

УДК 536.46

**ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МЕТАЛЛОСЕТЧАТЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ
ДЛЯ ГАЗОВЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И БЫТОВЫХ
НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

**А.С. Бесов¹, А.Г. Грибовский², А.В. Куликов², В.Н. Рогожников²,
П.В. Снытников²**

¹*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН*

²*Федеральный исследовательский центр «Институт катализа
им. Г.К. Борескова»*

Настоящая статья ставит своей целью ознакомить как можно большее количество специалистов в области теплотехники и теплоэнергетики с возможностями и преимуществом разработанных в Институте катализа СО РАН металлосетчатых каталитических нагревателей. Показано их принципиальное отличие от каталитических нагревателей, в которых в качестве носителей катализаторов окисления используются керамические или стекловолоконные структуры. Приведены практические примеры реализации данной технологии на примере водогрейного котла, инфракрасных нагревателей и других малогабаритных бытовых приборов. Экспериментально показано, что подводимый газ окисляется полностью, а КПД лабораторного, даже неоптимизированного образца водогрейного котла, определяемого по температуре воды на входе и выходе из устройства, не ниже 85 % в диапазоне от 15 до 100 % номинальной мощности и 93 % в режиме малых мощностей. Представленная технология позволяет плавно регулировать мощность нагревателя во всем реализованном на практике диапазоне от 1,5 до 10 кВт с коэффициентом перекрытия по мощности около 7.

Ключевые слова: катализ, металлосетчатые каталитические реакторы, газовые отопительные системы, бытовые каталитические нагреватели, полное окисление.

DOI: 10.17212/1727-2769-2023-1-7-17

Введение

В последние годы газовые отопительные системы широко используются для обогрева малоэтажных домовладений, а правительство активно развивает программу газификации российских регионов. Это обусловлено их эффективностью, относительной дешевизной и удобством использования. Очевидно, что КПД газовых котлов существенно выше твердотопливных, так как в газе отсутствуют пары воды, содержание которой в дровах и каменном угле может достигать до 20 %, а в бурых углях до 40 %. Природный газ перед подачей потребителю проходит процедуру осушки, что позволяет исключить затраты на испарение воды. Это преимущество позволяет некоторым производителям утверждать, что КПД их газовых котлов превышает 90 %. Например для котла КСГ-10С «Очаг»- Стандарт производитель заявляет КПД в 92 % [1], хотя считается [2], что при рабочих температурах теплоносителя 40...80°, среднегодовой КПД атмосферных газовых котлов не превышает 85 %. Однако мы не будем рассматривать ситуацию только с точки зрения экономии топлива и углубляться в тонкости расчетов КПД, а обра-

тим внимание на ряд характерных для стандартных газовых котлов с пламенными горелками принципиальных недостатков:

1. Отсутствие возможности плавной регулировки мощности во всем диапазоне, так как газовые пламенные горелки эффективны только в оптимальном режиме, а снижение подачи газа выводит их из этого режима, значительно снижая КПД устройства. Для регулировки мощности таких систем необходимо либо использовать несколько горелок разной мощности, либо включать и выключать их с заданной скажностью.

2. Неполное сгорание газа при попытках регулировки мощности пламенных горелок изменением расхода газа, так как малейшие отклонения от оптимального режима горения могут привести к его неполному окислению и отравлению угарным газом.

3. Выбросы несгоревших углеводородов и монооксида углерода при гашении и последующем включении пламенных горелок в режиме импульсной регулировки мощности. Часто это выражается в присутствии запаха соответствующих одорантов в помещениях, где располагаются газовые котлы, работающие в таком режиме.

4. При использовании пламенных газовых горелок, для которых оптимальный режим определяется цветом пламени, которое должно быть голубым и, соответственно, иметь температуру не менее 1200 °С, неизбежна генерация значительных количеств NO_x из-за взаимодействия кислорода с азотом воздуха. При хорошей вентиляции это не доставляет особых проблем, но ведет к загрязнению окружающей среды.

Эти проблемы не новы и неоднократно предпринимались попытки их решения с использованием инфракрасных газовых горелок, в которых сжигание газа осуществляется при рабочих температурах 900...1000 °С на развитой поверхности, сформированной с помощью мелкой металлической сетки или керамической пластины с многочисленными отверстиями в ней. Такие устройства создают иллюзию практически беспламенного сжигания топлива и даже допускают плавную регулировку мощности, чем стимулируют народных умельцев на эксперименты с самодельными устройствами такого типа [3]. Однако авторами работы [4] было показано, что кроме несущественного снижения рабочей температуры, использование инфракрасных горелок особых преимуществ не дает. Ими был предложен подход, при котором металлотетчатый нагреватель дополнялся сеткой с нанесенным на нее катализатором окисления, которая успешно выполняла функции дожигателя продуктов окисления углеводородов. Было показано, что в присутствии дополнительной сетки с катализатором, осуществляется эффективное окисление остаточных углеводородов и существенно снижается уровень выбросов монооксида углерода (с 120 до 3...5 ppm) [4]. Очевидно, что оптимальным решением может быть совмещение функций металлотетчатого инфракрасного нагревателя и сетки с катализатором дожигания.

1. Металлотетчатый катализатор

Далее, в рамках совмещения функций этих двух устройств в одном, сотрудниками ИК СО РАН была разработана технология подготовки поверхности сетчатых металлических носителей для нанесения катализаторов окисления углеводородов, которая обеспечила хорошую механическую прочность и термостойкость слоя катализатора при сохранении его каталитической активности [5, 6]. На рис. 1, а представлен поперечный срез одной проволоочки такого металлотетчатого каталитического элемента. Здесь на поверхности металла отчетливо виден оксидный

защитный слой толщиной от 10 до 25 мкм, позволяющий зафиксировать на нем тонкий слой (25...50 мкм) пористой керамики на основе Al_2O_3 (η -фаза) с удельной поверхностью до 250 м²/гр. Микроструктура пористой керамической подложки представлена на рис. 1, б, а суть технологии предварительной активации поверхности металла для ее нанесения изложена в патенте RU 2414424 [7]. Полученная основа в дальнейшем пропитывается катализаторами окисления углеводородов, оптимального для каждого вида топлива состава. На рис. 1, в представлен фрагмент поверхности металлотетчатого каталитического элемента, а рис. 1, г демонстрирует механические свойства полученной подложки. Видно, что даже при изгибах несущей сетки, существенно превышающих угол в 90 градусов, каталитическое покрытие не разрушается и не отслаивается, что открывает широкие перспективы его технологического применения для создания нагревателей сложной формы.

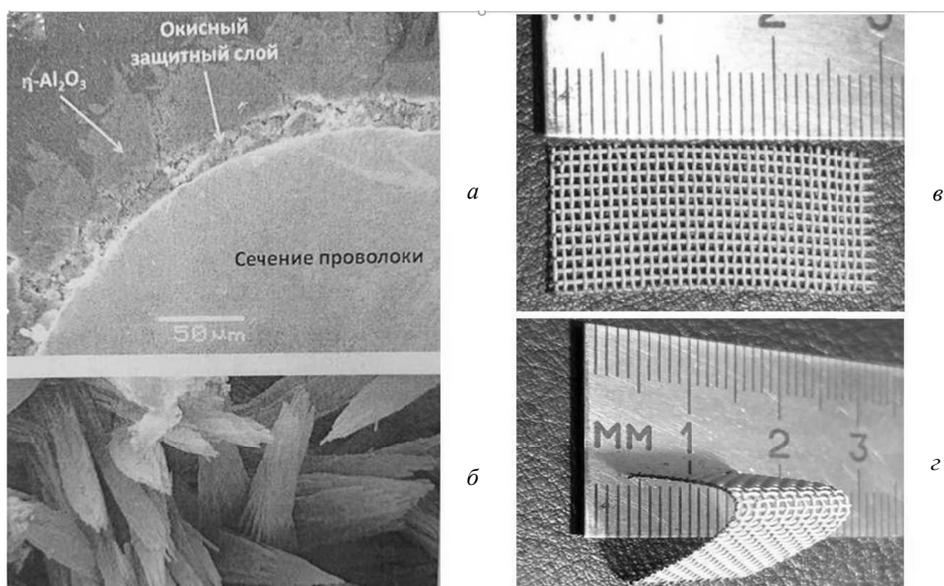


Рис. 1 – Поперечный срез одной проволоки металлотетчатого каталитического элемента:

a – поперечный срез проволоки металлотетчатого каталитического элемента; *б* – микроструктура пористой керамической подложки; *в* – фрагмент подложки, покрытой слоем пористой керамики; *г* – демонстрация устойчивости полученной подложки к изгибу

Fig. 1 – A cross-section of a wire of a metal–mesh catalytic element:

a – a cross-section of a wire of a metal–mesh catalytic element; *b* – the microstructure of a porous ceramic substrate; *c* – a fragment of a substrate coated with a layer of porous ceramics; *d* – a demonstration of the stability of the resulting substrate to bending

2. Каталитические нагреватели

С использованием данной технологии в ИК СО РАН была разработана и испытана в лабораторных условиях серия металлотетчатых каталитических реакторов мощностью от 100 Вт до 10 кВт.

На рис. 2 представлены некоторые из них: *a* – нагреватель мощностью 1500 Вт, который встраивается в стандартную туристическую газовую плитку вместо конфорки и позволяет использовать изделие как плитку в горизонтальном положении и как направленный инфракрасный обогреватель в произвольном

положении. Диаметр каталитического элемента 71 мм при высоте 30 мм; *б* – походный нагреватель мощностью 3 кВт для кругового обогрева окружающего пространства диаметром 71 мм при высоте 66 мм и *в* – цилиндрический каталитический нагреватель номинальной мощностью 10 кВт для пилотного образца водогрейного котла. Нагреватели, изображенные на рис. 2, *а* и *б*, работают на пропан-бутановой смеси и допускают регулировку рабочей температуры в диапазоне от 270 до 900 °С. Цилиндрический каталитический нагреватель, показанный на рис. 2, *в*, реализует беспламенное каталитическое окисление природного газа начиная с температуры 600 °С и обеспечивает степень утилизации, равную практически 100 % при плавной регулировке генерируемой им мощности в диапазоне от 30 до 100 % номинального значения без снижения КПД.

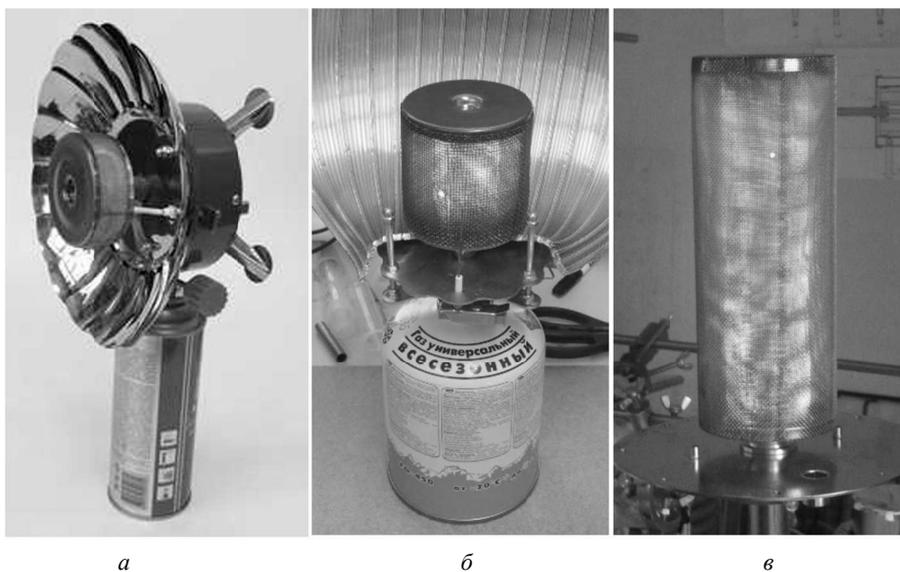


Рис. 2 – Каталитические нагреватели:

а – направленный инфракрасный обогреватель мощностью 1500 Вт; *б* – походный нагреватель мощностью 3 кВт; *в* – цилиндрический каталитический металлосетчатый нагреватель мощностью 10 кВт для пилотного образца водогрейного котла

Fig. 2 – Catalytic heaters:

a – directional infrared heater with a power of 1500 W; *b* – a 3 kW camping heater; *c* – a cylindrical catalytic metal mesh heater with a power of 10 kW for a pilot sample of a hot water boiler

Пилотный образец компактного двухступенчатого водогрейного котла, подготовленного для проведения испытаний, представлен на рис. 3. Первая ступень водогрейного котла (*1*) сделана из нержавеющей стали и представляет собой полый цилиндр с размещенным по оси каталитическим нагревательным элементом (рис. 2, *в*). Первый контур съема тепла представляет из себя гофрированную черненую металлическую трубку, которая намотана между нагревательным элементом и стенкой корпуса котла; *2* – вторая ступень нагревателя с размещенным внутри вторым, намотанным в виде спирали Архимеда, контуром съема тепла и каталитическим дожигателем; *3* – конус для контролируемого сброса продуктов реакции в вытяжку; *4* – штуцер для ввода метано-воздушной смеси; *5* – штуцеры подвода и отвода воды.

На рис. 4 представлен продольный разрез, поясняющий внутреннее устройство этого компактного двухступенчатого водонагревательного котла.

Рис. 3 – Компактный двухступенчатый водонагревательный котел:

1 – первая ступень с размещенным внутри каталитическим нагревательным элементом и первым контуром съема тепла; 2 – вторая ступень нагревателя с размещенным внутри вторым контуром съема тепла и каталитическим дожигателем; 3 – конус для контролируемого сброса продуктов реакции в вытяжку; 4 – ввод метано-воздушной смеси; 5 – штуцеры подвода и отвода воды

Fig. 3 – Compact two-stage water heating boiler:

1 – the first stage with a catalytic heating element placed inside and the first heat removal circuit; 2 – the second stage of the heater with a second heat removal circuit and a catalytic afterburner placed inside; 3 – a cone for controlled discharge of reaction products into the exhaust; 4 – the introduction of a methane-air mixture; 5 – water supply and discharge fittings

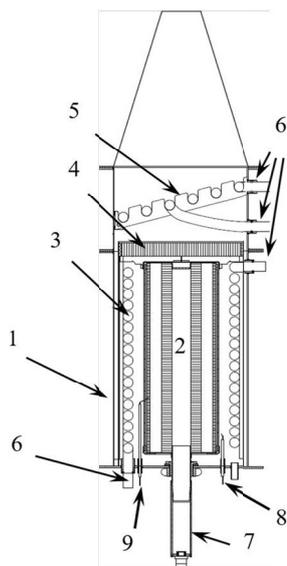
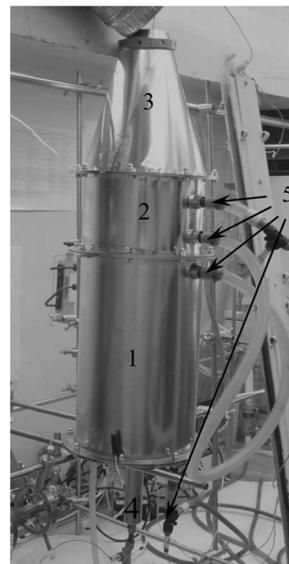


Рис. 4 – Устройство компактного двухступенчатого водонагревательного котла:

1 – корпус; 2 – металлотетчатый каталитический нагревательный элемент; 3 – первый контур съема тепла; 4 – зона размещения каталитического дожигателя; 5 – второй контур съема тепла; 6 – штуцеры подвода и отвода воды; 7 – ввод метановоздушной смеси; 8 – пьезоподжиг; 9 – термопара

Fig. 4 – The device of a compact two-stage water heating boiler

1 – body; 2 – metal mesh catalytic heating element; 3 – the first circuit of heat removal; 4 – area of catalytic afterburner placement; 5 – second heat removal circuit; 6 – water inlet and outlet fittings; 7 – methane-air mixture inlet; 8 – piezo ignition; 9 – thermocouple

3. Результаты испытаний

Испытания представленного на рис. 3 компактного двухступенчатого водонагревательного котла проводились в трех режимах при изменении мощности нагревателя от 1 до 10 кВт. Ставилась цель не получить максимальный КПД устройства, а определить устойчивость и относительную эффективность его работы. Мощность задавалась и контролировалась расходом метано-воздушной смеси при соотношении метана к воздуху 1 : 10. Полнота сгорания контролировалась по наличию метана и монооксида углерода на выходе из нагревателя. В конфигурации с каталитическим элементом дожигания концентрация метана в диапазоне мощностей от 3 до 10 кВт не превышала 4 ppm, а монооксида углерода 8 ppm. При этом температура отходящих газов в конусе для контролируемого сброса

продуктов реакции (рис. 3, 3) менялась в диапазоне от 117 °С при мощности 3 кВт до 295 °С при мощности 10 кВт. Максимальная мощность в 10 кВт ограничивалась параметрами регулятора расхода воздуха и достигалась при расходе метана 15,08 л/мин. и расходе воздуха 150,8 л/мин.

КПД водонагревательного котла измерялся для трех его модификаций:

1 – с металлотсетчатым нагревательным элементом без катализатора (инфракрасная горелка);

2 – с металлотсетчатым каталитическим нагревательным элементом;

3 – с металлотсетчатым каталитическим нагревательным элементом и каталитическим элементом дожигания.

КПД определялся как отношение тепла, затраченного на нагрев воды в заданном интервале времени к теплоте, выделившейся при сгорании метана. Затраченное на нагрев воды тепло контролировалось по температуре воды на входе и на выходе из водонагревательного котла при заданном ее расходе. Отметим, что никаких мер по теплоизоляции корпуса котла и рекуперации тепла уходящих газов не производилось. Результаты вычислений КПД представлены в таблице и графически на рис. 5.

Результаты тестирования опытного образца водонагревательного котла
Results of testing a prototype water-heating boiler

№ п/п / No	Расход природного газа/воздуха (л/мин) / Natural gas/air consumption (l/min)	Мощность нагревательного устройства / Heating device power	Расход воды, г/с / Water consumption, g/s	Температура воды на выходе, °С / Outlet water temperature, °С	Температура воды на входе, °С / Inlet water temperature, °С	КПД, % / Efficiency factor, %
Режим сжигания природного газа на металлотсетчатой инфракрасной горелке / The mode of natural gas combustion on a metal-mesh infrared burner						
1	15,08/150,8	10	37,72	70,5	19,1	81,4
2	11,31/113,1	7,5	37,73	57,8	19,1	81,6
3	7,54/75,4	5	39,27	43,1	19	79,8
4	4,52/45,2	3	36,62	34,6	19	79,5
5	2,26/22,62	1,5	35,44	27	18,8	81,3
Режим каталитического сжигания природного газа на металлотсетчатом каталитическом элементе / The mode of catalytic combustion of natural gas on a metal-mesh catalytic element						
1	15,08/150,8	10	51,63	57,8	18,6	85
2	11,31/113,1	7,5	49	48,3	18,5	81,7
3	7,54/75,4	5	46,3	41,3	18,5	87,5
4	4,52/45,2	3	49,7	30,5	18,3	84,2
5	2,26/22,62	1,5	47,6	24,4	18,2	85,3
Режим каталитического сжигания природного газа на металлотсетчатом каталитическом элементе с модулем дожигания / The mode of catalytic combustion of natural gas on a metal-mesh catalytic element with an afterburning module						
1	15,08/150,8	10	33,78	78,7	19,2	88,4
2	11,31/113,1	7,5	31,7	67,1	19,1	84,7
3	7,54/75,4	5	30,9	47,7	19,5	89,8
4	4,52/45,2	3	30,3	39,8	19	88,3
5	2,26/22,62	1,5	24,3	30,2	18,9	93,5

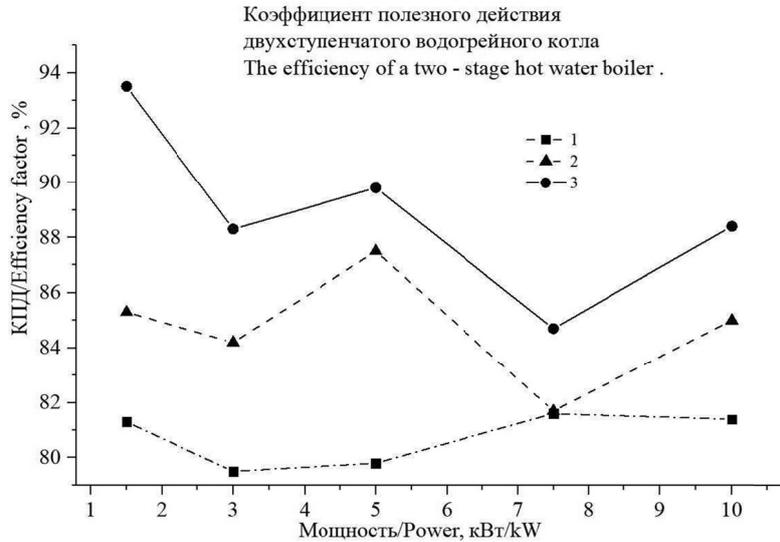


Рис. 5 – Коэффициент полезного действия двухступенчатого водогрейного котла с различными модификациями нагревательного элемента:

1 – сеточный нагревательный элемент без катализатора; 2 – сеточный нагревательный элемент с катализатором; 3 – водогрейный котел с сеточным каталитическим нагревательным элементом, оснащенный каталитическим дожигателем

Fig. 5 – Efficiency of a two-stage hot water boiler with various modifications of the heating element:

1 – mesh heating element without catalyst; 2 – mesh heating element with a catalyst; 3 – Hot water boiler with mesh catalytic heating element, equipped with a catalytic afterburner

Испытания показали, что устойчивая работа нагревателя начинается при мощности свыше 1,5 кВт. При снижении мощности до 1 кВт поверхность катализатора охлаждается ниже критических температур, газ окисляется не полностью, возрастает выброс СО и резко снижается КПД. При мощности в 10 кВт, которая ограничивалась возможностями регуляторов расхода газов, металлотетчатый беспламенный нагреватель с каталитическим элементом работает стабильно, а с катализатором дожигания КПД представленного водогрейного котла в некоторых режимах превышал 93 %. При интенсивном отводе тепла конструкция нагревателя позволяет доводить его мощность до 20 кВт и более без ущерба для работоспособности изделия.

Заключение

Резюмируя представленные результаты, можно отметить, что даже без дополнительной теплоизоляции корпуса водогрейного котла и рекуперации тепла отходящих газов, благодаря эффективному окислению газа на поверхности металлотетчатого каталитического нагревателя, удалось получить достаточно высокий КПД устройства, который характерен для оптимизированных газовых котлов в оптимальных режимах их работы. Отметим, что даже на неоптимизированном пилотном образце газового котла металлотетчатый каталитический нагреватель обеспечивает плавную регулировку мощности с перекрытием около 7 во всем реализованном на практике диапазоне от 1,5 до 10 кВт, тогда как для горелок ГГСБ и RIELLO он равен 4 и 6 соответственно. И это не предел, так как энергонапряженность представленного каталитического нагревателя на мощности

10 кВт не превышает 15 кВт/см^2 при допустимых 80 кВт/см^2 . Таким образом, простые оценки позволяют заключить, что при создании оптимизированной эффективной системы теплосъема с данного каталитического нагревателя без выхода на предельные режимы можно снимать до 50 кВт тепловой мощности, а соответствующий коэффициент перекрытия по мощности может достигать 33 и более единиц.

Отметим основные преимущества представленных в статье металлотетчатых каталитических нагревателей.

1. Сжигание газообразных углеводородов осуществляется каталитическим (беспламенным) способом при температуре от 270 до 800 °С с минимальным выбросом вредных продуктов.

2. Изделие не боится перегрева. Сохраняет свои рабочие характеристики и не разрушается при перегреве до 900...950 °С.

3. Снижаются общие требования к температуростойкости используемых конструкционных материалов. Как следствие, снижается и себестоимость конечной продукции.

4. Имеется возможность профилировать каталитические нагреватели по форме нагреваемого объекта для максимальной эффективности передачи тепла последнему.

5. Благодаря малой массе сеток с катализатором нагреватели имеют минимальную инерционность, моментально нагреваются и остывают, а высокая теплопроводность металла подложки способствует выравниванию температуры поверхности нагревательного элемента и позволяет избежать критических локальных перегревов катализатора.

6. Широкий диапазон регулировки мощности нагревателя с сохранением высокой эффективности сжигания используемого топлива.

7. Высокая стойкость к деформационным и ударным нагрузкам. Каталитический слой не отслаивается, а деформированное изделие продолжает также эффективно работать.

8. Удельная мощность, снимаемая с единицы поверхности металлотетчатого катализатора при использовании природного газа может варьироваться в диапазоне от 10 до 80 Вт/см^2 и определяется эффективностью теплосъема.

Надеемся, что специалисты в области теплофизики и теплоэнергетики оценят указанные преимущества металлотетчатых каталитических нагревателей, заинтересуются данной технологией и помогут создать на ее основе более совершенные отопительные системы. Пожалуй, единственным недостатком таких устройств и серьезным препятствием на пути их внедрения в повседневную жизнь является необходимость использования драгметаллов, работа с которыми в нашей стране жестко контролируется и требует специального контроля и учета. Однако стоит отметить, что стоимость применяемых драгметаллов мала на фоне общей себестоимости изделий. Многолетние попытки найти им замену пока не увенчались успехом. Здесь, как и в электротехнике, где хорошие контакты могут обеспечить только сплавы на основе драгметаллов, альтернативных решений катализаторам на основе драгметаллов пока не найдено.

ЛИТЕРАТУРА

1. КСГ-10 С «Очаг»-Стандарт. – URL: http://sgaz.ru/clients/kettle/kettle_pol/seriya-standart/ksg-10t/ (дата обращения: 13.03.2023).
2. Сравнение теплоты сгорания, коэффициента утилизации тепла и КПД при отоплении газом, жидким и твердым топливом. – URL: <https://www.avtonomgaz.ru/info/otoplenie/sravnenie-otoplenie-gazom/> (дата обращения: 13.03.2023).

3. Инфракрасные горелки в газовый котел отопления. – URL: <https://yandex.ru/video/preview/10435295283969942763> (дата обращения: 13.03.2023).
4. **Василик Н.Я., Порсин А.В., Шмелёв В.М.** Экологические характеристики инфракрасных горелочных устройств с каталитическим радиационным экраном // Химическая физика. – 2019. – Т. 38, № 1. – С. 55–61.
5. Structured reactors on a metal mesh catalyst for various applications / A.V. Porsin, A.V. Kulikov, V.N. Rogozhnikov, A.N. Serkova, A.N. Salanov, K.I. Shefer // *Catalysis Today*. – 2016. – Vol. 273. – P. 213–220.
6. Structured catalytic burner for deep oxidation of hydrocarbons / V.N. Rogozhnikov, A.V. Kulikov, D.I. Potemkin, A.P. Glotov, G.O. Zasyalov, P.V. Snytnikov // *Catalysis Communications*. – 2021. – Vol. 149. – P. 106198.
7. Патент № 2414424 Российская Федерация. Способ активирования алюминия и устройство для его реализации: № 2009116981: заявл. 04.05.2009: опубл. 10.11.2010, Бюл. № 31 / Низовский А.И., Новиков А.А., Кириллов В.А., Бухтияров В.И.; патентообладатель: Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения РАН.

PROSPECTS AND ADVANTAGES OF USING METAL GRID CATALYTIC REACTORS FOR GAS HEATING SYSTEMS AND HOUSEHOLD HEATING APPLIANCES

Besov A.S.¹, Gribovsky A.G.², Kulikov A.V.², Rogozhnikov V.N.², Snytnikov P.V.²

¹*Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

²*Boraskov Institute of Catalysis of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

This article aims to acquaint as many specialists in the field of heat engineering and thermal power engineering as possible with the possibilities and advantages of metal-mesh catalytic heaters developed at the Institute of Catalysis SB RAS. They are shown to be fundamentally different from catalytic heaters in which ceramic or glass-fiber structures are used as carriers of oxidation catalysts. Practical examples of the implementation of this technology on the example of a hot water boiler, infrared heaters and other small-sized household appliances are given. It was shown experimentally that the supplied gas is oxidized completely, and the efficiency of the laboratory, even unoptimized sample of hot water boiler determined by the inlet and outlet water temperature is not lower than 85 % in the range from 15 to 100 % of nominal capacity and 93 % in the low-power mode. The presented technology enables smooth regulation of the heater output within the whole range from 1.5 to 10 kW with power overlap factor of about 7.

Keywords: catalysis, metal mesh catalytic reactors, gas heating systems, catalytic heaters, complete oxidation

DOI: 10.17212/1727-2769-2023-1-7-17

REFERENCES

1. KSG-10 S «Ochag»- Standart [Convection gas boiler KSG-10 S "Ochag"- Standart]. Available at: http://sgaz.ru/clients/kettle/kettle_pol/seriya-standart/ksg-10t/ (accessed 13.03.2023).
2. *Sravnienie teploty sgoraniya, koeffitsienta utilizatsii tepla i KPD pri otoplenii gazom, zhidkim i tverdyim toplivom* [Comparison of calorific values, heat recovery factors and efficiency for heating with gas, liquid and solid fuels]. Available at: <https://www.avtonomgaz.ru/info/otoplenie/sravnienie-otoplenie-gazom/> (accessed 13.03.2023).

3. *Infrakrasnye gorelki v gazovyi kotel otopleniya* [Infrared burners for a gas heating boiler]. Available at: <https://yandex.ru/video/preview/10435295283969942763> (accessed 13.03.2023).
4. Vasilik N.Ya., Porsin A.V., Shmelev V.M. *Ekologicheskie kharakteristiki infrakrasnykh gorelochnykh ustroystv s kataliticheskim radiatsionnym ekranom* [Environmental characteristics of infrared burners with a catalytic radiation screen]. *Khimicheskaya fizika = Russian Journal of Physical Chemistry B: Focus on Physics*, 2019, vol. 38, no. 1, pp. 55–61. (In Russian).
5. Porsin A.V., Kulikov A.V., Rogozhnikov V.N., Serkova A.N., Salanov A.N., Shefer K.I. Structured reactors on a metal mesh catalyst for various applications. *Catalysis Today*, 2016, vol. 273, pp. 213–220.
6. Rogozhnikov V.N., Kulikov A.V., Potemkin D.I., Glotov A.P., Zasyalov G.O., Snytnikov P.V. Structured catalytic burner for deep oxidation of hydrocarbons. *Catalysis Communications*, 2021, vol. 149, p. 106198.
7. Nizovskij A.I., Novikov A.A., Kirillov V.A., Bukhtjarov V.I. *Sposob aktivirovaniya alyuminiya i ustroystvo dlya ego realizatsii* [Method of activating aluminium and apparatus for realising said method]. Patent RF, no. 2414424, 2010.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Бесов Алексей Сергеевич – родился в 1961 году, канд. физ.-мат. наук, с.н.с., старший научный сотрудник Лаборатории экспериментальной прикладной гидродинамики, Институт гидродинамики СО РАН. Область научных интересов: гетерогенный катализ, гидроразрыв пласта, реология, фотокатализ. Опубликовано 40 научных работ. (Адрес 630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15. E-mail: besov@catalysis.ru).

Besov Alexey Sergeevich (b. 1961) – Candidate of Sciences (Math.&Phys.), senior researcher, acting head of the laboratory, Laboratory of Experimental Applied Hydrodynamics, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. His research interests are currently focused on heterogeneous catalysis, hydraulic fracturing, rheology, photocatalysis. He is author of 40 scientific papers. (Address: 15, Akademika Lavrentieva Av., Novosibirsk, 630090 Russia. E-mail: besov@catalysis.ru).



Грибовский Александр Георгиевич – родился в 1980 году, канд. техн. наук, научный сотрудник, отдел тонкого органического синтеза, Институт катализа СО РАН. Область научных интересов: микроканальные системы в химических технологиях, разработка научного оборудования. Опубликовано 73 научные работы. (Адрес 630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 5. E-mail: gribovsk@catalysis.ru).

Gribovskiy Alexander Georgievich (b. 1980) – Candidate of Sciences (Eng.), researcher, department of fine organic synthesis, Boreskov Institute of Catalysis SB RAS. His research interests are currently focused on microchannel systems in chemical engineering and development of scientific equipment. He is author of 73 scientific papers. (Address: 5, Akademika Lavrentieva Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: gribovsk@catalysis.ru).



Куликов Александр Владимирович – родился в 1959 году, канд. техн. наук, научный сотрудник отдела гетерогенного катализа Института катализа СО РАН. Область научных интересов: гетерогенный катализ, водородная энергетика. Разработка и изготовление каталитических реакторов произвольной формы, работающих на газообразных и жидких топливах. Опубликовано 50 научных работ. Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 5, E-mail: kulikov@catalysis.ru).

Kulikov Alexander Vladimirovich (b. 1959) – Candidate of Sciences (Eng.), researcher, department of heterogeneous catalysis, Boreskov Institute of Catalysis SB RAS. Research interests: heterogeneous catalysis, hydrogen energy. Development and manufacture of free-form catalytic reactors operating on gaseous and liquid fuels. He is author more than 50 scientific papers. (Address: Address: 5, Akademika Lavrentieva Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: kulikov@catalysis.ru).



Рогожников Владимир Николаевич – родился в 1988 году, канд. хим. наук, научный сотрудник отдела гетерогенного катализа, Институт катализа СОРАН. Область научных интересов: гетерогенный катализ, водородная энергетика, структурированные катализаторы, реакторы. Опубликовано 46 научных работ. (Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 5. E-mail:rvn@catalysis.ru).

Rogozhnikov Vladimir Nikolaevich (b. in 1988) – Candidate of Sciences (Chem.), researcher, department of heterogeneous catalysis. Research interests: heterogeneous catalysis, hydrogen energy, structured catalysts, reactors. Published 46 scientific papers. (Address: 5, Akademika Lavrentieva Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: rvn@catalysis.ru).



Снытников Павел Валерьевич – родился в 1979 году, д-р хим. наук, заведующий отделом гетерогенного катализа, руководитель Центра Национальной технологической инициативы «Водород как основа низкоуглеродной экономики», Институт катализа СО РАН. Область научных интересов: гетерогенный катализ, химическая технология, водородная энергетика. Опубликовано 170 научных работ (Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 5. E-mail: pvsnyt@catalysis.ru).

Snytnikov Pavel Valerievich (b. 1979) – Doctor of Sciences (Chem.), Head of the Department of Heterogeneous Catalysis, Director of NTI Center of Excellence "Hydrogen as a basis of low carbon economy", Boreskov Institute of Catalysis SB RAS. His research interests are currently focused on heterogeneous catalysis, chemical engineering, hydrogen energy. He is author of 170 scientific papers. (Address: 5, Akademika Lavrentieva Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: pvsnyt@catalysis.ru).

¹Статья поступила 21 ноября 2022
Received November 21, 2022

To Reference:

Besov A.S., Gribovsky A.G., Kulikov A.V., Rogozhnikov V.N., Snytnikov P.V. Perspektivy i preimushchestva ispol'zovaniya metallosetchatnykh kataliticheskikh reaktorov dlya gazovykh otopytel'nykh sistem i bytovykh nagrevatel'nykh priborov [Prospects and advantages of using metal grid catalytic reactors for gas heating systems and household heating appliances]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2023, no. 1 (58), pp. 7–17. DOI: 10.17212/1727-2769-2023-1-7-17.