3 «Светлый» обогреватель во время работы

- мической нагрузке с 140 до 550 кВт·ч/м<sup>2</sup>);
- экологические показатели. При тепловой мощности каталитически стабилизированного агрегата 15 кВт содержание NO<sub>x</sub> в продуктах сгорания в двадцать раз меньше, а содержание СО почти в 5 раз меньше, чем у серийного аппарата ГИИ-15.
- технологические показатели (уменьшаются габаритные размеры, увеличивается КПД), при сравнимых габаритах и массе производительность увеличивается с 15 до 40 кВт·ч (по удельной термической нагрузке с 140 до 550 кВт·ч/м<sup>2</sup>);
- экологические показатели. При тепловой мощности каталитически стабилизированного агрегата 15 кВт содержание NO<sub>x</sub> в продуктах сгорания в двадцать раз меньше, а содержание СО почти в 5 раз меньше, чем у серийного аппарата ГИИ-15.

Опираясь на результаты исследования, с целью увеличения КПД и экономии природных ресурсов, можно рекомендовать опытные образцы горелок к внедрению в производствах печей высокотемпературных процессов переработки стекла и базальта, а также в качестве светлого инфракрасного обогревателя бытовых и промышленных помещений.

*Экспериментальные данные по испытаниям светлого инфракрасного обогревателя*

Расход топлива м <sup>3</sup> /ч	Объем воздуха, α			Мощность кВт / Тепловая нагрузка, Вт/см <sup>2</sup>	Т, °С	Перепад давления, ΔР, мм в. ст.	
	1,0	1,2	1,5			топливо	топливо и воздух
Диаметр жиклера 4,2 мм							
0,451	11,4	13,8	17,1	12,7 / 15,6	680	30	11
0,672	13,6	16,3	20,4	19,0 / 23,4	840	65	14
0,690	17,5	20,9	26,3	19,5 / 24,0	880	67	15
0,810	20,5	24,6	30,8	22,9 / 28,2	990	100	19
0,912	23,1	27,7	34,7	25,7 / 31,6	1040	105	20
1,020	25,8	31,0	38,7	28,8 / 35,4	1090	127	25
1,080	27,3	32,8	41,0	30,5 / 37,5	1120	135	27
Диаметр жиклера 5,1 мм							
0,410	10,4	12,5	15,6	10,4 / 12,8	670	17	10
0,655	16,6	20,08	24,9	18,5 / 22,8	820	30	13
0,980	24,8	16,3	20,4	27,6 / 34,0	980	65	23
0,990	25,0	30,0	37,5	27,9 / 34,3	1020	67	24
1,18	29,5	35,3	44,3	33,2 / 40,8	1100	100	29
1,326	33,6	40,3	50,4	37,4 / 46,0	1140	105	31
1,485	37,6	45,1	56,4	41,9 / 51,5	1170	127	33
1,616	40,9	49,1	61,4	45,6 / 56,1	1180	135	34

**Литература**

1. *Herman, R.* Development of active oxide catalysts for the direct oxidation of methane to formaldehyde / R. Herman, I. Wachs // *Catalysis Today*. – 1997. – № 37. – P. 1–14.
2. *Iwamoto, M.* Heterogeneous catalysis for removal of NO in excess oxygen / M. Iwamoto // *Catalysis Today*. – 1996. – № 29. – P. 29–35.
3. *Burch, R.* Selective reduction of nitrogen oxides by hydrocarbons under lean – burn conditions using supported platinum group metal catalysts / R. Burch // *Catalysis Today*. – 1995. – № 26. – P. 85–206.
4. *Разработка* многокомпонентных металл-оксидных катализаторов нейтрализации выхлопов двигателей внутреннего сгорания / П. И. Кириенко, Н. А. Попович, С. А. Соловьев и др. // *Східн.-Європ. журн. передових технологій*. – 2010. – Т. 2, № 6 (44). – С. 18–24.
5. *Курзина, И. А.* Глубокое окисление метана на платиновых и палладиевых катализаторах, нанесенных на нитрид кремния / И. А. Курзина // *Изв. Томск. политехн. ун-та*. – 2005. – Т. 308, № 4. – С. 104–109.
6. *Methane* combustion on perovskites-based structured catalysts / S. Cimino, L. Lisi, R. Pirone et al. // *Catalysis Today*. – 2000. – № 59. – P. 19–31.
7. *Климаш, А. А.* Исследование каталитически-стабилизированных газогорелочных устройств для бытовых и промышленных аппаратов / А. А. Климаш, Г. И. Соловьев, А. Н. Попович // *Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: Зб. наук. пр. – Вип. 5. – Дніпропетровськ: ЛІРА ЛТД, 2013. – 227 с.*

*Поступила в редакцію 12.07.14*

**А. А. Черный**  
**С. В. Машенко**  
**В. В. Гончаров,**  
 канд. хим. наук

Институт химических технологий  
 Восточноукраинского  
 национального университета  
 им. В. Даля, г. Рубежное,  
 e-mail: gonch\_vit@rambler.ru

УДК 004.942:621.384.6

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОН-АТОМНЫХ  
 ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРИ  
 КОРПУСКУЛЯРНОЙ БОМБАРДИРОВКЕ  
 ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ**

*Наведено результати моделювання іонної імплантації за допомогою створеної авторами програми "RIO" і нейронних мереж. Порівняння отриманих даних з реальними зразками показало високу точність зазначених методів при розрахунку параметрів геометрії поверхні, що свідчить про перспективність їх використання для прогнозування і контролю результатів іонної обробки з метою отримання необхідних характеристик імплантатів.*

**Ключові слова:** іонна імплантація, комп'ютерна модель, імплантати, нейронні мережі.

**Введение**

При ионной имплантации происходит взаимодействие бомбардирующих ионов с твердым телом, обуславливающее изменение широкого спектра свойств материалов [1–4]. Повышение износостойкости, прочности, твердости, усталостной прочности вследствие ионного воздействия приводит к улучшению эксплуатационных характеристик деталей [5], обработанных ионной имплантацией, что, несомненно, делает данную технологию перспективной в условиях современного научно-технического прогресса.

Ионная имплантация – наноразмерная технология, суть которой заключается в облучении поверхности детали потоком заряженных частиц (ионы мишени и ионы рабочего газа) и внедрении их в поверхностный слой на глубины десятков и сотен нанометров [6–8]. Движущей силой процесса имплантации является напряженность электромагнитного поля, генерирующего ионный поток. Благодаря разбросу ионов в потоке по энергиям, а также элементной и геометрической неоднородности поверхности деталей при имплантации происходит целый ряд процессов, вызванных ион-атомными и ион-электронными взаимодействиями [9]. Из них целевыми для модификации являются внедрение ионов, сопровождаемое образованием радиационных дефектов и их последующая диффузия.