

УДК 683.878.2

Исследование влияния интенсификатора теплоотдачи на эффективность газовой горелки

К.В. Алтунин

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,
Казань, 420111, Россия
e-mail: altkonst881@yandex.ru

DOI: 10.34759/tpt-2021-13-1-37-44

Поступила в редакцию 06.11.2020

После доработки 27.11.2020

Принята к публикации 27.11.2020

Приводятся результаты экспериментальных исследований разработанной газовой горелки бытовой плиты. Представлены модифицированные конструктивные схемы горелки с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня, соединенного с крышкой горелки. Доказано, что применение интенсификатора теплоотдачи с развитой поверхностью теплообмена позволяет повысить экономию природного газа. Проведен анализ интенсификаторов теплоотдачи в виде стержня с выбором наиболее эффективной конструктивной схемы.

Ключевые слова: газовая горелка, интенсификатор теплоотдачи, природный газ, критериальное уравнение.

Введение

На сегодняшний день наблюдаются колебания цен на природный газ во всем мире. При этом эксперты прогнозируют дальнейший рост цен на энергоносители. Можно выделить страны-лидеры по добыче природного газа, включая США, Россию, Иран и др. [1].

Актуальным остается поиск и внедрение передовых технологий, способствующих снижению потребления природного газа, повышению экономичности и экологичности горелочных устройств бытового и промышленного применения.

В статье представлены результаты исследований нескольких типов интенсификаторов теплоотдачи горелочных устройств в виде металлического стержня с развитой поверхностью теплообмена.

Цель работы: анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований с разработанной газовой горелкой, содержащей интенсификатор теплоотдачи.

Газовые горелки повышенной эффективности для бытовых газовых плит

В 2013 г. получен патент на полезную модель «Газовая горелка» [2], общий вид которой приведен на рис. 1, а.

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, другая часть тепла – потери в окружающую среду, остальная энергия идет на поддержание самого пламени. В данном случае с целью уменьшения потерь теплоты предлагается аккумулировать часть тепла при помощи системы: крышки 7, соединенной стержнем 8 с интенсификатором теплоотдачи 9, которые целесообразно изготавливать из металлов (например стали или меди) или металлических сплавов с высоким коэффициентом

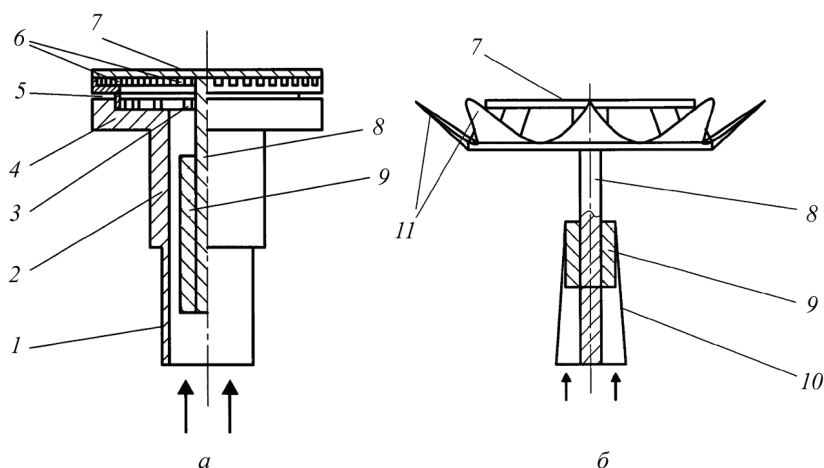


Рис. 1. Разработанная газовая горелка с интенсификатором теплоотдачи в виде металлического стержня с развитой поверхностью теплообмена (*а*) по патенту РФ на ПМ №129600: 1 – канал подвода газа; 2 – корпус; 3 – смесительная камера; 4 – головка; 5 – зазор; 6 – огневые отверстия; 7 – крышка; 8 – стержень; 9 – интенсификатор теплоотдачи; *б* – газовая горелка с конфузуром и интенсификатором теплоотдачи: 10 – конфузор; 11 – выступы

ом теплопроводности. Таким образом, при горении часть тепла поглощается материалом крышки 7, передается по стержню 8 интенсификатору теплоотдачи 9. Ненагретый газ, проходя через канал подвода газа 1, частично нагревается, происходит регенерация тепла с интенсификацией теплоотдачи. Стержень с интенсификатором теплоотдачи 9 может быть выполнен, например, в виде трубки с искусственной шероховатостью, шнекового завихрителя, цилиндра с продольными ребрами, пористой металлической вставки, скрученной металлической проволоки, устройства, закручивающего поток, развитой поверхности с выемками (лунками) и выступами и др. [2–5].

При использовании конструкции с конфузуром 10 (рис. 1, *б*) поток газа ускоряется, так как уменьшается проходное сечение, при этом дос-



Рис. 2. Энергосберегающая конфорка В.И. Карася

тается дополнительная интенсификация 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) с целью достижения максимального поглощения тепла от внешней поверхности пламени и минимальных потерь тепла в окружающую среду.

Из ближайших аналогов можно выделить так называемую горелку изобретателя В.И. Карася (рис. 2), конструктивные особенности которой позволили повысить КПД с 59% до 70–80% [6, 7].

Рабочий экспериментальный участок представлял собой конфорку средней мощности бытовой газовой плиты, в которой размещалась крышка с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня, изготовленная согласно патента [2]. При этом интенсификатор теплоотдачи размещался в канале подвода природного газа (см. рис. 1). При помощи счетчика мембранного типа замерялся расход газа, при помощи секундомера – промежуток времени. Использовались разные металлические сосуды с пресной водой.

Эксперименты проводились на бытовых газовых плитах марок «Газмаш», «Gorenje» и «Indesit» (рис. 3, 4). Средняя суммарная мощность четырех конфорок равнялась ~8.0 кВт. При измерении объема природного газа использовались бытовые газовые счетчики мембранного типа NPM-G4, СГМН – 1, предназначенные для измерения 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. Пределы допускаемой основной относительной погрешности счетчиков в процессе эксплуатации в рабочем диапазоне расходов составляют 3–5%.



Рис. 3. Газовая плита «Gorenje»

Для измерения температуры пресной воды в сосудах применялись термометры: стеклянный керосиновый термометр СП-2 [8], цифровой термометр TP-300. Для измерения промежутка времени каждого эксперимента использовались секундомеры. Для измерения температуры стержня и крышки использовался инфракрасный термометр FLUKE 568 (рис. 5): диапазон измерения температур от -40°C до 800°C , погрешность $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Методика проведения экспериментальных исследований с разработанной газовой горелкой для бытовых плит

Экспериментальные исследования с природным газом проводились на бытовых газовых плитах с применением конфорки средней мощности при средней и максимальной подаче газа. В ходе исследований использовались крышка обычной горелки и крышка с интенсификатором теплоотдачи в виде металлического стержня по патенту [2], при этом сама внутренняя конструкция газовой горелки не менялась.

Методика экспериментальных исследований заключалась в следующем: в определенный сосуд с водой наливался фиксированный объем воды при комнатной температуре ($t_f = 20\text{--}25^{\circ}\text{C}$); проводился замер текущих последних показаний газового счетчика; далее проводился авто-



Рис. 4. Газовая плита «Indesit»



Рис. 5. Инфракрасный термометр (пирометр) FLUKE 568

матический розжиг свежей порции горючего (ручка газовой плиты устанавливалась либо на среднюю подачу газа, либо на максимальную); сразу же включался секундомер; термометром измерялась температура внутри сосуда с водой (при этом кончик термометра был погружен в центре объема воды, не касаясь металлической поверхности); при достижении температуры кипения пресной воды (по показанию термометра) подача природного газа резко прекращалась, а электронный секундомер останавливался; снимались последние показания счетчика; вычислялся затраченный объем природного газа. При этом в ходе всех экспериментов сосуд с водой находился без крышки и при нормальном атмосферном давлении.

Все эксперименты проводились попарно, т.е. после опыта с обычной крышкой без интенсифи-

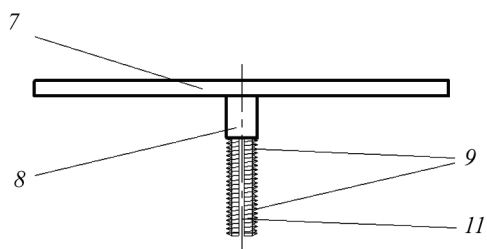


Рис. 6. Крышка разработанной газовой горелки: интенсификатор теплоотдачи 9 в виде стержня с резьбой и продольными разрезами 11

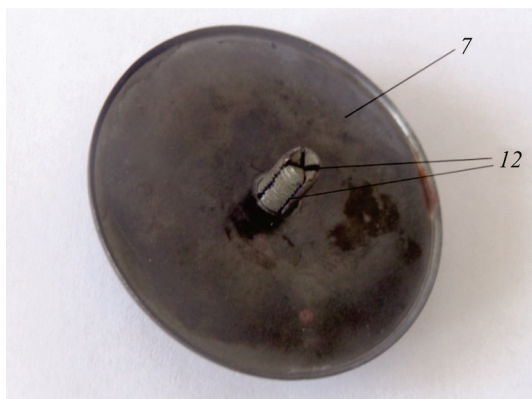


Рис. 7. Крышка газовой горелки для бытовых плит с интенсификатором теплоотдачи в виде резьбы и щелевыми зазорами в стержне

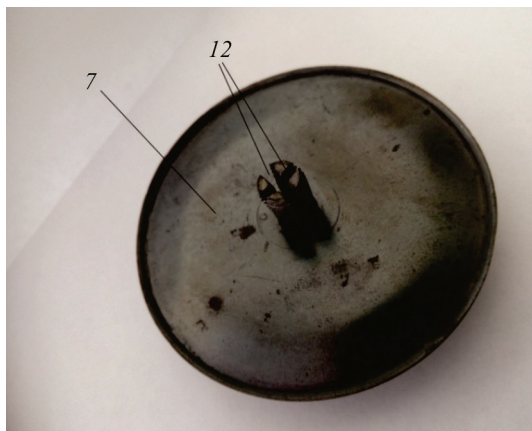


Рис. 8. Крышка газовой горелки для бытовых плит с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня с резьбой и увеличивающимися щелевыми зазорами (продольными разрезами)

фикатора теплоотдачи газовая плита остывала, в сосуд заливалась свежая порция пресной воды, крышка менялась на новую со стержнем, далее опыт повторялся. В экспериментах объем доводимой до кипения пресной воды варьировался от 250 мл до 3 л.

В ходе экспериментов применялись различные интенсификаторы теплоотдачи: стальной стержень с винтовым оребрением без медной

проволоки и с медной проволокой на поверхности, стальной стержень с оребрением без продольных разрезов и с разрезами. При определенной подаче газа в ходе экспериментов и после них измерялась температуры крышки и стержня газовой горелки. На основе данных по теплофизическим свойствам газа при заданном температурном режиме вычислялись числа Nu , Re , Pr [9–11], строились графики, выводились формулы для обобщения экспериментов.

В ходе исследований подсчитаны неопределенности основных измерений определяемых величин для условий экспериментов с природным газом, которые находились в требуемом диапазоне.

Экспериментальные исследования газовой горелки

Проведены эксперименты на бытовой газовой плите с газовой горелкой [2], в которой стержень с интенсификатором теплоотдачи был разрезан в нескольких частях, т.е. имел щелевые зазоры (продольные разрезы) 12 (см. рис. 7). При этом диаметр канала подвода газа был равен 10 мм, диаметр стержня с резьбой – 6 мм, длина стержня – 20 мм. Параметры металлической крышки: диаметр 68 мм, толщина 1.5 мм. Щелевые зазоры позволили повысить экономичность газовой горелки (рис. 6, 7): средняя экономия природного газа (доведение до кипения разных объемов пресной воды) при применении новой горелки с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня с резьбой и продольными щелевыми зазорами составила около 14.19% (по объему) [3].

Также были проведены эксперименты с горелкой, у которой четыре части металлического стержня были раскрыты к окончанию, таким образом, увеличивалась ширина щелевых зазоров 12 (рис. 8).

Если пренебречь грубыми ошибками, то экономия природного газа с новой горелкой (рис. 9) составила те же 14.2% (по объему) [3].

Затем был применен другой интенсификатор теплоотдачи: в крышку 7 газовой горелки был вставлен металлический стержень с винтовым оребрением 14 (в виде шнека) с шагом 3.0 мм (рис. 9, 10). Диаметр канала подвода газа составлял 10 мм, диаметр стержня – 3.0 мм, внешний диаметр ребер – 5.0 мм, длина всего стержня – 30 мм. Параметры металлической крышки: диаметр 75 мм, толщина 2.0 мм.

Таблица 1. Снижение потребления природного газа в зависимости от типа интенсификатора теплоотдачи

Интенсификатор теплоотдачи газовой горелки [2]	Средняя экономия объема природного газа по сравнению с базовой газовой горелкой бытовой плиты, % (по объему)
Стержень с винтовым оребрением	5.9
Стержень с винтовым оребрением и с медной проволокой на поверхности стержня	10.63
Стержень с резьбой и продольными разрезами	14.2
Стержень с резьбой и увеличивающимися продольными разрезами	14.2

Также были проведены эксперименты с металлическим стержнем с тем же винтовым оребрением, который был обмотан медной проволокой 15, диаметр которой составлял около 0.9 мм (рис. 11).

Средняя экономия природного газа при применении горелки с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня с винтовым оребрением составила около 5.9%, а с медной проволокой на поверхности – 10.63%.

Основные допущения, принятые в ходе расчетов:

- 1) влияние лучистого теплообмена в канале подвода газа не учитывалось;
- 2) температуры стержня и природного газа оставались постоянными в одном опыте и при определенной подаче природного газа;
- 3) химические свойства воды не учитывались;
- 4) плотность теплового потока q от крышки оставалась постоянной при определенном рас-

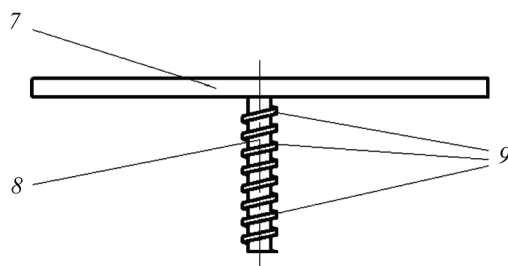


Рис. 9. Крышка разработанной газовой горелки: интенсификатор теплоотдачи 9 в виде стержня с винтовым оребрением

ходе природного газа, а тепло от крышки переходило к стержню за счет теплопроводности;

5) потери тепла и массы воды за счет испарения с поверхности пренебрежимо малы.

Проведено сравнение эффективности интенсификаторов теплоотдачи (табл. 1).

Критериальные уравнения теплообмена при применении новой газовой горелки с интенсификатором теплоотдачи

Разработаны формулы, позволяющие получить значения числа Nu при использовании интенсификатора теплоотдачи в виде металлического стержня с развитой поверхностью теплообмена. Ввиду того, что число Pr для многих газов в определенном диапазоне температур изменяется незначительно, коэффициент теплоотдачи α в полученных формулах зависит, в основном, от числа Re [9]. В табл. 2 представлены критериальные уравнения (1)–(3) для определения числа Nu при средней температуре (и далее коэффициента теплоотдачи) с неопределенностью $\pm 1\%$.



Рис. 10. Крышка газовой горелки для бытовых плит с интенсификатором теплоотдачи в виде металлического стержня с винтовым оребрением 14 на поверхности

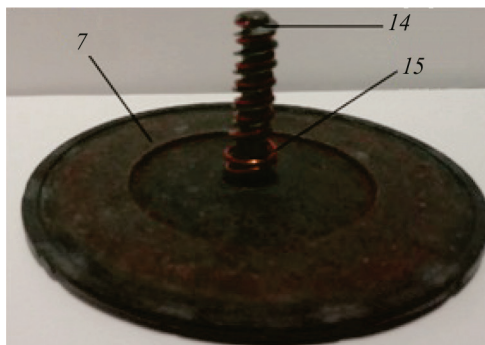


Рис. 11. Крышка газовой горелки для бытовых плит с интенсификатором теплоотдачи в виде металлического стержня с винтовым оребрением, обмотанного медной проволокой

Таблица 2. Обобщение экспериментальных исследований влияния типа интенсификатора теплоотдачи на теплообмен в канале подвода

Интенсификатор теплоотдачи газовой горелки [2]	Критериальное уравнение вынужденной конвекции
Стержень с резьбой и продольными разрезами	$Nu_m = 0.73Re$ (1)
Стержень с резьбой и увеличивающимися продольными разрезами	
Стержень с винтовым оребрением	$Nu_m = 1.3Re^{0.76}$ (2)
Стержень с винтовым оребрением и с медной проволокой на поверхности стержня	$Nu_m = 1.01Re^{0.81}$ (3)

Необходимо отметить, что результаты последних экспериментов с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня с винтовым оребрением с применением и без применения медной проволоки на поверхности удалось обобщить следующим критериальным уравнением с неопределенностью $\pm 3\%$:

$$Nu_m = 0.4Re. \quad (4)$$

Критериальные уравнения (1)–(4) получены при средней температуре среды T_m . При этом средняя температура крышки горелки находилась в пределах $358\text{--}377^\circ\text{C}$, участков металлического стержня – $281\text{--}298^\circ\text{C}$, медной проволоки (на поверхности стержня в углублениях винтовой резьбы) – $321\text{--}334^\circ\text{C}$.

На рис. 12 показан график влияния интенсификатора теплоотдачи на теплообмен в канале подвода природного газа.

Таким образом, проведены экспериментальные исследования новой газовой горелки для бытовых плит, содержащей в своей конструкции интенсификатор теплоотдачи в виде металлического стержня. Данные эксперименты показали, что возможно снизить потребление природного газа благодаря интенсивному подогреву свежей порции горючего, идущего на сжигание.

Заключение

Проведены экспериментальные исследования горелки бытовой газовой плиты с металлическим стержнем, содержащим интенсификатор теплоотдачи. Доказано, что возможно снизить затраты природного газа благодаря его

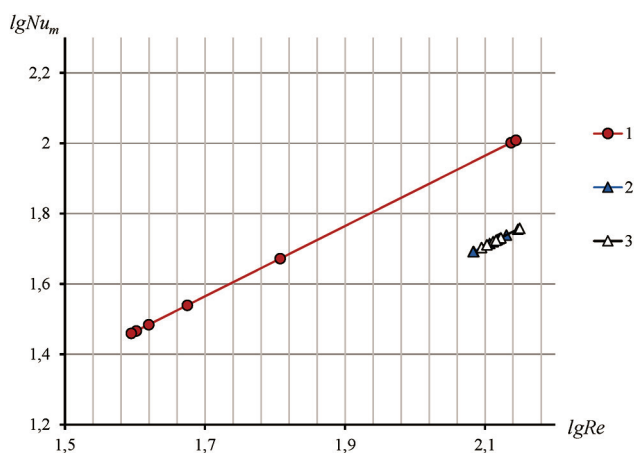


Рис. 12. Влияние интенсификатора теплоотдачи на повышение Nu_m в разработанной газовой горелке при средней подаче природного газа: 1 – стержень с резьбой и продольными разрезами; 2 – стержень с винтовым оребрением, обмотанный медной проволокой; 3 – стержень с винтовым оребрением (без проволоки)

интенсивному предварительному подогреву. Экономия природного газа варьировалась от 5.9% до 14.2% (по объему, в зависимости от типа интенсификатора теплоотдачи и его поверхности).

Получены новые критериальные уравнения теплообмена при передаче тепла от нагретого металлического стержня с интенсификатором теплоотдачи потоку холодного газа в канале подвода горелки.

В заключение можно отметить, что необходимы дальнейшие исследования с разработанной газовой горелкой, применяя новые интенсификаторы теплоотдачи, с целью снижения потребления природного газа, повышения экономичности, экологичности и эффективности горелочных устройств бытового и промышленного применения.

Намечены пути дальнейших экспериментальных и теоретических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_добыче_природного_газа.
- Алтунин К.В. Газовая горелка. Патент РФ на полезную модель №129600, F23D14/20. Опубл. 27.06.2013. Бюл. №18.
- Алтунин К.В. Экспериментальные исследования газовой горелки с интенсификатором теплоотдачи в виде стержня // ТВТ. 2020. Т. 58. № 1. С. 128–134.
- Altunin K.V. Gas burner with improved economical efficiency // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. V. 90. N 2. P. 480–483.

5. Алтунин К.В. Экспериментальные исследования газовой горелки с интенсификатором теплоотдачи // Вестник КГТУ-КАИ. 2017. № 2. С.80–84.
6. Карась В.И. Газовая горелка Карася. Патент на изобретение Украины № 26706. F23D 14/20. Оpubл. 10.10.2007.
7. <http://congeniator.com/gorelki-i-konforki>
8. ГОСТ 28498–90. Термометры стеклянные керосиновые. М.: Стандартиформ. 2007. 19 с.
9. Бухмиров В.В. Расчет коэффициента теплоотдачи (справочник). Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2007. 37 с.
10. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергия, 1965. 424 с.
11. Болгарский А.В., Мухачёв Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1964. 458 с.

Research of influence of a heat-transfer intensifier on efficiency of a gas burner

K.V. Altunin

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, 420111, Russia
e-mail: altkonst881@yandex.ru*

The article presents the results of experimental research of a novel created gas burner for home gas stoves. This new gas burner has got a special heat-transfer intensifier as a metal rod with the extended heat-transfer surface that is connected with a metal lid. It should be said that all experiments were carried out by use of home stoves of different world names, and additionally, their gas burners had their own geometry parameters including a lid diameter, a gas-supply channel depth of the gas burner with an average power. During experiments fresh water of different volumes was heated until boiling appearance in a water vessel on the standard gas burner (without any heat-transfer intensifier) and on the new gas burner with the heat-transfer intensifier. By use of a membrane type gas meter the spent gas volumes were accurately measured, by use of a stopwatch – spent time, by use of an alcohol-in-tube and an electronic thermometer – temperatures of heating inside the water vessel center. In fact, each experimental study was conducted under the normal atmosphere pressure. The main heat-transfer intensifiers were such as the following ones including the metal rod with a thread and two longitudinal slots; the metal rod with a thread and two extending longitudinal slots; the metal rod with a screw thread (as an auger) without and with a copper wire on the surface. It was really proved that application of the heat-transfer intensifier with extended surface area allowed to increase natural gas economy owing to its high-rate preliminary heating and effective local heat regeneration: obtained economy varied at the ranges from 5.9% up to 14.2% (according to a spent gas volume, depending on a concrete type of the heat-transfer intensifier and its surface). New criterion equations were obtained while transferring heat from the heated heat-transfer intensifier of the rod towards a cold gas stream inside the gas-supply channel as relationships of Nusselt number vs. Reynolds numbers. Generally speaking, the current paper can be treated as a real proof of possibility of economy and efficiency increase of new gas burner application by using the heat-transfer intensifier as a metal rod with extended surface.

Keywords: gas burner, heat transfer intensifier, natural gas, criterion equation.

REFERENCES

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Spisok_stran_po_dobyche_prirodnogo_gaza [List of countries for natural gas processing] (accessed 02.11.2020)
2. Altunin K.V. *Gazovaya gorelka* [Gas-burner]. Patent RF, no. 129600, 2013.
3. Altunin K.V. Experimental research on a gas burner with a heat-transfer enhancer in a rod form. *High Temperature*, 2020, vol. 58, no. 1, pp. 126–131. DOI: 10.1134/S0018151X20010010
4. Altunin K.V. Gas burner with improved economical efficiency. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2017, vol. 90, no. 2, pp. 480–483. DOI: 10.1007/s10891-017-1588-8
5. Altunin K.V. Eksperimental'nye issledovaniya gazovoj gorelki s intensifikatorom teplootdachi [Experimental studies of a gas burner with a heat transfer intensifier]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva – Bulletin of the Kazan state technical university im. A.N. Tupolev*, 2017, no. 2, pp. 80–84. In Russ.

6. **Karas' V.I.** *Gazovaya gorelka Karasya* [Karas' gas burner]. Patent UA, no. 26706, 2007.
7. <http://congeniator.com/gorelki-i-konforki> (accessed 02.11.2020)
8. **GOST 28498–90.** *Termometry steklyannye kerosinovyе.* [State Standard 28498-90. Liquid glass thermometers]. Moscow: Standartinform, 2007. 19 с.
9. **Buhmirov V.V.** *Raschet koefficienta teplootdachi* [Calculation of the heat transfer coefficient]. Ivanovo: Ivanovskij gosudarstvennyj energeticheskij universitet im. V.I. Lenina, 2007. 37 p. In Russ.
10. **Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S.** *Teploperedacha* [Heat transfer]. Moscow: Energiya, 1965. 424 p. In Russ.
11. **Bolgarskij A.V., Muhachyov G.A., Shchukin V.K.** *Termodinamika i teploperedacha* [Thermodynamics and heat transfer]. Moscow: Vysshaya shkola, 1964. 458 p. In Russ.

Информация для читателей

В опубликованной статье Кочнева К.В., Ненарокова А.В. «ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ЛУННОГО РЕГОЛИТА ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ» (Тепловые процессы в технике, 2020, Т. 12, № 6, С. 242–251) при редактировании окончательной версии была пропущена фраза:

«Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-08-01174 А)».