

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-8-26-34

**Рамазанов Р.С., Сулов Д.Ю., Куцев Л.А., Семиненко А.С., Уваров В.А.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
E-mail: boss.rafshan@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДОГРЕВА ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В КОРПУСЕ ГОРЕЛКИ С ТЕПЛОМЫМ РАССЕКATEЛЕМ

Аннотация. Рассмотрены основные тепловые процессы, происходящие при эксплуатации газогорелочного устройства бытового назначения. Одной из важных функций, выполняемых газогорелочным устройством, является подготовка топлива для последующего сжигания. Эффективность и качество протекания процесса горения напрямую зависит от значения температуры газозвоздушной смеси. Так как повышение температуры смеси способствует интенсификации процесса горения, при проектировании газогорелочных устройств полезным является определение температуры газозвоздушной смеси внутри корпуса горелки. Предложено решение, позволяющее повысить эффективность газогорелочного устройства за счёт интенсификации предварительного подогрева от теплового рассекателя к газозвоздушной смеси внутри корпуса газовой горелки. Установлено, что размещение теплового рассекателя в центральной части с внутренней стороны крышки позволяет уменьшить область застойной зоны при движении потока газозвоздушной смеси, а коническая форма теплового рассекателя оказывает минимальное сопротивление движению потока газозвоздушной смеси внутри газовой горелки, кроме того, боковая поверхность теплового рассекателя дополнительно увеличивает площадь теплообмена. Получено выражение для расчёта средней температуры газозвоздушной смеси на выходе из огневых отверстий газовой горелки.

Ключевые слова: предварительный подогрев, газозвоздушная смесь, тепловой рассекатель, теплообмен, горение, газовая горелка.

Введение. Улучшение уровня жизни и благосостояния населения соответственно требует развития инфраструктуры мест проживания, развития региональной энергетики и промышленности, что, как следствие, приводит к росту потребления основных энергоносителей включая природный газ.

В России в 2019 году добыча природного и попутного нефтяного газа составила 738,4 млрд м³, что на 1,7 % больше уровня 2018 года и является рекордным показателем за весь период российской газодобычи [1].

В структуре использования природного газа в России на конец 2019 года с долей 60,2 % и объёмом потребления 289 млрд м³ лидирует коммунальный и промышленный сектор, а уровень газификации достиг 70,1 % [2].

Одним из основных устройств промышленных и бытовых газоиспользующих приборов является газогорелочное устройство. Оно предназначено для преобразования химической энергии процесса горения горючего газа в тепловую, при этом должно происходить полное сжигание газа и обеспечиваться требования заданного технологического процесса [3–7].

В связи с этим перед специалистами по газоснабжению ставятся новые сложные задачи, связанные с разработкой новых и развитием, и реконструкцией существующих систем, повышением их надёжности, более экономичным использованием газа и минимальным негативным воздействием на экологию.

Исследованиям процессов горения и разработке эффективных газогорелочных устройств посвящено множество работ отечественных и зарубежных учёных. Примером может служить работа авторов Jugjai S. и Rungsimuntuchart N. [8], в которой проведено исследование эффективности применения рециркуляции тепла в работе газовой горелки с использованием технологии пористой среды. В работе [9] автором Aroonjarattham P. исследовано влияние ряда геометрических конструктивных параметров (угол поворота и количество отверстий) на тепловой КПД. В работе [10] авторы Khan M. и Saxena A. исследовали влияние материала конфорки газовой плиты на её эффективность. В работе [11] коллективом авторов Dahiya D., Singh L.R., Bhatia P. выполнено исследование производительности стандартной газовой горелки с различными пористыми средами, используемой в газовой бытовой плите.

Горелочное устройство для сжигания газообразного топлива выполняет следующие функции: придаёт необходимые направления и скорости потоков газа и воздуха, тем самым происходит подготовка компонентов для последующего смешивания; обеспечивает смешивание газового топлива с воздухом, иногда подогревает образовавшуюся смесь до температуры воспламенения – тем самым происходит подготовка образовавшейся смеси для последующего сжигания; обеспечивает стабилизацию горения, создаёт условия для горения смеси без отрыва и проскока пламени; обеспечивает минимальное содержание

токсичных газов в составе продуктов сгорания [12].

Следовательно, актуальным является разработка методов повышения эффективности газогорелочных устройств, получение выражений для расчёта средней температуры газо-воздушной смеси внутри газовой горелки с математическим описанием происходящих тепловых процессов.

Материалы и методы. Для теоретического описания процесса нагрева газовой смеси

в корпусе горелки, оснащенной тепловым рассекателем, использовались уравнения аэродинамики струй, а также уравнения теплообмена, основанные на законах тепловых процессов Ньютона-Рихмана и Стефана-Больцмана.

Основная часть. Рассмотрим процесс движения потока газовой смеси внутри корпуса горелки, оказывающий существенное влияние на распределение тепла.

В общем случае схема движения потока газа внутри корпуса горелки аналогична схеме движения ударной газовой струи [13–15] (рис. 1).

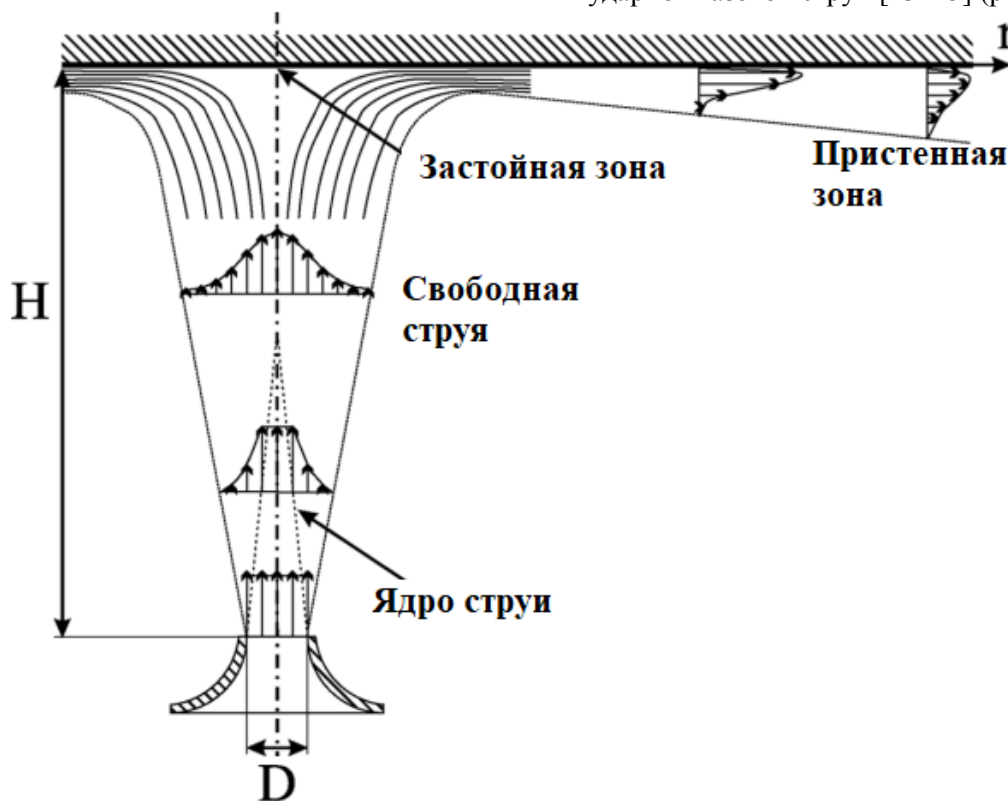


Рис. 1. Схема ударной газовой струи

Поток газа, истекающий из сопла газовой горелки, ударяется под прямым углом о плоскую внутреннюю поверхность крышки, удалённую на расстоянии H , в результате чего образуется застойная зона (некоторая область завихрений потока), которая препятствует дальнейшему свободному течению струи (рис. 2). Данная область характеризуется меньшей интенсивностью теплообмена и в расчётах передачи тепла от пластины набегающему поперечному потоку газа поверхность пластины занятая застойной зоной исключается – тем самым уменьшается полезная поверхность теплообмена и соответственно эффективность теплообмена. Например, в работе [16] в расчёте передачи тепла область застойной зоны принималась равной области ограниченной диаметром выходной части трубки Вентури, и таким образом полезная площадь соответствовала

кольцевой части, где внешний диаметр равен диаметру крышки горелки, а внутренний – диаметр трубки Вентури.

Нами предложено решение, позволяющее интенсифицировать передачу тепла в корпусе газовой горелки от нагретой за счёт контакта с пламенем крышки к потоку газа при помощи теплового рассекателя конической формы, установленного в центре с внутренней стороны крышки (рис. 3). Размещение теплового рассекателя в центре с внутренней стороны крышки позволяет минимизировать или полностью исключить образование застойной зоны. Коническая форма рассекателя обеспечивает меньшее сопротивление встречному движению потока, а также за счёт собственной боковой поверхности позволяет увеличить полезную площадь поверхности теплообмена.

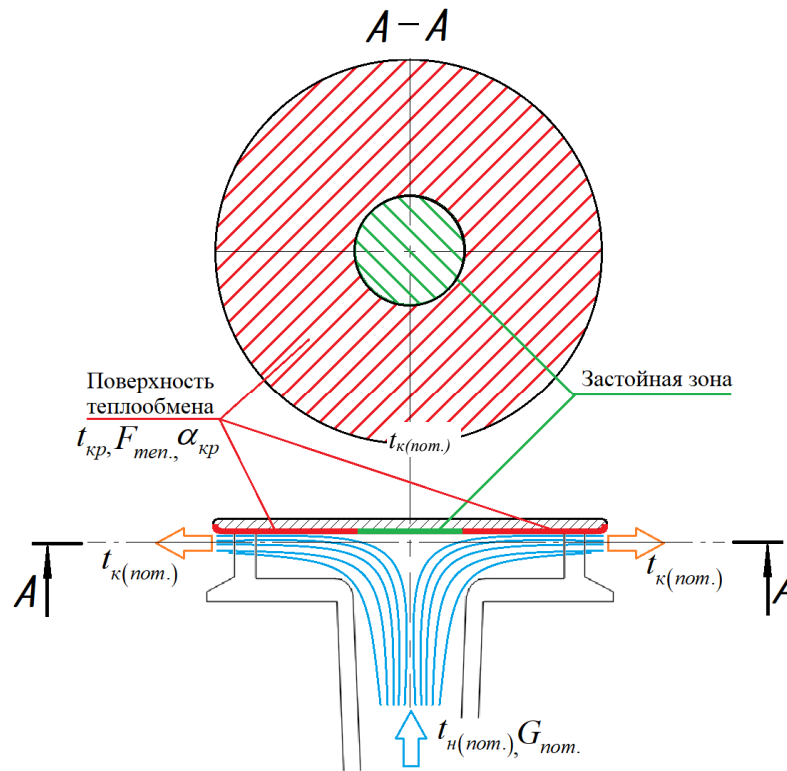


Рис. 2. Движение газовой смеси под крышкой типовой газовой горелки, не оснащённой тепловым рассекателем

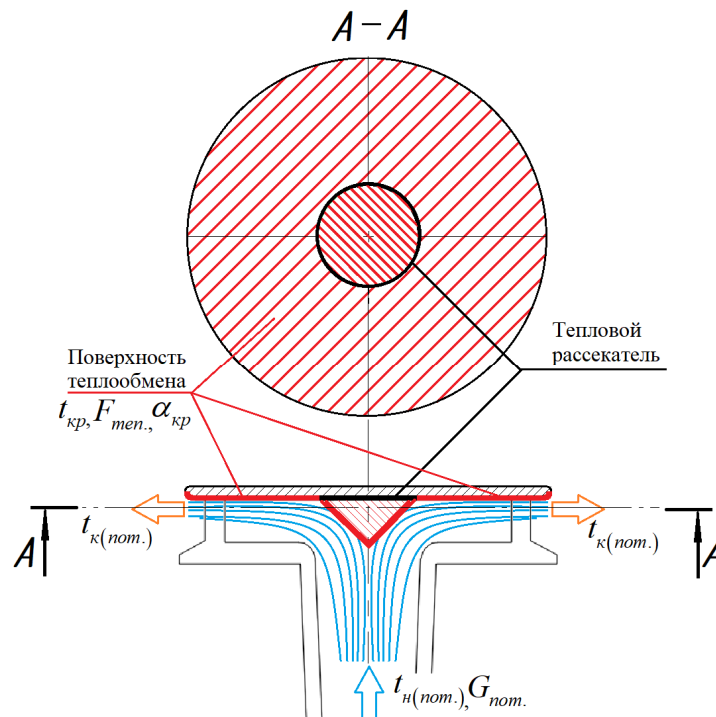


Рис. 3. Движение газовой смеси под крышкой разработанной газовой горелки, оснащённой тепловым рассекателем

Разработана конструкция горелки газовой плиты повышенной эффективности. Основными конструктивными элементами предлагаемой газовой горелки являются: корпус, газовое сопло,

смеситель, выходные отверстия для газовой смеси, крышка с устройством предварительного нагрева и регулятор первичного воздуха [17–18] (рис. 4).

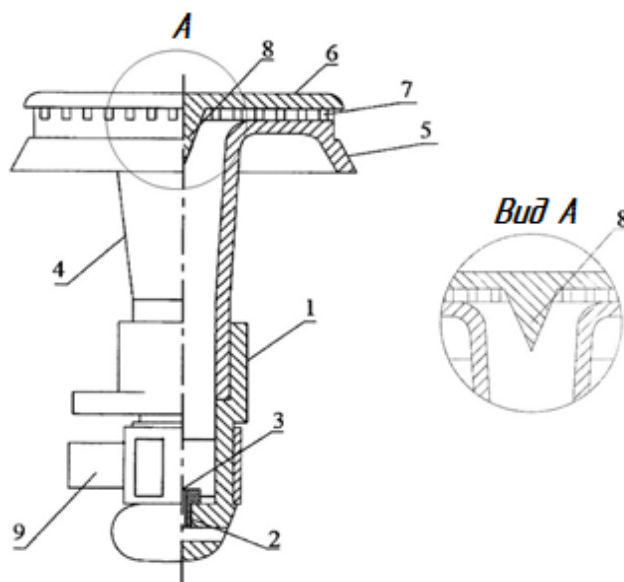


Рис. 4. Оригинальная газовая горелка с предварительным подогревом газозвушной смеси:
 1 – корпус; 2 – газовое сопло; 3 – аксиальное выходное отверстие; 4 – смеситель;
 5 – выходной торец смесителя; 6 – крышка; 7 – огневые отверстия;
 8 – тепловой рассекатель; 9 – регулятор подачи первичного воздуха

Для описания работы газогорелочного устройства составим уравнения теплового баланса, схема распределения основных составляющих теплотерь газогорелочного устройства представлена на рис. 5:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (1)$$

где Q_{Σ} – теплота выделяемая при сгорании газообразного топлива; Q_1 – потери тепла, вызванные

радиационным теплообменом между объёмом сгоревшего газа и окружающей средой; Q_2 – общее количество тепла, поглощённое испытательным сосудом; Q_3 – потери тепла с уходящими продуктами сгорания газового топлива, после теплообмена с боковой поверхностью испытательного сосуда; Q_4 – общее количество тепла, поглощённое корпусом газогорелочного устройства.

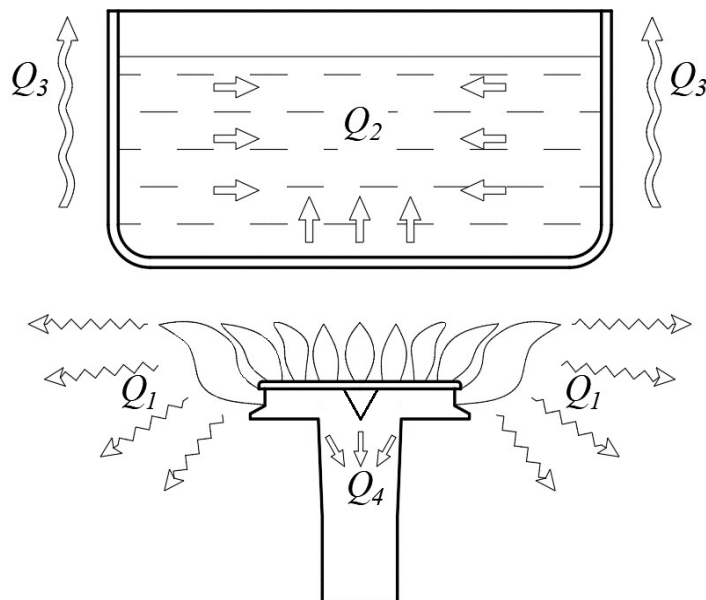


Рис. 5. Схема распределения тепловых потерь теплового баланса газогорелочного устройства

Общее количество тепла, выделяемое при сгорании газообразного топлива, рассчитывается:

$$Q_{\Sigma} = G_{\text{газ}} \cdot Q_n \quad (2)$$

где $G_{\text{газ}}$ – массовый расход топлива, кг/с, Q_n – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Потери тепла, вызванные радиационным теплообменом между объёмом сгоревшего газа и окружающей средой, выражаются согласно закону Стефана-Больцмана по формуле [19–22]:

$$Q_1 = \varepsilon \cdot \sigma (t_{\text{нл}}^4 - t_{\text{ср}}^4) \cdot F_{\text{нл}}, \quad (3)$$

где ε – коэффициент излучения (степень черноты), σ – постоянная Стефана-Больцмана ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴), $t_{пл.}$, $t_{ср.}$ – температура пламени и окружающей среды, °С, $F_{пл.}$ – площадь поверхности пламени, м².

$$Q_2 = (c_{p(вод.)} \cdot m_{вод.} + c_{p(сосуд.)} \cdot m_{сосуд.}) \cdot (t_{к(вод.)} - t_{н(вод.)}), \quad (4)$$

где $c_{p(вод.)}$, $c_{p(сосуд.)}$ – массовая изобарная теплоёмкость воды и материала испытательного сосуда (алюминий), кДж/(кг·°С), $m_{вод.}$, $m_{сосуд.}$ – масса воды и самого испытательного сосуда, кг, $t_{н(вод.)}$, $t_{к(вод.)}$ – начальная и конечная температура воды в испытательном сосуде, °С.

Потери тепла с уходящими дымовыми газами, после теплообмена с боковой поверхностью испытательного сосуда:

$$Q_3 = G_{д.газ} \cdot c_{p(д.газ)} (t_{д.газ} - t_{ср.}), \quad (5)$$

где $G_{д.газ}$ – массовый расход дымовых газов, кг/с, $c_{p(д.газ)}$ – массовая изобарная теплоёмкость дымовых газов, кДж/(кг·°С), $t_{д.газ}$, $t_{ср.}$ – температура дымовых газов после теплообмена с боковой поверхностью и температура окружающей среды, °С.

Тепло поглощённое корпусом газогорелочного устройства:

$$Q_4 = c_{p(г.устр.)} \cdot m_{г.устр.} (t_{к(г.устр.)} - t_{н(г.устр.)}) \quad (6)$$

где $c_{p(г.устр.)}$ – массовая изобарная теплоёмкость материала газогорелочного устройства, кДж/(кг·°С), $m_{г.устр.}$ – масса газогорелочного устройства, кг, $t_{н(г.устр.)}$, $t_{к(г.устр.)}$ – начальная и конечная температура газогорелочного устройства, °С.

$$КПД_{(г.устр.)} = Q_2 / Q_2 \quad (7)$$

Таким образом, КПД газогорелочного устройства представляет собой отношение полезно затраченного тепла (поглощённого испытательным сосудом) к общему количеству тепла выделяемого при сгорании газообразного топлива.

Подготовка газового топлива для сжигания является одной из важных функций, которые выполняет газовая горелка. При этом для разработчиков газогорелочных устройств полезным является возможность определения конечной температуры газовой смеси внутри корпуса горелки, так как повышение температуры полученной смеси позволяет интенсифицировать процесс горения. Так как горение — это химическая реакция окисления газообразного топлива кислородом, который содержится в воздухе, эта особенность процесса объясняется, например, правилом Вант-Гоффа, которое гласит, что при нагревании

Процессы теплообмена между поверхностями твёрдых тел и газообразной средой представим выражениями, основанными на законе Ньютона-Рихмана [23–24].

Общее количество тепла, поглощённое испытательным сосудом, определяется:

скорость большинства химических реакций увеличивается [25–27].

Процесс работы газогорелочного устройства сопровождается поглощением корпусом газогорелочного устройства некоторой части тепла, выделяемого при сгорании газа. Потери тепла такого рода неизбежны для горелок атмосферного типа. Вместе с тем, нагретые поверхности газовой горелки передают тепло протекающей в корпусе газовой смеси, тем самым обеспечивается её предварительный подогрев.

Рассмотрим процессы передачи тепла при установившемся режиме работы, происходящие в корпусе газовой горелки.

При установившемся режиме работы, когда температура крышки горелки достигла постоянного значения $t_{кр}$ и уже не меняется с течением времени, количество тепла, поглощённое потоком газовой смеси при изменении температуры потока от $t_{н(ном.)}$ до температуры $t_{к(ном.)}$ будет выражаться:

$$Q_{ном} = G_{ном} \cdot c_{p(ном.)} \cdot (t_{к(ном.)} - t_{н(ном.)}), \quad (8)$$

где $G_{ном.}$ – массовый расход газовой смеси, кг/с, $c_{p(ном.)}$ – массовая изобарная теплоёмкость газовой смеси, кДж/(кг·°С), $t_{н(ном.)}$, $t_{к(ном.)}$ – соответственно начальная температура и температура газовой смеси на выходе из огневых отверстий, °С.

При этом, в результате конвективной теплопередачи от крышки горелки с температурой $t_{кр}$ к потоку газа с начальной температурой $t_{н(ном.)}$ передаётся количество тепла, определяемое по формуле:

$$Q_{кр} = F_{мен} \cdot \alpha_{кр} \cdot \Delta t_{ном}, \quad (9)$$

где $F_{мен.}$ – площадь внутренней поверхности крышки, участвующей в теплообмене с потоком газовой смеси, м², $\alpha_{кр}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности крышки, участвующей в теплообмене с потоком газовой смеси, Вт/(м²·К), $\Delta t_{ном}$ – среднелогарифмическая разность температур между внутренней поверхностью крышки $F_{мен.}$ и потоком газовой смеси, °С.

Среднелогарифмическая разность температур:

$$\Delta t_{nom} = \frac{(t_{кр} - t_{н(nom.)}) - (t_{кр} - t_{к(nom.)})}{\ln \frac{(t_{кр} - t_{н(nom.)})}{(t_{кр} - t_{к(nom.))}}}. \quad (10)$$

Таким образом, задавшись условием равенства, количество тепла, отдаваемого нагретой крышкой потоку газозвдушной смеси и количества тепла, поглощённого потоком газозвдушной смеси ($Q_{кр} = Q_{nom}$) получаем следующее выражение:

$$\ln \frac{(t_{кр} - t_{н(nom.)})}{(t_{кр} - t_{к(nom.)})} = \frac{F_{мен.} \cdot \alpha_{кр}}{G_{nom.} \cdot c_{p(nom.)}}. \quad (11)$$

Прологарифмировав правую часть выражения и выполнив соответствующие сокращения, получим уравнение для определения конечной температуры газового потока (температуры на выходе из огневых отверстий газовой горелки):

$$t_{к(nom.)} = t_{кр} - (t_{кр} - t_{н(nom.)}) \cdot \exp \left(- \frac{F_{мен.} \cdot \alpha_{кр}}{G_{nom.} \cdot c_{p(nom.)}} \right). \quad (12)$$

Данное уравнение позволяет определить конечную температуру газового потока ($t_{к(nom.)}$) после контакта с участвующей в теплообмене внутренней поверхностью крышки ($F_{мен.}$), с температурой ($t_{кр}$). С учётом конструкции горелки с тепловым рассекателем полезная площадь теплообмена состоит из площади боковой поверхности конуса и кольцевой поверхности крышки.

Выводы.

4. Разработана конструкция газовой горелки повышенной эффективности, оснащенная тепловым рассекателем конической формы, установленным в центре с внутренней стороны крышки. Установка теплового рассекателя позволяет производить предварительный подогрев газозвдушной смеси в корпусе горелки.

5. Составлен тепловой баланс горелки, оснащенной тепловым рассекателем, учитывающий тепло, поглощённое корпусом газогорелочного устройства с тепловым рассекателем. Тепловой баланс позволяет определить КПД горелки разработанной конструкции.

6. Получено выражение для определения конечной температуры газозвдушного потока после теплообмена с крышкой газовой горелки, оснащенной тепловым рассекателем.

7. Установлено, что место размещения теплового рассекателя в центре с внутренней стороны крышки позволяет минимизировать или полностью исключить образование застойной зоны. Коническая форма рассекателя обеспечивает меньшее сопротивление встречному движению потока, а также за счёт собственной боковой поверхности позволяет увеличить полезную площадь поверхности теплообмена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Статистический сборник. ТЭК России – 2019. Выпуск – июнь 2020 : сайт. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. URL: <https://www.ac.gov.ru/publications/topics/topic/13700> (дата обращения 18.05.2021)
2. Годовой отчет ПАО «Газпром» за 2019 год.: сайт. ПАО «Газпром». URL: <https://www.gazprom.ru/investors/disclosure/report/s/2019/> (дата обращения 18.05.2021)
3. Bantu A.A, Nuwagaba G., Kizza S., Turinayo Y.K. Design of an Improved Cooking Stove Using High Density Heated Rocks and Heat Retaining Techniques // Journal of Renewable Energy. 2018. Pp. 1–9 DOI.org/10.1155/2018/9620103
4. Decker T.J. Modeling tool for household biogas burner flame port design, A TJ Decker -CSU Theses and Dissertations // Colorado State University. Fort Collins, Colorado, 2017. 95 p.
5. Turns S.R. An Introduction to Combustion: Concepts and Applications, 3rd Edition // WBC McGraw-Hill. New York, 2012. 754 p.
6. Le Corre O. and Loubar K. Natural Gas: Physical Properties and Combustion Features // Engineering & Technology, Physical Sciences. 2010. Pp. 39–70
7. Hull S. et al Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality // Published by BP in association with the IGU. Brussels, 2011. 156 p.
8. Jugjai S., Rungsimuntuchart N. High efficiency heat-recirculating domestic gas burners // Experimental Thermal and Fluid Science. 2002. Том. 26. №. 5. Pp. 581–592 DOI:10.1016/S0894-1777(02)00164-4
9. Aroonjarattham P. The Parametric Studied of High Pressure Gas Burner Affect Thermal Efficiency // Engineering journal 2016. Том. 20. № 3. Pp. 33–48 DOI:10.4186/ej.2016.20.3.33
10. Khan M. and Saxena A. Performance Of LPG Cooking Stove Using Different Design Of Burner Heads // International Journal of Engineering Research & Technology. 2013. Том. 2. № 7. Pp. 656–659/
11. Dahiya D., Singh L.R. and Bhatia P. Improvement of the Domestic LPG Cooking Stoves // A Review Indian Journal of Science and Technology. 2016. Том. 9. № S1. Pp. 1–8 DOI: 10.17485/ijst/2016/v9iS1/105856
12. Huda Z. Metallurgy for Physicists and Engineers. Fundamentals, Applications, and Calculations // Engineering & Technology, Physical Sciences. London, 2020. 360 p.
13. Yang Y.T. and Tsai S.Y. Numerical study of transient conjugate heat transfer of a turbulent

impinging jet International // Journal of heat and mass transfer. 2007. Том. 50. № 5–6. Pp. 799–807 DOI.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.08.022

14. Xin Liu, Gabour L.A., Lienhard V.J.H. Stagnation-Point Heat Transfer During Impingement of Laminar Liquid Jets: Analysis Including Surface Tension // Journal of Heat Transfer. 1993. Том. 115. Pp. 99–105 DOI:10.1115/1.2910677

15. Nakoryakov V.E., Pokusaev B.G., Troyan E.N. Impingement of an axisymmetric liquid jet on a barrier // Int. J. Heat Mass Transfer. 1978. Том. 21. № 9. Pp. 1175–1184 DOI.org/10.1016/0017-9310(78)90136-9

16. Тененев В.А., Губерт А.В., Михайлов Ю.О., Корепанов М.А. Исследование процессов в газовых горелках для бытовых плит // Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН «Химическая физика и мезоскопия» Ижевск. 2010. Том: 12. № 1. С. 45–53

17. Suslov D.Y., Ramazanov R.S., Temnikov D.O., Lobanov I.V. 2019 Development and research of low pressure injection burner for biogas combustion. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2019 (Belgorod: Institute of Physics Publishing) Том. 552. Pp. 012031 DOI.org/10.1088/1757-899x/552/1/012031

18. Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С. Моделирование сжигания биогаза в инжекционной горелке с тепловым рассекателем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020 № 4. С. 40-47 DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-40-47

19. Yunus A. Heat transfer. A Practical Approach. Second Edition // WBC McGraw-Hill. New York, 1998. 1006 p.

20. John H., Lienhard I.V., John H., Lienhard V. A heat transfer textbook, 5th edition // Phlogiston Press. Cambridge, 2019. 784 p.

21. Kelleher M.D. et al Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics // Elsevier. Amsterdam, 1993. 1864 p.

22. Viskanta R. Heat Transfer to Impinging Isothermal Gas and Flame Jets // Experimental Thermal and Fluid Science. 1993. Vol. 6. № 2. Pp. 111–134. DOI.org/10.1016/0894-1777(93)90022-B

23. Kuznetsov V.A., Trubaev P.A. Convective heat transfer in the near-wall turbulent gas stratum // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2019 (Belgorod: Institute of Physics Publishing). Том. 552. Pp. 012005 DOI:10.1088/1757-899X/552/1/012005

24. Geers L.F.G., Tummers M.J., Bueninck T.J. and Hanjalic K. Heat transfer correlation for hexagonal and in-line arrays of impinging jets // International journal of heat and mass transfer. 2008. Том. 51. № 21–22. Pp. 5389–5399 DOI.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.01.035

25. Gardiner W.C.Jr. (Ed.) Gas-Phase Combustion Chemistry 2nd Edition // Springer. Dordrecht, 1999. 539 p.

26. Raju K.S.N. Fluid mechanics, heat transfer, and mass transfer // Chemical engineering practice. John Wiley & Sons Limited. New York, 2011. 750 p.

27. Penumadu P.S., Rao A.G. Numerical investigations of heat transfer and pressure drop characteristics in multiple jet impingement system // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 110. Pp. 1511–1524. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2016.09.057

Информация об авторах

Рамазанов Рафшан Салманович, ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: boss.rafshan@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Суслов Денис Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: suslov1687@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кушев Леонид Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Семиненко Артём Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: seminenko.as@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уваров Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 15.05.2021 г.

© Рамазанов Р.С., Суслов Д.Ю., Кущев Л.А., Семиненко А.С., Уваров В.А., 2021

***Ramazanov R.S., Suslov D.Y., Kushchev L.A., Seminenko A.S., Uvarov V.A.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: boss.rafshan@mail.ru*

THEORETICAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF HEATING THE GAS-AIR MIXTURE IN THE BODY OF THE BURNER WITH A THERMAL DIVIDER

Abstract. *The main thermal processes occurring during the operation of a household gas burner device are considered. The preparation of fuel for subsequent combustion is one of the important functions performed by the gas burner device. The temperature of the gas-air mixture directly affects the efficiency and quality of the combustion process. Since an increase in the temperature of the mixture contributes to the intensification of the combustion process, when designing gas burner devices, it is useful to determine the temperature of the gas-air mixture inside the burner body. Authors proposed the solution that makes it possible to increase the efficiency of the gas burner device by intensifying the preheating from the thermal divider to the gas-air mixture inside the body of the gas burner. It is established that the placement of the thermal divider in the central part on the inner side of the cover allows to reduce the stagnant zone area when the flow of the gas-air mixture moves, and the conical shape of the thermal divider provides minimal resistance to the movement of the gas-air mixture flow inside the gas burner. In addition, the side surface of the thermal divider increases the area heat transfer. An expression is obtained for calculating the average temperature of the gas-air mixture at the outlet from the firing holes of the gas burner.*

Keywords: *preheating, gas-air mixture, thermal divider, heat exchange, combustion, gas burner.*

REFERENCES

1. Statistical compilation. FEK of Russia – 2019. Analytical center under the government of the Russian Federation [Statisticheskij sbornik. TEK Rossii – 2019. Analiticheskij centr pri Pravitel'stve Rossijskoj Federacii]. URL: <https://www.ac.gov.ru/publications/topics/topic/13700> (date of treatment: 18.05.2021) (rus)
2. Gazprom public joint stock company annual report for 2019 [Godovoj otchet PAO «Gazprom» za 2019 g.]. URL: <https://www.gazprom.ru/investors/disclosure/reports/2019/> (date of treatment: 18.05.2021) (rus)
3. Bantu A.A., Nuwagaba G., Kizza S., Turinayo Y.K. Design of an Improved Cooking Stove Using High Density Heated Rocks and Heat Retaining Techniques. *Journal of Renewable Energy*. 2018. Pp. 1–9. DOI.org/10.1155/2018/9620103
4. Decker T.J. Modeling tool for household biogas burner flame port design, A TJ Decker-CSU Theses and Dissertations. Colorado State University. Fort Collins, Colorado, 2017. 95 p.
5. Turns S.R. *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*, 3rd Edition. WBC McGraw-Hill. New York, 2012. 754 p.
6. Le Corre O., Loubar K. *Natural Gas: Physical Properties and Combustion Features*. Engineering & Technology, Physical Sciences. 2010. Pp. 39–70
7. Hull S. et al *Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality*. Published by BP in association with the IGU. Brussels. 2011. 156 p.
8. Jugjai S., Rungsimuntuchart N. High efficiency heat-recirculating domestic gas burners *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2002. Vol. 26. No. 5. Pp. 581–592 DOI:10.1016/S0894-1777(02)00164-4
9. Aroonjarattham P. The Parametric Studied of High Pressure Gas Burner Affect Thermal Efficiency *Engineering journal*. 2016. Vol. 20. No. 3. Pp. 33-48 DOI:10.4186/ej.2016.20.3.33
10. Khan M., Saxena A. Performance Of LPG Cooking Stove Using Different Design Of Burner Heads *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2013. Vol. 2. No. 7. Pp. 656–659.
11. Dahiya D., Singh L.R., Bhatia P. Improvement of the Domestic LPG Cooking Stoves: A Review. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9. No. S1. Pp. 1–8. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9iS1/105856
12. Huda Z. *Metallurgy for Physicists and Engineers. Fundamentals, Applications, and Calculations*. Engineering & Technology, Physical Sciences. London, 2020. 360 p.
13. Yang Y.T., Tsai S.Y. Numerical study of transient conjugate heat transfer of a turbulent impinging jet. *International journal of heat and mass transfer*. 2007. Vol. 50. No. 5-6. Pp. 799–807 DOI.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.08.022
14. Xin Liu, Gabour L.A., Lienhard V.J.H. Stagnation-Point Heat Transfer During Impingement of Laminar Liquid Jets. *Analysis Including Surface Tension J. Heat Transfer*. 1993. Vol. 115. Pp. 99-105

DOI:10.1115/1.2910677

15. Nakoryakov V.E., Pokusaev B.G., Troyan E.N. Impingement of an axisymmetric liquid jet on a barrier. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 1978. Vol. 21. No. 9. Pp. 1175–1184 DOI.org/10.1016/0017-9310(78)90136-9

16. Tenenev V.A., Gubert A.V., Mihajlov Yu.O., Korepanov M.A. Research of processes in gas burners for household stoves [Issledovanie processov v gazovyh gorelках dlya bytovyh plit] Udmurtskij federal'nyj issledovatel'skij centr UrO RAN «Himicheskaya fizika i mezoskopija» Izhevsk. 2010. Vol. 12. No. 1. Pp. 45–53 (rus)

17. Suslov D.Y., Ramazanov R.S., Temnikov D.O., Lobanov I.V. Development and research of low pressure injection burner for biogas combustion. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 2019 (Belgorod: Institute of Physics Publishing) Vol. 552. Pp. 012031 DOI.org/10.1088/1757-899x/552/1/012031

18. Suslov D.Y., Ramazanov R.S. Simulation of biogas combustion in an injection burner with a heat divider [Modelirovanie szhiganiya biogaza v inzhekcionnoj gorelke s teplovym rassekatelem] *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 4. Pp. 40–47 DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-40-47 (rus)

19. Yunus A. Heat transfer. A Practical Approach. Second Edition. WBC McGraw-Hill. New York, 1998. 1006 p.

20. John H., Lienhard I.V., John H., Lienhard V. A heat transfer textbook, 5th edition. Phlogiston Press. Cambridge, 2019. 784 p.

Information about the authors

Ramazanov, Rafshan S. Postgraduate student. E-mail: boss.rafshan@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Suslov, Denis Y. PhD. E-mail: suslov1687@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kushchev, Leonid A. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Semenenko, Artyom S. PhD. E-mail: seminenko.as@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uvarov, Valerij A. DSc, Professor Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 15.05.2021

Для цитирования:

Рамазанов Р.С., Суслов Д.Ю., Кушев Л.А., Семенов А.С., Уваров В.А. Теоретическое описание процесса подогрева газозооной смеси в корпусе горелки с тепловым рассекателем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 8. С. 26–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-8-26-34

For citation:

Ramazanov R.S., Suslov D.Y., Kushchev L.A., Semenenko A.S., Uvarov V.A. Theoretical description of the process of heating the gas-air mixture in the body of the burner with a thermal divider. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2021. No. 8. Pp. 26–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-8-26-34