

Научная статья  
УДК 697.2  
doi: 10.28983/asj.y2023i1pp161-165

### Влияние конструкции газовой горелки на теплообмен в топках малой мощности

**Анатолий Сергеевич Чуленев**

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

e-mail: roverton@mail.ru

**Аннотация.** Экспериментальное исследование показало, что влияние этих факторов взаимно уравнивается и теплообмен в камере сгорания сколько-нибудь существенно не изменяется. Удалось установить, что характер тепловосприятия отдельных элементов камеры сгорания существенно не изменился по сравнению с опытами при кинетическом сжигании топлива и распределенном вводе. Увеличение теплосъема можно получить не более 5–7 % при коэффициенте избытка воздуха до 1,5. Установлено, что использованием инфракрасной горелки обеспечивает интенсификацию процессов теплообмена в топке на 5–9 % только при работе на газе с коэффициентом избытка воздуха до 1,25. Установлено, что максимальная возможная (при соблюдении условий работы топки) интенсификация теплообмена в исследованном диапазоне геометрических и режимных параметров работы топки составляет до 15 %. Существенно турбулизовать и радикально изменить аэродинамику в топочном объеме позволяет реверсивная схема развития факела и движения продуктов сгорания.

**Ключевые слова:** теплообмен; теплогенератор малой мощности; топочная камера; эффективность; котел; камера сгорания; теплопередача.

**Для цитирования:** Чуленев А. С. Влияние конструкции газовой горелки на теплообмен в топках малой мощности // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 161–165. <http://10.28983/asj.y2023i1pp161-165>.

### AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

### Influence of gas burner design on heat transfer in low-power furnaces

**Anatoly S. Chulenyov**

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

e-mail: roverton@mail.ru

**Abstract.** An experimental study showed that the influence of these factors is mutually equalized and the heat transfer in the combustion chamber does not change significantly. It was possible to establish that the nature of the heat absorption of individual elements of the combustion chamber did not change significantly in comparison with experiments with kinetic fuel combustion and distributed injection. An increase in heat removal can be obtained by no more than 5–7 % with an excess air coefficient of up to 1.5. It has been established that the use of an infrared burner provides an intensification of heat transfer processes in the furnace by 5–9 % only when operating on gas with an excess air coefficient of up to 1.25. It has been established that the maximum possible (subject to the operating conditions of the furnace) intensification of heat transfer in the studied range of geometric and operating parameters of the furnace is up to 15 %. Significantly turbulize and radically change the aerodynamics in the furnace volume allows the reverse scheme of the development of the torch and the movement of combustion products.

**Keywords:** heat exchange; low power heat generator; combustion chamber; efficiency; boiler; combustion chamber; heat transfer.

**For citation:** Chulenyov A. S. Influence of gas burner design on heat transfer in low-power furnaces // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(1):161–165. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i1pp161-165>.

**Введение.** Современная роль малых населенных пунктов в социально-экономической структуре страны обусловлена специфическими особенностями производственной и аграрной деятельности населения и социально-экономическим развитием. Существенно возрастающие темпы строительства малоквартирных, малоэтажных усадебных зданий определяют опережающее развитие децентрализованных систем теплоснабжения, которые рассматриваются уже не как временное решение, а как определяющее направление развития инженерной инфраструктуры усадебной застройки.

Значительные объемы импорта и интенсивное развитие отечественного производства источников теплоты для теплоснабжения индивидуальной застройки, в особенности на газообразном топливе, требует углубленного исследования теплофизических процессов горения и теплопереноса в этих аппаратах с целью анализа возможных путей их интенсификации и энергоснабжения.





Наиболее ответственным при разработке теплогенераторов малой мощности является организация и разработка топочных устройств. Это обусловлено как наличием в них процессов горения, так и тем, что их геометрические размеры и режимы работы недостаточно изучены и выходят за пределы проведенных исследований и разработанных инженерных методик расчета [1–3].

**Методика исследований.** Анализируя возможные пути интенсификации процессов теплообмена в топках, следует учесть ряд особенностей их работы в поквартирных (или домовых) системах теплоснабжения:

топки простейших геометрических форм с высокой степенью экранирования (часто цилиндрические);

относительная простота и доступность эксплуатации жильцами (малоквалифицированным персоналом), высокая степень автоматизации процессов;

небольшие габаритные размеры топок, но при этом весьма существенные тепловые напряжения топочного объема в диапазоне  $0,75\text{--}2,0 \cdot 10^3$  кВт/м<sup>3</sup> (геометрический фактор), при работе на газообразном топливе;

весьма жесткие ограничения к газовым горелкам по вредным выбросам, потери теплоты от химической неполноты горения не более 0,1 %;

неприемлемость горелочных устройств, работа которых сопровождается шумовыми эффектами и др.;

Также жесткие требования к работе газогорелочных устройств и топочных камер значительно уменьшают возможности интенсификации теплообмена, так недопустимо использование высокоскоростных струй [4, 5], вихревых устройств, закручивающих факел и других устройств, форсирующих кинетические характеристики потока продуктов сгорания, сопровождающиеся при горении шумовыми эффектами.

Это связано еще и с тем, что для обеспечения полноты сгорания топлива в полностью экранированной охлаждаемой топке, необходимо зону протекания реакции горения топлива ограничить как можно меньшими объемами.

Учитывая приведенные соображения, на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» НИУ МГСУ был проведен комплекс экспериментальных исследований теплообмена в камерах сгорания малого объема при различных способах приготовления, ввода и сжигания газозоодушных смесей. Исследование влияния на интенсивность теплообмена геометрических и режимных параметров работы топки проводилось на промышленных и опытных образцах автономных теплогенераторов и моделях топочной камеры, выполненных в реальном масштабе. Экспериментальная установка представляет собой калориметрируемую секционную цилиндрическую камеру сгорания, состоящую из цилиндрических калориметров внутренним диаметром  $d_k = 0,24$  м, при относительной длине секции кратной  $l/d_k = 0,33$ .

Под камерой сгорания устанавливались различные горелочные устройства, обеспечивающие кинетическое и диффузионно-кинетическое сжигание газообразного топлива [6–8]. При кинетическом сжигании подача топливо-воздушной смеси осуществлялась с равномерным по сечению полем скоростей и локализовано с относительным диаметром горелки  $d_r/d_k = 0,75\text{--}0,42$ .

Модель камеры собиралась из калориметров до общей длины  $l_k = 2,33d_k = 0,56$  м при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,05\text{--}2,0$ , при видимом тепловом напряжении топочного объема  $0,76\text{--}1,75 \cdot 10^3$  кВт/м<sup>3</sup>, что соответствовало диапазону изменения приведенного значения критерия Рейнольдса отнесенного к поверхности топки  $Re_n = 60\text{--}400$ .

Кроме перечисленных способов, исследовалась также возможность интенсификации теплообмена путем сжигания топлива [9–12] в излучающей насадке.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить видимое тепловое напряжение поверхностей нагрева в пределах секции: зональное  $l/d_k = 0,24$  и усредненное для всей камеры сгорания, для указанных ранее условий работы модели топки.

**Результаты исследований.** Полученные данные позволяют тепловосприятости отдельных секций камеры сгорания соответствовать характеру тепловосприятости в более форсированных камерах сгорания. Так, максимум тепловосприятости приходится на зону касания струи о стенку камеры сгорания. Однако интенсифицировать теплообмен во всей камере сгорания при заданных режимах работы удается на 10–15 % лишь при уменьшении диаметра до  $d_r/d_k = 0,75$ , при дальнейшем уменьшении диаметра горелки тепловосприятость камеры сгорания уменьшается и при  $d_r/d_k < 0,4$  становится



меньше, чем при распределенном по сечению вводе топлива [13–15]. Это объясняется тем, что возникающие рециркуляционные зоны при малых форсировках топочного объема переохлаждаются стенками топочной камеры, не получая достаточного количества энергии от реагирующей высокотемпературной струи горящей топливо-воздушной смеси (рис. 1).

Близкое по характеру изменение зональных тепловых потоков получено в результате эксперимента при сжигании твердого топлива (рис. 2).

Однако, динамика выгорания горючей массы твердого топлива на различных стадиях горения (рис. 3) оказывает существенное влияние на закономерности распределения зональных удельных тепловых потоков по длине топки.

Для оценки неравномерности тепловосприятия по длине топки за все время эксперимента зональные тепловые потоки усреднялись по времени, а затем по всей поверхности нагрева в топке (рис. 4).

На основании комплекса экспериментов изучено влияние на теплоперенос в топке и получены частные зависимости числа интегрального теплопереноса от режимных параметров работы топки (характеризующихся значениями критерия Рейнольдса, коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ ) и геометрических факторов  $l/d_k$ .

Здесь важно отметить, что на промышленных образцах автономных теплогенераторов преимущественно устанавливаются надувные не вихревые (прямоточные) кинетические газовые горелки полного предварительного смешения (так называемые премиксные горелки) имеющие в зависимости от мощности диаметр эмиссионной трубы (выхода топливо-воздушной смеси) в диапазоне относительных значений  $d_r/d_k - 0,18-0,35$  [16]. Однако, в большинстве горелок в эмиссионной трубе на выходе устанавливается так называемая «подпорная шайба», увеличивающая угол раскрытия не изотермического факела в топке до 20–23 угловых градусов.

Применение горелок атмосферного типа с неполным предварительным смешением топлива с воздухом (в опытах  $\alpha = 0,61 - 0,71$ ) приводит к образованию более светящегося пламени, чем

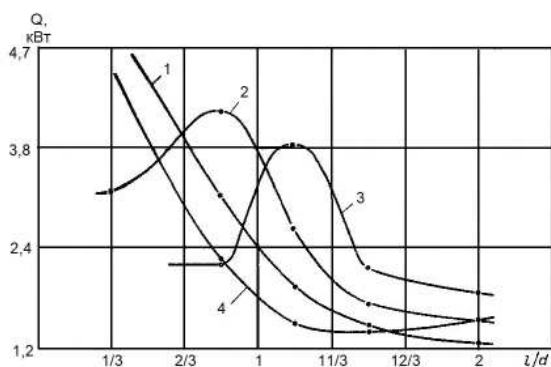


Рис. 1. Тепловая нагрузка секций камеры сгорания в зависимости от  $l/d_k$  и относительного размера горелки  $d/d_k$ .

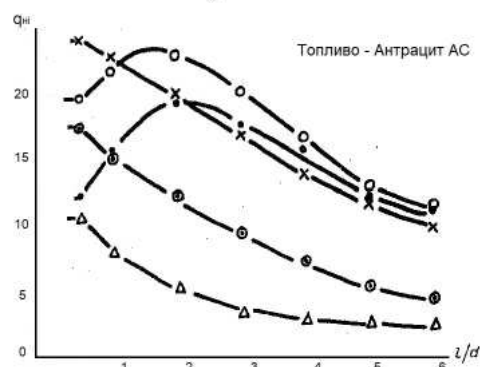


Рис. 2. Зональные тепловые потоки, усредненные в пределах секции топки  $l/d_k$  на различных стадиях горения

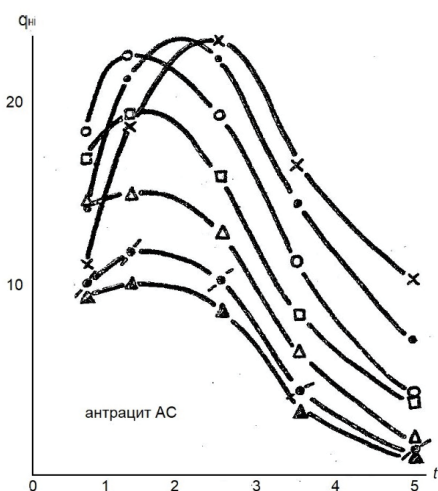


Рис. 3. Изменения зональных тепловых потоков для секций топочной камеры в зависимости от секции

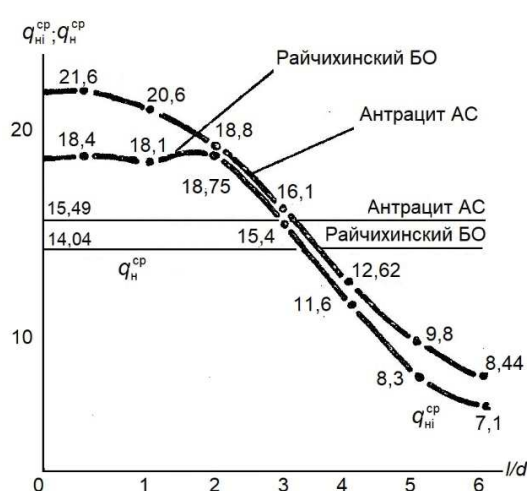


Рис. 4. Средние за время топливного цикла тепловые напряжения поверхностей нагрева отдельных секций и суммарной поверхности нагрева.



при кинетическом горении, однако повод холодного вторичного воздуха вызывает расслоение на начальном участке продуктов сгорания на зоны с разной температурой [17–19].

Экспериментальное исследование показало, что влияние этих факторов взаимно уравнивается и теплообмен в камере сгорания сколько-нибудь существенно не изменяется.

Большой интерес представляло исследование теплообмена в топочной камере при сжигании топлива в излучающем слое. Этот слой был выполнен в виде керамической засыпки толщиной 20 мм, под которую с равномерным полем скоростей подавалась топливо-воздушная смесь [20].

Удалось установить, что характер тепловосприятости отдельных элементов камеры сгорания существенно не изменился по сравнению с опытами при кинетическом сжигании топлива и распределенном вводе. Увеличение теплосъема можно получить не более 5–7 % при коэффициенте избытка воздуха до 1,5.

**Заключение.** Приведенные эксперименты показывают, что эффективность использования топлива в автономных теплогенераторах достигается рациональной организацией процессов горения в обоснованных диапазонах изменения режимных параметров работы топочных устройств и реализацией всего объема возможных приемов интенсификации теплообмена.

Установлено, что использованием инфракрасной горелки обеспечивает интенсификацию процессов теплообмена в топке на 5–9 % только при работе на газе с коэффициентом избытка воздуха до 1,25.

Локализация ввода топливо-воздушной смеси «премиксных» горелок вызывает существенное перераспределение зональных тепловых потоков по длине топки, что обусловлено образованием зон рециркуляции на входе в топку и дополнительной турбулизацией газового потока в зоне касания стенки топки.

Установлено, что максимальная возможная (при соблюдении условий работы топки) интенсификация теплообмена в исследованном диапазоне геометрических и режимных параметров работы топки составляет до 15 %. Существенно турбулизировать и радикально изменить аэродинамику в топочном объеме позволяет реверсивная схема развития факела и движения продуктов сгорания. Такая схема, несмотря на некоторое увеличение гидравлического сопротивления топки, позволяет осуществить необходимые объемы рециркуляции продуктов сгорания в корень факела, к выходу из эмиссионной трубы горелки, обеспечив требования по полноте сгорания природного газа. Важно отметить, также что при этом видимое тепловое напряжение топочного объема не должно превышать 2 МВт/м<sup>3</sup>.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаванов П.А. Источники теплоты автономных систем теплоснабжения. М., 2014. 208 с. (rus.)
2. Kalchevsky S. Renewable energy sources, waste energy in industry. Sofia, 2012.
3. Ferreira D. O., Cardoso M. Gas flow analysis in a Kraft recovery boiler // Fuel the Processing Technology. 2010. Iss. 7. P. 789-798. DOI:10.1016/j.fuproc.2010.02.015.
4. Caudal J., Fiorina B., Labegorre O., Gicquel O.. Modeling interactions between chemistry and turbulence for simulations of partial oxidation processes // Fuel the Processing Technology. 2015. P. 231–242. DOI:10.1016/j.fuproc.2015.01.040.
5. Брюханов О.Н., Шевченко С.Н. Тепломассообмен. М., 2014. 464 с. (rus.)
6. Akimov L.M., Vinogradov P., Akimov E.I. Analysis of the influence of the functional planning structure of the city on air pollution contamination // Environmental assessment and mapping urban atmospheric condition. Voronezh, 2014. P. 55–65.
7. Делягин Г.Н., Лебедев В.И., Пермяков Б.А., Хаванов П.А. Теплогенерирующие установки: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2010. 624 с. (rus.)
8. Леманов В. В., Терехов В. И. Особенности теплообмена в лобовой точке импактной осесимметричной струи при малых числах Рейнольдса // ТВТ. 2016. Т. 54. № 3. С. 482–484. (rus.)
9. Khavanov P., Chulenyov A.. Flue gas removal systems are a key issue in the application of condensing boilers // Journal of Physics: Conference Series. Сер. «International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021» 2021. С. 012057.
10. Khavanov P. Autonomous active solar energy systems for heat supply in housing and communal services // Light & Engineering. 2021. Т. 29. № 5–1. С. 51–55.
11. Kemp William H.. The Renewable Energy Handbook. Guide to Rural Independence, Off-Grid and Sustainable Living // New Society Publishers, 2005.
12. Novak Stefan. Photovoltaic in the World. Status and Future Trends. Chairman IEA PVPS. Seminar in PV Research & Technological Development in European Union New Member and Candidate States. Warsaw, Poland 15 Nov. 2004.

13. Khavanov P.A., Chulenyov A.S. Calculation of Heat Transfer in Condensing Boilers // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). INSPEC. 2019. Accession Number: 19229167.

14. Nazari M. H., Shi X. A comparison between the effects of different deicers on external corrosion of buried pipes. 2021.

15. Ko J., Park J., Jeong J. W. Energy saving potential of a model-predicted frost prevention method for energy recovery ventilators // Applied Thermal Engineering. 2021. T. 185. C. 116450.

16. Shigapov A.B. Proceedings of the higher educational institutions Energy Problems. 2014. 1–2. P 27–36.

17. Харламова Н.А. Коммунальная энергетика – состояние, проблемы и перспективы // Аграрный научный журнал. 2019. № 11.

18. Zervos A., Lius Ch., Schrafer O., Tomorrow's World, Renewable Energy World. 2004. Vol. 7. No 4.

19. Николаев В.Г. Перспективы развития возобновляемых источников энергии в России. Результаты проекта Tacis Europe AID/116951/C/SV/RU/. М., 2009. 455 с.

20. Дьяков А.Ф. Малая Энергетика России: проблемы и перспективы // Энергопрогресс: энергетика, 2003.

#### REFERENCES

1. Havanov P.A. Sources of heat of autonomous heat supply systems. Moscow, 2014. 208 p.
2. Kalchevsky S. Renewable energy sources, waste energy in industry. Sofia, 2012.
3. Ferreira D. O., Cardoso M. Gas flow analysis in a Kraft recovery boiler. *Fuel the Processing Technology*. 2010; 7: 789–798. DOI:10.1016/j.fuproc.2010.02.015.
4. Caudal J., Fiorina B., Labegorre O., Gicquel O. Modeling interactions between chemistry and turbulence for simulations of partial oxidation processes. *Fuel the Processing Technology*. 2015: 231-242. DOI:10.1016/j.fuproc.2015.01.040.
5. Bryukhanov O.N., Shevchenko S.N. Thermal power. Moscow, 2014. 464 p.
6. Akimov L.M., Vinogradov P., Akimov E.L. Analysis of the influence of the functional planning structure of the city on air pollution contamination. *Environmental assessment and mapping urban atmospheric condition*. Voronezh, 2014: 55–65.
7. Delyagin G.N., Lebedev V.I., Permyakov B.A., Khavanov P.A. Heat-generating attitudes: a textbook for universities. 2nd ed., Processed and supplemented. Moscow, 2010. 624 p.
8. Lemanov V.V., Terekhov V.I. Features of heat transfer at the frontal point of the impact -impactive stream in the small numbers of Reynolds. *TVT*. 2016; 54; 3: 482–484.
9. Khavanov P., Chulenyov A.. Flue gas removal systems are a key issue in the application of condensing boilers. *Journal of Physics: Conference Series*. Сер. «International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021». 2021: 012057.
10. Khavanov P.A. Autonomous active solar energy systems for heat supply in housing and communal services. *Light & Engineering*. 2021; 29; 5–1: 51–55.
11. Kemp William H.. The Renewable Energy Handbook. Guide to Rural Independence, Off-Grid and Sustainable Living. *New Society Publishers*. 2005.
12. Novak Stefan. Photovoltaic in the World. Status and Future Trends. Chairman IEA PVPS. Seminar in PV Research & Technological Development in European Union New Member and Candidate States. Warsaw, Poland 15 Nov. 2004.
13. Khavanov P.A., Chulenyov A.S. Calculation of Heat Transfer in Condensing Boilers. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. INSPEC. 2019: 19229167.
14. Nazari M. H., Shi X. A comparison between the effects of different deicers on external corrosion of buried pipes. 2021.
15. Ko J., Park J., Jeong J. W. Energy saving potential of a model-predicted frost prevention method for energy recovery ventilators. *Applied Thermal Engineering*. 2021; 185: 116450.
16. Shigapov A.B. 2014 Proceedings of the higher educational institutions Energy Problems. 1–2: 27–36
17. Kharlamova N.A. Communal energy - state, problems and prospects. *The agrarian scientific journal*. 2019; 11.
18. Zervos A., Lius Ch., Schrafer O. Tomorrow's World, Renewable Energy World. 2004; 7; 4.
19. Nikolaev V.G. Prospects for the development of renewable energy sources in Russia. Results of the project Tacis Europe AID/116951/C/SV/RU/. Moscow, 2009. 455 p.
20. Dyakov A.F. Small power industry of Russia: problems and prospects. Moscow, 2003.

Статья поступила в редакцию 11.06.2022; одобрена после рецензирования 15.07.2022; принята к публикации 25.07.2022.

The article was submitted 11.06.2022; approved after reviewing 15.07.2022; accepted for publication 25.07.2022.

