

УДК 662.61

Методика прогнозирования теплотехнической эффективности использования рекуперативных горелок

А.Б. Бирюков, П.А. Гнитиёв, Я.С. Власов
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина
E-mail: birukov.ttf@gmail.com, gnitiev.pavel@gmail.com

Авторское резюме

Состояние вопроса: Одним из средств повышения эффективности отопления пламенных печей является использование рекуперативных горелок, которые позволяют более глубоко утилизировать теплоту уходящих продуктов сгорания, чем системы на базе центрального рекуператора. На данный момент решены научные и технические вопросы, связанные с практической реализацией отопления пламенных печей в металлургии и других отраслях промышленности при помощи рекуперативных горелок. Однако вопросы оценки теплотехнической эффективности и прогнозирования расхода топлива при использовании таких горелок не проработаны в достаточной мере, что определяет необходимость создания методов, позволяющих оценивать их гарантированную теплотехническую эффективность.

Материалы и методы: Поскольку решение задачи исследования базируется на оценке полезно использованной в печи доли энергии топлива, использован метод инженерного анализа для составления и исследования зависимостей коэффициента использования топлива и коэффициента рекуперации от температуры подогрева воздуха.

Результаты: В результате исследования предложена методика инженерного расчета коэффициента рекуперации современных рекуперативных горелок, новизна которой заключается в возможности учета различия температур нагрева различных потоков воздуха и источников теплоты для этого нагрева. С ее использованием обосновано, что расчет коэффициента использования топлива на основе только лишь заявленного производителем максимального значения температуры подогрева воздуха не является точным при расчете ожидаемой экономии топлива, поскольку до такой температуры нагревается только основной поток воздуха, а другой поток (потоки) нагревается до более низких температур, отбирая при этом теплоту не только от уходящих продуктов сгорания, но и от стенок камеры предварительного сгорания.

Выводы: Созданная методика базируется на фундаментальных представлениях металлургической теплотехники и позволяет оценивать гарантированную теплотехническую эффективность использования рекуперативных горелок. Полученные результаты применимы на предприятиях, специализирующихся на создании и реконструкции пламенных печей для корректного решения вопроса о целесообразности использования рекуперативных горелок. Дальнейшие исследования нужно направить на поиск решений, позволяющих существенно снизить себестоимость производства рекуперативных горелок.

Ключевые слова: рекуперативные горелки, коэффициент использования тепла топлива, подогрев воздуха, рекуперация тепла, теплотехнические характеристики рекуперативных горелок.

A method of predicting thermal efficiency of using recuperative burners

A.B. Biryukov, P.A. Gnitiev, Ya.S. Vlasov
Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine
E-mail: birukov.ttf@gmail.com, gnitiev.pavel@gmail.com

Abstract

Background: One of the methods of increasing the efficiency of flame furnace heating is the use of recuperative burners, which allow utilizing the heat of the outgoing combustion products more deeply than the systems based on a central recuperator. At the moment, the scientific and technical issues related to the practical realization of flame furnace heating in metallurgical and other industries with the help of recuperative burners are solved. However, the techniques for estimating thermal and technical efficiency of such burners have not been sufficiently developed, which makes it necessary to create methods for evaluation of the guaranteed heating efficiency of their use.

Materials and methods: Since the solution to the research problem is based on estimating the fraction of fuel energy that is used in the furnace, we used the method of engineering analysis for the compilation and study of the dependences of the fuel utilization factor and the recovery factor on the air preheating temperature.

Results: Based on the research results, we have proposed a technique of engineering calculation of the recovery factor of modern recuperative burners. Its novelty is the possibility to take into account the difference in the heating temperatures of various air currents and heat sources for such heating. Using this technique, we have proved that the calculation of the fuel efficiency factor based only on the maximum value of the heating air temperature declared by the producer is not accurate enough to calculate the expected fuel saving from the use of such burners because only the main air stream is heated up to such a temperature, and the other stream (streams) is (are) heated up to lower temperatures, taking away the heat not only from the outgoing combustion products, but also from the walls of the precombustion chamber.

Conclusions: The created method is based on the fundamental concepts of metallurgical heat engineering and enables estimation of the guaranteed thermal and technical efficiency of using recuperative burners. The obtained results can be used at enterprises specializing in production and reconstruction of flame furnaces for solving the problem of reasonabili-

ty of using recuperative burners. Further research should aim at finding solutions that can significantly reduce the cost of production of recuperative burners.

Key words: recuperative burners, fuel heat use efficiency factor, air heating, heat recovery, heating characteristics of recuperative burners.

DOI: 10.17588/2072-2672.2018.1.013-019

Введение. В настоящее время на металлургических и машиностроительных предприятиях в странах постсоветского пространства продолжает эксплуатироваться значительное количество устаревших печей, которые характеризуются моральным и физическим износом и потому не могут обеспечить современный уровень энергоэффективности.

Одним из основных направлений сокращения расхода топлива при отоплении пламенных печей является использование тепловой энергии газов, покидающих печную камеру, для нагрева компонентов горения [1]. Для этого традиционно использовались и в большинстве случаев продолжают использоваться рекуператоры. В последнее время появились альтернативные технологии, позволяющие осуществить более глубокое использование теплоты уходящих продуктов сгорания за счет использования рекуперативных¹ [2–5] или регенеративных [6] горелок.

Однако в настоящее время такие горелки, являющиеся достаточно совершенными в теплотехническом плане, не получили широкого распространения. Одной из основных причин этого является высокая стоимость такого оборудования и алгоритмов управления, обеспечивающих его работу [2]. В каждом конкретном случае целесообразность применения рекуперативных или регенеративных горелок должна оцениваться на основании анализа срока окупаемости дополнительных средств, вложенных в это оборудование. В большинстве случаев названный срок окупаемости получается крайне длительным, и в настоящее время значительная часть в полном смысле современного печного оборудования создается на базе отопительных систем с центральным рекуператором [2].

При выполнении тепловых расчетов горелок важно гарантировать, что методика оценки теплотехнической эффективности использования нового оборудования (и соответственно, расхода топлива) позволяет получать объективные результаты. Задача выполнения расчетных оценок затрудняется тем, что производители горелок представляют набор данных, характеризующих предлагаемое оборудование с наилучшей стороны.

В связи с этим необходимо создание методики прогнозирования теплотехнической эффективности использования рекуперативных горелок для создания новых печных агрегатов или реконструкции существующих.

Рекуперативная горелка представляет собой газогорелочное устройство, снабженное встроенным рекуператором, который предназначен для подогрева воздуха за счет использования физической теплоты продуктов сгорания, удаляемых из рабочего пространства печи (рис. 1) [3–5]. При этом, помимо выполнения функции топливосжигающего устройства, рекуперативная горелка решает задачу дымоудаления при помощи специального газоструйного насоса (эдуктора) [2].

Горячие продукты сгорания, покидая печь, подогревают часть воздуха, идущего на горение через радиальный зазор между трубой для продуктов сгорания и рекуперативной насадкой. В большинстве рекуперативных горелок ведущих иностранных производителей² [3] используется двухступенчатая или многоступенчатая подача воздуха. На первой стадии в камеру сгорания подается все топливо и $\approx 10\text{--}30\%$ воздуха, необходимого для горения, поэтому топливо здесь сгорает с недостатком кислорода при сравнительно низких температурах несмотря на значительный подогрев воздуха.

¹ Self recuperative burners ECOMAX: (url=<http://www.kromschroeder.de/en/process-heat/products/kromschroeder/07-pilot-burners-and-burners/self-recuperative-burners-ecomax.html?type=0>)

² Там же.

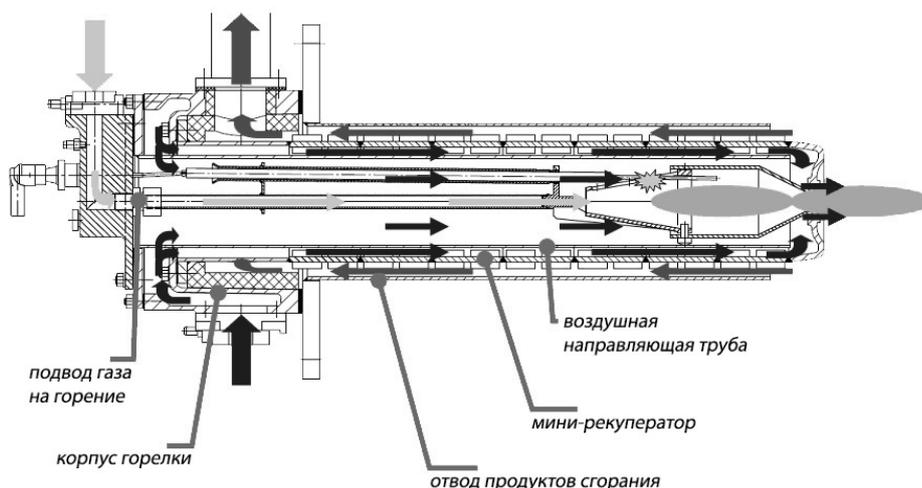


Рис. 1. Конструкция рекуперативной горелки

Методы исследования. Одним из основных критериев для оценки теплотехнической эффективности технологии отопления пламенных печей является коэффициент использования топлива (к.и.т.). Эта величина представляет собой долю энергии, поступившей в топочное пространство, которая осталась в нем и пошла на нагрев материала и покрытие тепловых потерь:

$$\eta = \frac{Q_H^p + Q_{\phi}^b + Q_{\phi}^T - V_{yx} c^{t_{yx}} t_{yx}}{Q_H^p}, \quad (1)$$

где Q_H^p – низшая теплота сгорания топлива, Дж/м³; Q_{ϕ}^b – физическое тепло воздуха, идущего на горение в рабочую камеру печи, отнесенное к единице топлива, Дж/м³; Q_{ϕ}^T – физическое тепло топлива, отнесенное к единице топлива, Дж/м³; V_{yx} – объем продуктов сгорания, покидающих рабочую камеру печи и приходящийся на единицу топлива (при отсутствии присосов численно равен выходу продуктов сгорания от горения 1 м³ топлива при заданном значении коэффициента расхода воздуха), м³/м³; $c^{t_{yx}}$ – средняя удельная теплоемкость продуктов сгорания, покидающих рабочую камеру, при их температуре, Дж/(м³·К); t_{yx} – температура продуктов сгорания, покидающих рабочую камеру, °С.

Поскольку тепло атмосферного воздуха представляет собой незначительную величину в общем тепловом балансе, а внешний подогрев воздуха, как правило, не применяется, то для случая поступления в агрегат холодного газа вычисление значения коэффициента использования

топлива можно провести по следующей зависимости:

$$\eta = \frac{Q_H^p - V_{yx} c^{t_{yx}} t_{yx} (1 - k_r)}{Q_H^p}, \quad (2)$$

где k_r – коэффициент рекуперации (доля теплоты уходящих из рабочей камеры продуктов сгорания, возвращаемая в нее с подогретым в рекуператоре воздухом, идущим на горение топлива, и в ряде случаев с топливом).

Для случая, когда подогревается только воздух, коэффициент рекуперации обычно определяется как

$$k_r = \frac{V_b c_b \Delta t_b}{V_{yx} c^{t_{yx}} t_{yx}}, \quad (3)$$

где V_b – объем воздуха, подаваемый для сжигания 1 м³ топлива, м³/м³; c_b – средняя удельная теплоемкость воздуха при его нагреве от начальной до конечной температуры, Дж/(м³·К); Δt_b – повышение температуры воздуха при его нагреве, °С.

Обычно в литературе при оценке теплотехнической эффективности рекуперативных горелок к.и.т. определяется для значения температуры нагрева воздуха, указанного производителем горелок [1]. На основании полученного значения к.и.т. определяется прогнозируемое сокращение расхода топлива при использовании рекуперативных горелок:

$$V_p = V_b \frac{\eta_b}{\eta_p}, \quad (4)$$

где V_b , V_p – расходы топлива при базовом наборе оборудования и при использовании рекуперативных горелок, м³/с; η_b , η_p –

к.и.т. при работе с базовым набором оборудования и при использовании рекуперативных горелок.

Совершенно очевидно, что от точности определения величины η_p зависит точность определения прогнозируемого расхода топлива, а значит, и экономического эффекта от использования рекуперативной горелки, который должен пойти на окупаемость дополнительных затрат, связанных с приобретением данной горелки.

Как было показано выше, сжигание топлива при помощи рекуперативных горелок происходит по двух- или многоступенчатой схеме. Анализ конструктивных особенностей горелок (рис. 1) показывает, что различные потоки воздуха не могут быть нагреты до одинаковой температуры. Наилучшие условия нагрева имеют место для основного потока воздуха (вторичный или третичный воздух), поступающего непосредственно в печное пространство через кольцевой зазор, в виду наиболее продолжительного контакта с уходящими продуктами сгорания. Очевидно, что все потоки воздуха будут нагреты до различных температур и наибольшее значение будет иметь температура основного потока воздуха. Производители горелок при составлении паспортных данных на свое оборудование не указывают, о каких именно температурах нагрева воздуха идет речь. Есть основания полагать, что для повышения привлекательности своего оборудования они указывают максимально достигаемую температуру при нагреве основного потока воздуха.

Анализ схем различных рекуперативных горелок показывает, что только основной поток воздуха получает всю теплоту для своего нагрева от уходящих продуктов сгорания. Что касается потоков первичного воздуха и вторичного воздуха (для горелок с трехступенчатым сжиганием³), то они большую часть теплоты получают от контакта со стенками камеры предварительного сгорания. С точки зрения кинетики горения и обеспечения заданных параметров работы камеры предварительного

сгорания основное значение имеет достигнутая температура воздуха. А с точки зрения определения к.и.т. важную роль играет источник энергии для нагрева воздушного потока. Отбор теплоты от стенок камеры предварительного сгорания равносителен нагреву воздуха за счет энергии топочного пространства и к повышению к.и.т. не приводит.

Исходя из вышесказанного предложена следующая формула для определения коэффициента рекуперации, характеризующего работу рекуперативных горелок:

$$k_r = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i V_B c_B \chi_i \Delta t_{Bi}}{V_{yx} c^{yx} t_{yx}}, \quad (5)$$

где i – номер индекса потока; γ_i – доля удельного расхода воздуха V_B , идущая на формирование i -го потока, °С; χ_i – доля энергии, отобранной от уходящих продуктов сгорания, в нагреве i -го потока; Δt_{Bi} – повышение температуры i -го потока воздуха, °С.

Так, для горелок с двухступенчатым сжиганием γ_1 составляет 0,1–0,3, а γ_2 , соответственно, 0,7–0,9. Для горелок с трехступенчатым сжиганием имеем $\gamma_1 = 0,1–0,2$; $\gamma_2 = 0,2–0,3$; $\gamma_3 = 0,5–0,6$ ⁴.

Что касается доли энергии уходящих продуктов сгорания в нагреве воздуха, то для основного потока воздуха она может быть принята равной единице, а для других потоков воздуха она, несомненно, значительно меньше единицы. В ряде случаев, исходя из конструктивных соображений, вполне возможно принять эту величину равной нулю.

Таким образом, если определить значение коэффициента рекуперации по следующей зависимости:

$$k_r = \frac{\gamma_{осн} V_B c_B \Delta t_{в.осн}}{V_{yx} c_{yx} t_{yx}}, \quad (6)$$

где «осн» – индекс, указывающий на работу с основным потоком воздуха, то полученный результат будет близок к реальному значению коэффициента рекуперации и при этом, возможно, будет незначительно меньше его. Все это создает предпосылки для использования значения ко-

³ Арсеев Б.Н. Развитие элементов рекуперативных топливосжигающих устройств при модернизации металлургических нагревательных печей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: НИЧ ФГАО ВПО УрФУ, 2011. – 32 с.

⁴ Там же.

эффицента рекуперации, определенного по (6), для оценки теплотехнической эффективности и предполагаемого расхода топлива.

Ниже проведено сравнение теплотехнических характеристик рекуперативных горелок, определенных при помощи стандартного набора зависимости (2)–(4) и с использованием предложенной методики (2), (4), (6). Расчетные оценки проведены для следующего набора исходных данных:

- температура в печном пространстве 1200 °С;
- доля первичного воздуха 0,2;
- доля вторичного воздуха (основной поток) 0,8;
- теплота сгорания топлива 35,8 МДж/м³;
- коэффициент расхода воздуха 1,1;
- температура вентиляторного воздуха, идущего на горелку, 30 °С.

Для простоты принято, что топливо состоит из одного метана. В результате использования стандартного набора зависимостей из теории горения топлива установлено, что $V_B = 10,71 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а $V_{yx} = 11,71 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Результаты исследования. Результаты расчетов в зависимости от температуры подогрева воздуха приведены на рис. 2–4.

Анализ полученных данных (рис. 2) показывает, что реальные значения коэффициента рекуперации, определенные при помощи предложенной методики, на 6–10 % ниже, чем при использовании стандартного подхода. Аналогичную ситуацию имеем на рис. 3: гарантированный к.и.т. на 3,8–6,4 % ниже значения к.и.т., определенного стандартным способом. Интересно, что гарантированное значение к.и.т. при температуре подогрева воздуха 500 °С примерно равно к.и.т. при отоплении печи с использованием центрального рекуператора и температуре подогрева воздуха 400 °С [7]. Гарантированная экономия топлива (рис. 4) при переходе на рекуперативные горелки, по сравнению с технологией отопления на базе центрального рекуператора и при температуре подогрева воздуха 400 °С также оказывается меньше определенного стандартным способом максимального значения на 7,1–11,9 %.

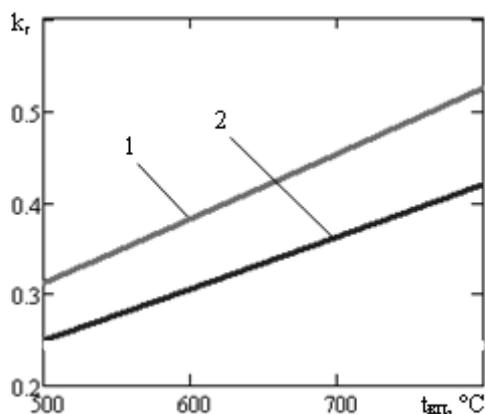


Рис. 2. Зависимость коэффициента рекуперации от температуры подогрева воздуха: 1 – по стандартной методике; 2 – по предложенной методике

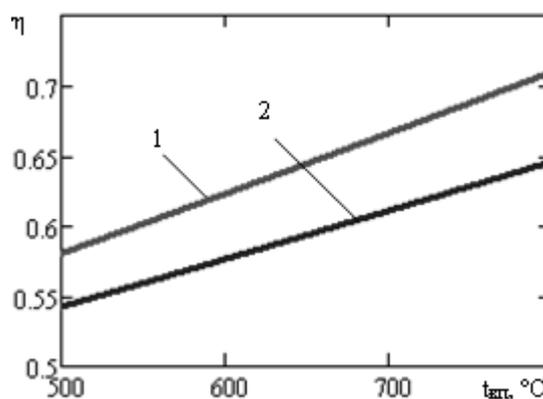


Рис. 3. Зависимость коэффициента использования топлива от температуры подогрева воздуха: 1 – по стандартной методике; 2 – по предложенной методике

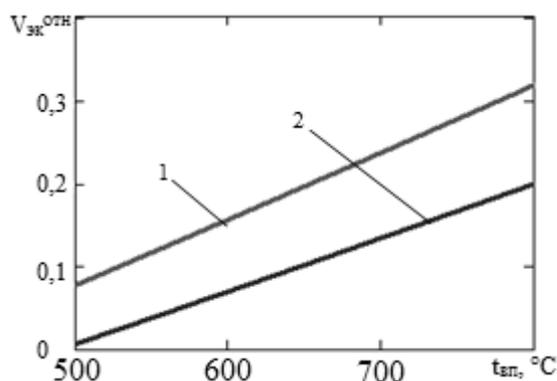


Рис. 4. Зависимость относительной экономии топлива от температуры подогрева воздуха: 1 – по стандартной методике; 2 – по предложенной методике

Естественно, что относительная экономия получается намного выше при более низких температурах подогрева воздуха в сопоставляемом варианте на базе центрального рекуператора. Однако разница между максимальной и гарантиро-

ванной экономией топлива сохраняется примерно на том же уровне. Следует понимать, что все полученные количественные отличия максимальных и гарантированных значений теплотехнических характеристик соответствуют конкретным исходным данным, использованным для анализа. Однако качественно все полученные результаты справедливы для реально возможных наборов исходных данных.

Очевидно, что использование максимальных значений теплотехнических характеристик при выполнении теплотехнических расчетов приведет к завышению текущей экономии затрат на топливо и занижению сроков окупаемости проектов, предполагающих использование рекуперативных горелок.

Выводы. Обосновано, что прогнозирование теплотехнической эффективности использования рекуперативных горелок для создания новых печных агрегатов или реконструкции существующих на базе стандартного подхода из предположения, что температура подогрева воздуха, заявленная в паспорте горелки, относится ко всем потокам воздуха и нагрев осуществлен исключительно за счет отбора теплоты от уходящих продуктов сгорания, не является вполне точным.

Предложено выражение для оценки значения коэффициента рекуперации, учитывающее отличие температур нагрева различных потоков воздуха и источники теплоты для этого нагрева.

Предложенная методика оценки гарантированных теплотехнических характеристик рекуперативных горелок позволяет проводить анализ технико-экономической эффективности проектов, предполагающих использование рекуперативных горелок для создания новых печных агрегатов или реконструкции существующих.

Список литературы

1. **Топливосбережение** при нагреве металла в печах машиностроительных предприятий / А.А. Шипко, И.А. Трусова, И.Н. Плющевский и др. // *Литье и металлургия*. – 2010. – № 1(54), 2 (55). – С. 53–58.
2. **Бирюков А.Б.** Современные аспекты использования рекуперативных горелок для отопления пламенных печей // *Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация»*. – 2015. – № 8. – С. 73–79.

3. **Investigation** of regenerative and recuperative burners for different sizes of reheating furnaces / Somkiat Tangjitsitcharoen, Suthas Ratanakuakangwan, Matchulika Khonmeak, Nattadate Fuangworawong // *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*. – 2013. – Vol. 7, No. 10. – P. 2027–2031.

4. **Лошкарев Н.Б., Мухамадиева А.Х.** Скоростная рекуперативная горелка ГСР-150 // *Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сб. докл. IV Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (ТИМ'2015) (г. Екатеринбург, 26–27 марта 2015 г.)*. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – С. 96–100.

5. **Новая** скоростная рекуперативная газовая горелка для прямого нагрева металла в промышленных печах / М.Р. Барташ, Г.М. Дружинин, Н.Б. Лошкарев и др. // *Сталь*. – 2010. – № 3. – С. 125–127.

6. **Бирюков А.Б.** Современные аспекты использования регенеративных горелок для отопления пламенных печей // *Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация»*. – 2015. – № 11. – С. 31–36.

7. **Бирюков А.Б.** Современные тенденции в использовании рекуператоров для утилизации теплоты продуктов сгорания в пламенных печах // *Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация»*. – 2016. – № 7 (1399). – С. 102–109.

References

1. Shipko, A.A., Trusova, I.A., Plyushchevskiy, I.N. *Toplivoberezhenie pri nagreve metalla v pechakh mashinostroitel'nykh predpriyatiy* [Fuel saving in the process of metal heating in furnaces of machine-building enterprises]. *Lit'e i metallurgiya*, 2010, no. 1(54), 2 (55), pp. 53–58.
2. Biryukov, A.B. *Sovremennye aspekty ispol'zovaniya rekupeativnykh gorelok dlya otopleniya plamennykh pechey* [Modern aspects of using recuperative burners for heating flame furnaces]. *Chernaya metallurgiya: Byulleten' instituta «Chermetinformatsiya»*, 2015, no. 8, pp. 73–79.
3. Somkiat, Tangjitsitcharoen, Suthas, Ratanakuakangwan, Matchulika, Khonmeak, Nattadate, Fuangworawong. *Investigation of regenerative and recuperative burners for different sizes of reheating furnaces*. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 2013, vol. 7, no. 10, pp. 2027–2031.
4. Loshkarev, N.B., Mukhamadieva, A.Kh. *Skorostnaya rekupeativnaya gorelka GSR-150* [High-velocity recuperative burner GSR-150 (ГСР-150)]. *Sbornik dokladov IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Teplotekhnika i informatika v obrazovanii, nauke i proizvodstve» (TIM'2015) (g. Ekaterinburg, 26–27 marta 2015 g.)* [A collection of works of the IV all-Russian scientific and practical conference of students, post-graduate students and young scientists «Heat Engineering and Information Science in Education, Science and Industrial Production» (TIM'2015) (Ekaterinburg, March 26–27, 2015)]. Ekaterinburg, UrFU, 2015, pp. 96–100.
5. Bartash, M.R., Druzhinin, G.M., Loshkarev, N.B., Popov, A.B., Khammatov, I.M. *Novaya skorostnaya re-*

kuperativnaya gazovaya gorelka dlya pryamogo nagreva metalla v promyshlennykh pechakh [A new high-speed recuperative gas burner for direct heating of metal in industrial furnaces]. *Stal'*, 2010, no. 3, pp. 125–127.

6. Biryukov, A.B. Sovremennye aspekty ispol'zovaniya regenerativnykh gorelok dlya otopeniya plamennykh pechey [Modern aspects of using regenerative burners for heating flame furnaces]. *Chernaya metallurgiya: Byulleten' instituta «Chermetinformatsiya»*, 2015, no. 11, pp. 31–36.

7. Biryukov, A.B. Sovremennye tendentsii v ispol'zovanii rekuperatorov dlya utilizatsii teploty produktov sgoraniya v plamennykh pechakh [Modern trends in using recuperators for utilizing heat of combustion gases in flame furnaces]. *Chernaya metallurgiya: Byulleten' instituta «Chermetinformatsiya»*, 2016, no. 7 (1399), pp. 102–109.

Бирюков Алексей Борисович,

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технической теплофизики,
адрес: г. Донецк, ул. Кобозева, д. 15, ауд. 145а,
e-mail: birukov.ttf@gmail.com

Biryukov Aleksei Borisovich,

Donetsk National Technical Unniversity,
Doctor of Engineering Sciences (Post-Doctoral Degree), Professor, Head of the Engineering Thermophysics Department,
address: Donetsk, No. 15 Kobozeva St., Room 145a,
e-mail: birukov.ttf@gmail.com

Гнителиев Павел Александрович,

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»
кандидат технических наук, доцент кафедры технической теплофизики
адрес: г. Донецк, ул. Кобозева, д. 15, ауд. 145а,
e-mail: gnitiev.pavel@gmail.com

Gnitiev Pavel Aleksandrovich,

Donetsk National Technical Unniversity,
Candidate of Engineering Sciences (PhD), Associate Professor of the Engineering Thermophysics Department,
address: Donetsk, No. 15 Kobozeva St., Room 145a,
e-mail: gnitiev.pavel@gmail.com

Власов Ярослав Сергеевич,

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»
магистрант кафедры технической теплофизики
адрес: г. Донецк, ул. Кобозева, д. 15, ауд. 145а.

Vlasov Yaroslav Sergeyevich,

Donetsk National Technical Unniversity,
Master-Program Student of the Engineering Thermophysics Department,
address: Donetsk, No. 15 Kobozeva St., Room 145a.