

УДК 683.878.2

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКИ С ИНТЕНСИФИКАТОРОМ ТЕПЛООТДАЧИ В ВИДЕ СТЕРЖНЯ

© 2020 г. К. В. Алтунин\*

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Россия*

\*E-mail: altkonst881@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.04.2019 г.

После доработки 24.07.2019 г.

Принята к публикации 22.10.2019 г.

Приведены результаты экспериментального исследования новой газовой горелки, которая может эффективно применяться в бытовых газовых плитах. Представлена модифицированная конструктивная схема горелки с новыми интенсификаторами теплоотдачи, позволившая снизить потери тепла в окружающую среду и повысить экономичность сжигания природного газа.

DOI: 10.31857/S0040364420010019

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время рост цен на природные ресурсы и энергоносители заставляет задуматься об энергоэффективных технологиях. И природный газ здесь не является исключением. Если посмотреть на динамику роста цены на природный газ во всем мире, к примеру, в 2016 г., то здесь следующая картина: в Белоруссии цены выросли на 24.6%, в Казахстане – на 16.7%, на Украине – на 14.8%, в России – на 8.0%; наиболее высокая цена на газ для населения, как и в 2015 г., осталась в Швеции – 89.3 руб. за кубометр в пересчете на российскую валюту; в Португалии цена – 74.7 руб. за кубометр, в Испании – 70.8 руб. за кубометр и т.д. [1]. В 2017 г. средняя цена на природный газ в странах Европейского Союза составила примерно 0.64 долларов США или 35.5 руб. (за 1 кубометр) [2].

Таким образом, крайне необходимым на сегодняшний день является развитие новых технологий сжигания газообразного топлива, а также разработка более экономичных горелочных устройств.

В условиях постоянных проблем с ценами на газ в некоторых странах экономичность газового прибора все больше влияет на выбор покупателя. При покупке, к примеру, бытовой газовой плиты, потребитель часто обращает внимание не только на красивый современный дизайн, а также и на КПД, эффективность сжигания природного газа. И здесь главную роль играют газовые горелки и конфорки, которые также могут быть использованы для обогрева квартир в экстремальных условиях проживания жильцов [3].

Цель работы – усовершенствование интенсификатора теплоотдачи газовой горелки и проведение дополнительных экспериментальных исследований.

### ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ БЫТОВЫХ ГАЗОВЫХ ПЛИТ

В [4] автором статьи была разработана и представлена газовая горелка для бытовых газовых плит. Ранее проводился патентный поиск [3, 5–8]. Из ближайших аналогов можно выделить так называемую горелку изобретателя В.И. Карася [8]. Сравнительные характеристики энергосберегающих огневых насадок разных вариантов со стандартной тепловой мощностью 1.6 кВт указаны в табл. 1 [3].

Необходимо отметить, что газовая горелка В.И. Карася содержит смеситель с элементом подачи газа, поверхность с огневыми отверстиями, дно корпуса с отверстиями, одно из которых предназначено для подачи газозооной смеси и против него расположен элемент формирования зоны изменения направления газозооной струи, например излучатель. Излучатель покрыт слоем катализатора, который может быть изготовлен из меднотитанового сплава.

Экономичная газовая горелка В.И. Карася для бытовых газовых плит работает следующим образом: газ выходит из элемента подачи газа, например сопла, проходит упрощенный инжекционный смеситель с ограниченным размером и предварительно готовит газозооную смесь; проходя между отверстиями излучателя с огневой поверхностью, газ сжигается на последней; при этом газо-

Таблица 1. Результаты испытаний горелки В.И. Карася

Показатель	Показатель существующих аналогов согласно ГСТУ 2204–93)	Показатели для различных вариантов исполнения огневого насадка	
		№ 1	№ 2
КПД горелки	59	70	80
Экономия газа относительно аналогов с нормативным КПД 59%, %	0	16	30
Экономия газа горелкой относительно горелок старых газовых плит, выпущенных в СССР с КПД 56% по ГОСТ 10798–77, %	0	20	35
Содержание окиси углерода в дымовых газах (нормативный показатель – 0.05%), %	0.5	0.014	0.005
Содержание окислов азота в дымовых газах (нормативный показатель – 200 мг/м <sup>3</sup> ), мг/м <sup>3</sup>	200	17	5
Ориентировочная цена в Украине, долл. США	–	5	12
Принцип работы	–	Традиционное сжигание газа без катализатора	

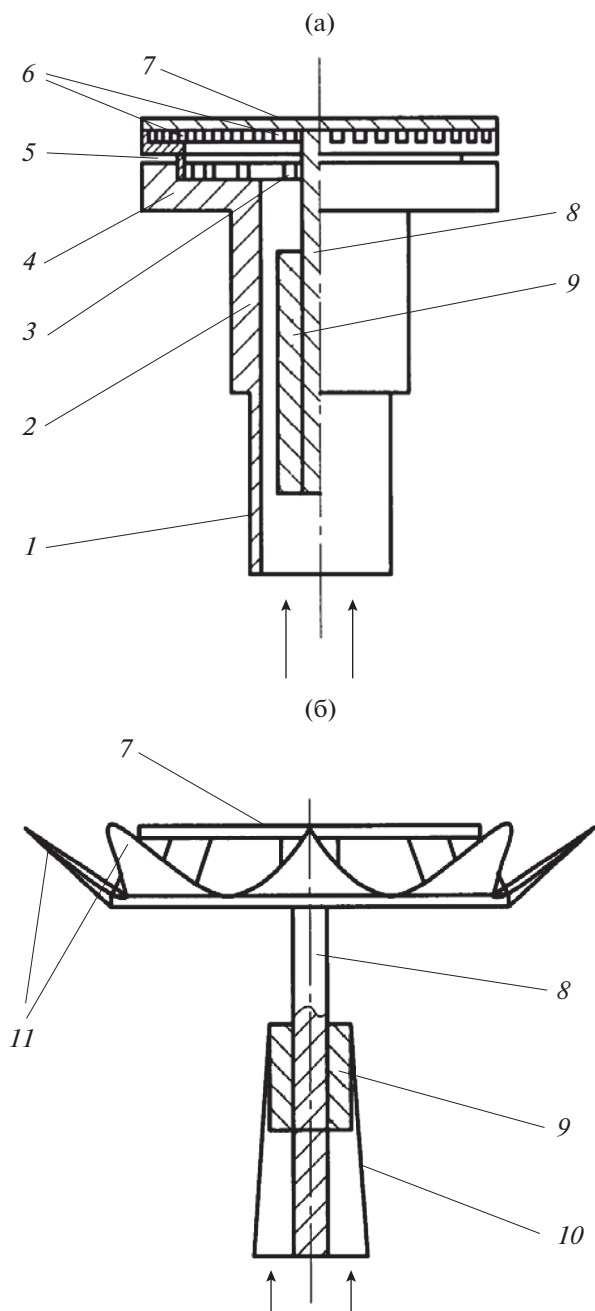
воздушная смесь предварительно активируется катализатором на излучателе; жидкость, попавшая в корпус горелки, удаляется через специальные отверстия.

Разработанная автором статьи газовая горелка [4] приведена на рис. 1а, где 1 – канал подвода газа, 2 – корпус, 3 – смесительная камера, 4 – головка, 5 – зазор, 6 – огневые отверстия, 7 – крышка, 8 – стержень, 9 – интенсификатор теплоотдачи. На рис. 1б изображен возможный вариант исполнения крышки 7, где имеются выступы 11, также предлагается размещение интенсификатора теплоотдачи 9 на стержне 8 внутри конфузора 10.

Решаемая задача полезной модели [4] – повышение экономичности сжигания топлива за счет регенерации тепла от пламени к потоку ненагретого газа. Технический результат, на достижение которого направлена полезная модель, заключается в снижении потребления топлива при эксплуатации газовой горелки. Этому способствует то, что в газовой горелке для обеспечения регенерации тепла крышка соединена со стержнем, который соединен с интенсификатором теплоотдачи. Крышка имеет выступы для большего поглощения тепла от внешней стороны поверхности пламени, причем для снижения потерь тепла в окружающую среду поверхность выступов крышки с внешней стороны выполнена с теплоизоляцией. Интенсификатор теплоотдачи установлен внутри конфузора, причем поток газа, проходящего через конфузор, увеличивает свою скорость [4].

Данная газовая горелка работает следующим образом. Газообразное топливо (например, природный газ) подводится по каналу 1, далее в смесительной камере 3 смешивается с воздухом, воспламеняется, через огневые отверстия 6 языки пламени выходят за пределы головки 4 и смесительной камеры 3. При сгорании топлива выделяется тепло, часть тепла передается нагреваемому объекту, к примеру сосуду с водой, другая часть тепла – потери в окружающую среду. В данном случае с целью уменьшения таких потерь предлагается аккумулялировать часть тепла при помощи системы: крышки 7, соединенной стержнем 8 с интенсификатором теплоотдачи 9, которые целесообразно изготавливать из металлов (например, меди) или металлических сплавов с высоким коэффициентом теплопроводности. Таким образом, при горении часть тепла поглощается материалом крышки 7, передается по стержню 8 интенсификатору теплоотдачи 9. Газ, проходя через канал подвода газа 1, частично нагревается, происходит регенерация тепла с интенсификацией теплоотдачи. Интенсификатор теплоотдачи 9 может быть выполнен, к примеру, в виде шнекового завихрителя, трубки с искусственной шероховатостью, ребер, пористой металлической вставки, скрученной металлической проволоки, устройства, закручивающего поток, развитой поверхности с выемками и выступами.

При использовании конструкции с конфузуром 10 (см. рис. 1б) поток газа ускоряется, так как уменьшается проходное сечение, при этом достигается дополнительная интенсификация теплоотдачи.



**Рис. 1.** Газовые горелки для бытовых плит: (а) – с интенсификатором теплоотдачи, (б) – с конфузуром и интенсификатором теплоотдачи.

При использовании выступов *11*, например, в виде лепестков достигается дополнительная аккумуляция тепла от внешней поверхности пламени, данное количество тепла переходит от выступов *11* к крышке *7* и далее по стержню *8* к интенсификатору теплоотдачи *9*. Возможно исполнение выступов *11* с теплоизоляционным слоем с наружной стороны (в полезной модели не приводится) для достижения максимального поглощения теп-



**Рис. 2.** Крышка газовой горелки для бытовых плит с интенсификатором теплоотдачи в виде резьбы.

ла от внешней поверхности пламени и минимальных потерь тепла в окружающую среду.

#### ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С РАЗРАБОТАННОЙ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКОЙ

Проведены эксперименты на бытовой газовой плите с газовой горелкой [4], где крышка соединена со стержнем с резьбой, т.е. сам металлический стержень являлся интенсификатором теплоотдачи (рис. 2). Все эксперименты проведены на бытовой газовой плите “Газмаш”. При этом вода разного объема доводилась до кипения в разных сосудах при использовании базовой горелки и новой газовой горелки [4] при одной и той же подаче газа. Экономия газа при использовании новой конструктивной схемы горелки в ходе экспериментальных исследований составила в среднем 6.72% (по объему) [9].

Выдвигалась гипотеза о возможном повышении экономии природного газа путем изменения конструкции интенсификатора теплоотдачи в виде стержня (рис. 2) с добавлением дополнительного оребрения или продольных щелевых зазоров (рис. 3).

В 2016 г. проведены экспериментальные исследования с усовершенствованной конструкцией газовой горелки, в которой интенсификатором теплоотдачи являлся стержень с резьбой и щелевыми зазорами, которые позволили значительно повысить экономичность газовой горелки (рис. 3) [10].

При этом средняя экономия природного газа составила 22.14% (по объему). Однако необходи-



**Рис. 3.** Крышка газовой горелки для бытовых плит с интенсификатором теплоотдачи в виде резьбы и щелевыми зазорами в стержне.

мо отметить, что полученные цифры в ходе экспериментов [10] на деле оказались завышенными (подача природного газа прекращалась, как толь-

ко появлялись пузырьки на поверхности воды, что наблюдалось визуально без измерения температуры).

С целью повышения точности измерений в 2019 г. проведена дополнительная серия экспериментальных исследований с применением счетчика природного газа, таймера времени и стеклянного керосинового термометра СП-2. Результаты данных экспериментов приведены в табл. 2.

В данном случае вода разного объема доводилась до кипения в разных сосудах при использовании базовой горелки и новой газовой горелки [4] при одной и той же подаче газа (средней или максимальной). Методика экспериментальных исследований заключалась в следующем: в определенный сосуд с водой (кружка объемом 1 л или кастрюля объемом 4 л) наливался фиксированный объем воды при комнатной температуре ( $t_f = 21-22^\circ\text{C}$ ); далее производился автоматический розжиг свежей порции горючего (ручка газовой плиты устанавливалась либо на среднюю подачу газа, либо на максимальную), сразу же включался таймер времени; керосиновым термометром

**Таблица 2.** Результаты экспериментов с газовыми горелками (газовая плита “Gorenje”, конфорка средней мощности, интенсификатор теплоотдачи – стержень с резьбой и продольными щелевыми зазорами)

Номер опыта	Наименование газовой горелки	Объем затраченного газа, л	Подача газа	Время, мин : с	Экономия газа, % (по объему)
Объем воды 300 мл (кружка)					
1	I	7.5	ср	6:15	–
	II	6	ср	5:50	20
2	I	7.5	ср	8:24	–
	II	6	ср	5:45	20
Объем воды 500 мл (кружка)					
3	I	11	ср	9:10	–
	II	9.5	ср	7:10	13.64
4	I	11	ср	11:52	–
	II	9.3	ср	10:54	15.45
Объем воды 1 л (кружка)					
5	I	20.8	ср	20:58	–
	II	18.5	ср	20:41	11.06
6	I	20.8	ср	24:45	–
	II	18.3	ср	21:52	12.02
Объем воды 3 л (кастрюля)					
7	I	63.9	макс	22:05	–
	II	58	макс	19:46	9.23
8	I	63.7	макс	21:48	–
	II	56	макс	18:52	12.09

Примечание. I – обычная горелка (крышка без интенсификатора теплоотдачи); II – горелка с интенсификатором теплоотдачи; ср – средняя подача природного газа (ручка подачи газа повернута влево на 45°); макс – максимальная подача природного газа (ручка подачи газа повернута влево на 90°).

СП-2 [11] измерялась температура внутри сосуда с водой (при этом кончик термометра был погружен строго в центре объема воды); при достижении температуры 99°C (для избежания появления дополнительной неточности было принято не доводить температуру в центре объема воды до 100°C) подача природного газа резко прекращалась, а электронный таймер времени выключался. В ходе всех экспериментов сосуд с водой находился без крышки.

Из табл. 2 следует, что средняя экономия природного газа при применении новой горелки с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня с резьбой и продольными щелевыми зазорами составляет около 14.19% (по объему).

Затем конструкция интенсификатора теплоотдачи претерпела некоторые изменения, а именно, четыре части стержня были раскрыты к окончанию, увеличивая, таким образом, толщину щелевых зазоров (рис. 4).

Результаты подобных экспериментов с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня с резьбой и расширяющимися щелевыми зазорами показаны в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что средняя экономия природного газа при применении новой горелки с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня с

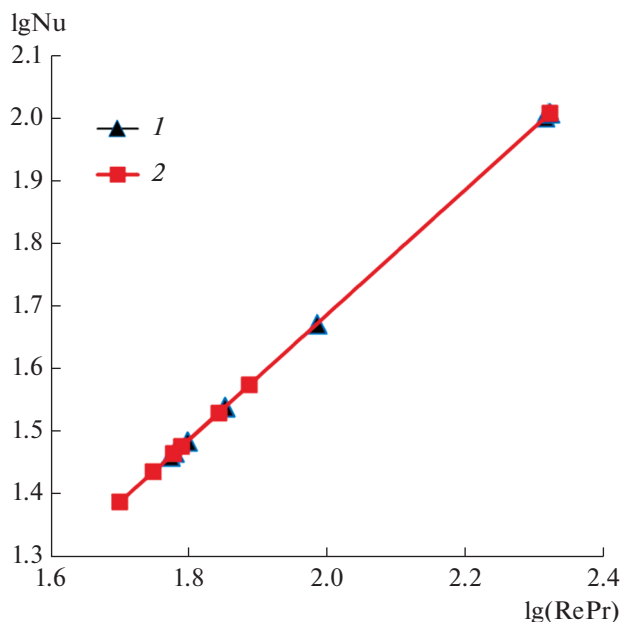


Рис. 4. Крышка газовой горелки для бытовых плит с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня с резьбой и расширяющимися щелевыми зазорами.

резьбой и расширяющимися щелевыми зазорами составляет около 12.85% (по объему). Однако трудно заметить, что в опыте № 7 (табл. 3) наблюдалась заниженная экономия природного газа, что связано с большим временем нагрева 3 л воды

Таблица 3. Результаты экспериментов с газовыми горелками (газовая плита “Gorenje”, конфорка средней мощности, интенсификатор теплоотдачи – стержень с резьбой и расширяющимися продольными щелевыми зазорами)

Номер опыта	Наименование газовой горелки	Объем затраченного газа, л	Подача газа	Время, мин : с	Экономия газа, % (по объему)
Объем воды 300 мл (кружка)					
1	I	8	ср	9:05	–
	II	6.5	ср	6:15	18.75
2	I	8	ср	8:10	–
	II	6.3	ср	8:01	21.25
Объем воды 500 мл (кружка)					
3	I	10.8	ср	13:08	–
	II	8.8	ср	8:56	18.52
4	I	11	ср	12:05	–
	II	9.5	ср	10:54	13.64
Объем воды 1 л (кружка)					
5	I	20.5	ср	19:18	–
	II	18.5	ср	21:49	9.76
6	I	20.5	ср	21:24	–
	II	19	ср	27:10	7.32
Объем воды 3 л (кастрюля)					
7	I	73	ср	72:44	–
	II	70.5	ср	69:54	3.42
8	I	64	макс	21:46	–
	II	57.5	макс	19:25	10.16



**Рис. 5.** Результаты исследований газовой горелки с интенсификатором теплоотдачи в виде резьбы с щелевыми зазорами в стержне: 1 – продольными, 2 – расширяющимися.

при средней подаче горючего и отсутствии крышки сосуда с водой. Поэтому, если пренебречь результатами опыта № 7, получим 14.2% (по объему).

Для проведения экспериментов в 2019 г. была выбрана газовая плита GORENJE GI 52 CLI1 с автоматическим электроподжигом, количество конфорок – 4. Все эксперименты проводились с применением горелки средней мощности. При измерении объема природного газа использовался газовый счетчик мембранного типа СГМ G2.5, предназначенный для измерений количества природного газа по ГОСТ 5542–87 или паров сжиженного углеводородного газа по ГОСТ 20448–90, а также других неагрессивных газов, применяемых в бытовых и производственных целях. Счетчик рассчитан на эксплуатацию в климатических условиях, соответствующих группе исполнения по ГОСТ 12997–84 С3 для типоразмеров G1.6 и G2.5. При этом номинальный расход газа счетчика равен 2.5 м<sup>3</sup>/ч, минимальный – 0.025 м<sup>3</sup>/ч, а максимальный – 4 м<sup>3</sup>/ч. Пределы допускаемой основной относительной погрешности счетчика в процессе эксплуатации в диапазоне расходов составляют (3–5)%. Для измерения времени применялся электронный таймер смартфона Honor.

При помощи инфракрасного термометра FLUKE 568 измерялась температура крышки и стержня: диапазон измерения температур – от –40 до 800°C, погрешность равна ±1°C, источник питания – две батареи АА. При этом температура стенки стержня составляла примерно

235°C, а температура поверхности крышки – около 260°C. Диаметр канала – 10 мм, диаметр стержня у основания – 6 мм. Измерение температуры нагретой воды производилось при помощи термометра [11] с диапазоном от 0 до 100°C, ценой деления 1°C и пределом основной допускаемой погрешности ±1°C.

На основе полученных данных (табл. 2, 3) построен график зависимости чисел Nu и RePr (рис. 5).

Как видно из рис. 5, все экспериментальные точки лежат на одной линии:

$$Nu = 0.48RePr,$$

где Nu – критерий Нуссельта, Re – критерий Рейнольдса, Pr – критерий Прандтля.

Отклонение этой зависимости от экспериментальных данных не превышает 1%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены экспериментальные исследования новой газовой горелки для бытовых плит, содержащей в своей конструкции интенсификатор теплоотдачи в виде стержня с резьбой и продольными щелевыми разрезами. Показано, что возможно снижение потребления природного газа благодаря его интенсивному предварительному подогреву. Проведено сравнение результатов предыдущих исследований с последними. Установлено, что при применении интенсификатора теплоотдачи в виде простого стержня с резьбой можно сэкономить в среднем только 6.72% (по объему), при использовании же интенсификатора теплоотдачи в виде стержня с резьбой и дополнительными продольными разрезами экономия составит 14.2% (по объему). Интересно отметить, что применение стержня с резьбой и расширяющимися щелевыми зазорами не приводит к дополнительной экономии горючего (в среднем по объему).

Получена формула теплообмена при передаче тепла от нагретого стержня с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня с резьбой и щелевыми зазорами потоку холодного газа в канале подвода.

Предлагаемая конструктивная схема газовой горелки является простой в изготовлении, экономичной в использовании и может эффективно применяться в бытовых газовых плитах и в разных областях энергетики [12].

Результаты последних исследований говорят о необходимости более подробного изучения возможных конструктивных схем и материалов для интенсификации теплоотдачи, а также проведения дополнительных исследований с целью обеспечения максимальной экономии природного газа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://luckyea77.livejournal.com/1325864.html>
2. <http://svspsb.net/novosti/stoimosti-gaza/>
3. <http://congeniator.com/gorelki-i-konforki>
4. Алтунин К.В. Газовая горелка. Патент РФ № 129600. Б.И. 2013. № 18.
5. Басаргин Т.Л., Захаров Л.К., Сундигов И.И., Свириденко Н.А. Газовая горелка. А. с. № 1216566 СССР. Б.И. 1986. № 9.
6. Быков А.Н., Красяков И.Р., Красяков А.И. Газовая горелка. А. с. № 1416800 СССР. Б.И. 1988. № 30.
7. Анненков В.З., Рагозин Ю.А., Гриненко Г.Ф., Джулик П.К. Газовая горелка. А. с. № 1252549 СССР. Б.И. 1986. № 31.
8. Карась В.И. Газовая горелка Карася. Патент на изобретение Украины № 26706. F23D 14/20. Оpubл. 10.10.2007.
9. Алтунин К.В. Газовая горелка повышенной экономичности // ИФЖ. 2017. Т. 90. № 2. С. 510.
10. Алтунин К.В. Экспериментальные исследования газовой горелки с интенсификатором теплоотдачи // Вестн. КГТУ-КАИ. 2017. № 2. С. 80.
11. ТУ 2511663-76, ГОСТ 28498-90. Термометры стеклянные керосиновые СП-2.
12. Алтунин К.В. Разработка горелок повышенной эффективности для тепловых электростанций. Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2016. 136 с.