

УДК 621.18.01

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ТОПКИ  
ГАЗОТРУБНОГО КОТЛА НА ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ****Батраков П.А., Михайлов А.Г.***ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», Омск,  
e-mail: peter\_1cool@mail.ru*

В конструктивных элементах газотрубных котлов теплоперенос осуществляется преимущественно конвекцией и излучением. За счет интенсификации теплообмена можно значительно повысить энергоэффективность данных агрегатов, а также уменьшить их массогабаритные характеристики. Изменение профиля топки – одна из разновидностей пассивного метода увеличения теплопереноса. В статье представлены результаты численного анализа процессов теплопереноса и течения реагирующих газов в топках различных форм сечений газотрубных котлов. Расчеты выполнены с использованием программного комплекса ANSYS CFX. Представлены графические результаты исследования в виде переменных, характеризующих тепловую эффективность работы топки и котла в целом. Для выработки рекомендаций по выбору рациональной области максимальных значений теплотехнических характеристик работы газотрубного котла с топками различного профиля приведены значения температур, тепловых потоков, интенсивность тепловосприятия топки.

**Ключевые слова:** газотрубный котел, топка, интенсификация, тепловосприятие**NUMERICAL INVESTIGATION OF SHAPE OF THE FURNACE-TUBE BOILERS  
FOR THERMAL PROPERTIES****Batrakov P.A., Mihaylov A.G.***Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: peter\_1cool@mail.ru*

The heat transfer is mainly by convection and radiation in the structural elements of the fire-tube boilers. It can significantly improve the energy efficiency of these units and to reduce their weight and size due to the intensification of heat exchange. Changing profile of the furnace has a passive kind of method to increase the heat transfer. Numerical analysis of heat transfer processes and the flow of reacting gases in the furnaces fire-tube boilers of different profiles are presented in the article. The analysis is performed using the software package ANSYS CFX. The calculations were carried out using ANSYS CFX. Graphic results of the study are presented as variables characterizing the thermal efficiency of the furnace and the boiler as a whole. It shows the values of temperature, heat flow, heat absorption rate of the furnace to make recommendations on the choice of rational maximum thermal efficiency for the fire-tube boiler furnaces in various profiles.

**Keywords:** fire-tube boiler, furnace, intensification, heat absorption

В элементах жаротрубных и дымогарных котлов имеет место теплоперенос конвекцией и излучением. С использованием интенсификации теплообмена повышается энергоэффективность данных котлоагрегатов и уменьшаются их массогабаритные характеристики [1].

На данный момент известно достаточно много методов интенсификации конвективного теплообмена. В основном их подразделяют на пассивные и активные. Основное их отличие в том, что первые не требуют прямых затрат энергии. Эффективность этих методов сильно зависит от характера теплообмена.

Иногда применяются несколько методов одновременно, и это называется комбинированной интенсификацией, что является наиболее эффективным.

Для интенсификации теплообмена в газотрубных котлах чаще всего используют пассивный метод, то есть применяют малые диафрагмы и выступы в трубах, «ломаные» ленты, внутреннее оребрение, спиральные и кольцевые накатки, пружинные

проволочные вставки или закручивающие лопасти, скрученные ленты. Основная цель их установки – разрушение пограничного слоя, повышение площади теплообмена и максимально возможная турбулизация потока. Результат – повышение КПД котла, достигаемое путем интенсификации теплообмена [2].

В настоящее время в промышленных и бытовых газотрубных котлах предусматривается обязательное использование интенсификаторов теплообмена (турбулизаторов потока). При применении турбулизаторов отпадает необходимость установки дополнительных развитых поверхностей в виде экономайзера или воздушного подогревателя [2].

В основном реконструкции подвергаются конвективные пучки труб, а интенсификация процессов теплопереноса в топке редко встречается и мало изучена, хотя большая часть теплоты выделяется именно в топке, которая занимает значительный объем котла. Следовательно, интенсификация теплообмена в топке может улучшить

энергоэффективность, экологические характеристики и массогабаритные показатели котла. При этом следует учесть, что применение развитых поверхностей является одним из основных направлений интенсификации не только конвективного, но и лучистого теплообмена. В обоих случаях суммарное количество теплоты, поглощаемое или отдаваемое поверхностью, пропорционально эффективной площади поверхности теплообмена. Но в условиях лучистого теплообмена, в отличие от конвективного действуют другие физические процессы теплопереноса, подходы к конструированию и методам расчета развитых поверхностей теплообмена различны [3].

### Результаты исследования и их обсуждение

На основании выше изложенного можно утверждать о необходимости исследования тепловых процессов в топке с некруглым

поперечным сечением. Для чего необходимо выполнить сравнительный анализ эффективности топки некруглых профилей с топкой с поперечным круглым сечением.

В качестве величин, характеризующих тепловую эффективность топки газотрубного котла, выбраны значения средней и максимальной температуры газовой смеси в топке и на выходе из неё, количество выделившейся теплоты в результате реакций, интенсивность тепловосприятия топки. Результаты решения получены с помощью моделирование процессов теплопереноса при горении газообразного топлива в топочном объеме [1, 4], реализованных в ANSYS CFX. Для исследований в расчетах использовались топки различных профилей: прямоугольная форма; квадратная форма; эллипс горизонтальный; эллипс вертикальный. На рис. 1 в изометрии изображено распределение температур.

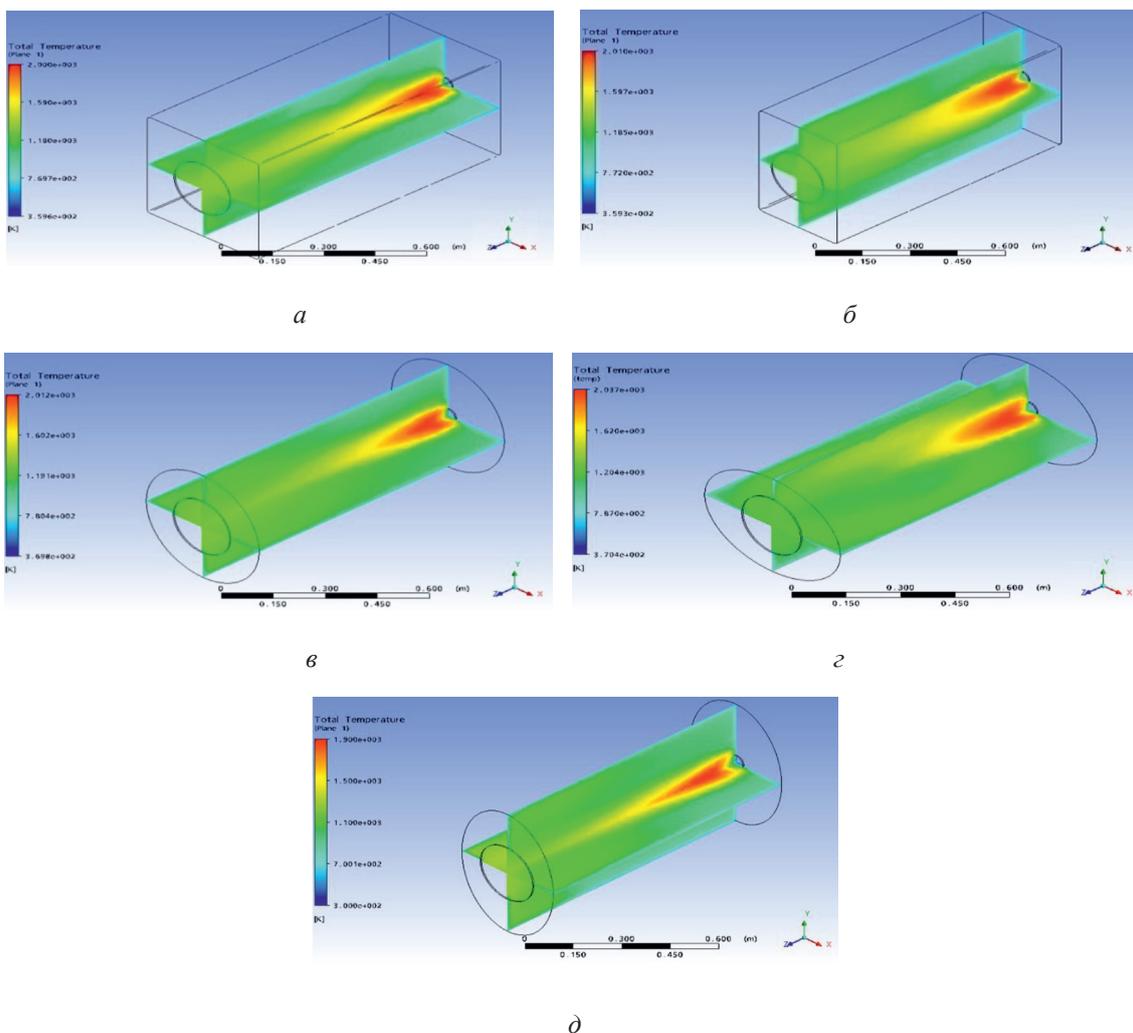


Рис. 1. Распределение температур в топке при различных формах её профиля: а – прямоугольная; б – квадратная; в – круглая; г – эллипс горизонтальный; д – эллипс вертикальный

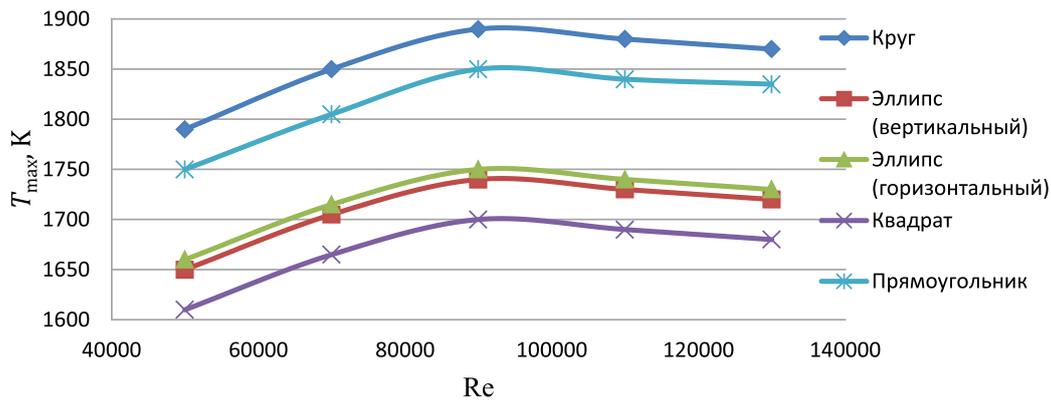


Рис. 2. Распределение максимальных температур газовой смеси в топке при различных формах профиля и числах  $Re$

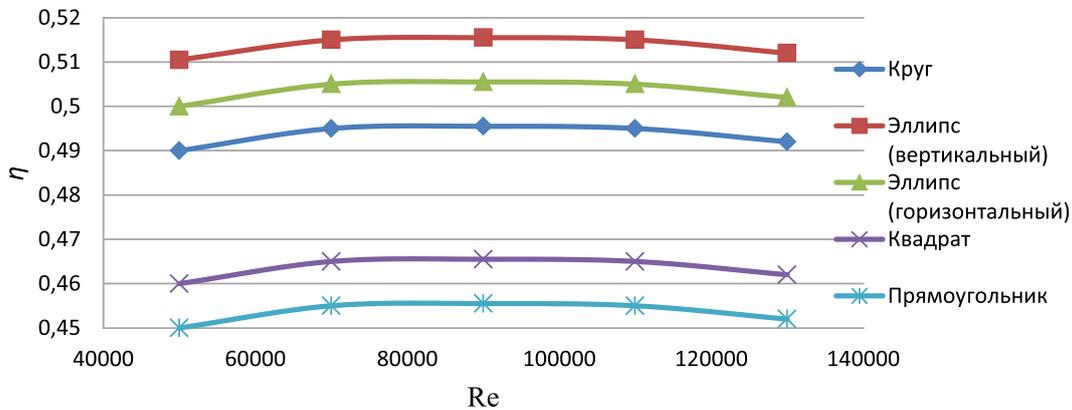


Рис. 3. Распределение значений  $\eta$  при различных формах профиля от числа  $Re$

Горение газа сопровождается температурными возмущениями и конвективными явлениями [5, 6]. Область горения совпадает с размерами факела, границей которого является изотерма с максимальной температурой. Внутри топочного пространства процесс горения определяется временем химических процессов.

На рисунках видно как, формируется факел по длине топки, а также как распределяется поле температур. С учетом рис. 1 возможно проанализировать и определить нахождение максимальных температур, а также распределение средних температур по длине топки. В идеале факел должен занимать весь топочный объем и не касаться стенок. Наиболее упорядоченное движение газовой смеси соответствует топке с профилем вертикальный эллипс, что способствует формированию зоны максимальных температур, относительно равномерно распределенной вдоль оси.

Таким образом, можно утверждать, что изменение формы профиля топки ведет к изменению расположения в объеме сред-

них и максимальных температур. То есть можно говорить, что изменение формы профиля топки ведет к изменению теплообменного процесса внутри топки.

Для всего исследуемого диапазона чисел Рейнольдса наблюдается плавный рост максимальных температур газового объема (рис. 2) вследствие хорошего перемешивания реагирующих газов, затем плавное понижение максимальных температур из-за неполноты сгорания. Область максимальных значений данных параметров соответствует области  $Re \approx 80000 \div 120000$ .

Интенсивность тепловосприятия топки  $\eta$  определяется формулой [1, 7]

$$\eta = \frac{Q_{ст}}{Q_{расч}}, \quad (1)$$

где  $Q_{ст}$  – теплота, переданная в стенку для нагревания теплоносителя.

$$Q_{ст} = Q_C + Q_{R_s} \quad (2)$$

где  $Q_C$  – теплота, переданная конвективным теплообменом в стенку;

$Q_R$  – теплота, переданная излучением;

$Q_{\text{расч}}$  – количество теплоты, выделенной при сгорании топлива (определяется из теплового баланса топки):

$$Q_{\text{расч}} + Q_{\text{вх}} - Q_{\text{ст}} - Q_{\text{вых}} = 0, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{вх}}$  – физическая теплота, внесенная в топку с поступающими топливом и воздухом;

$Q_{\text{вых}}$  – теплота, покидающая топку с уходящими газами.

$Q_{\text{вх}}$ ,  $Q_{\text{вых}}$  рассчитываются через энтальпии, объемы газообразных продуктов и средние теплоемкости.

Характер изменения кривых на графике  $\eta = f(\text{Re})$  (рис. 3) соответствует характеру изменения кривых на графике  $T_{\text{max}} = f(\text{Re})$  (рис. 2), то есть температура факела в топке газотрубного котла является определяющей энергоэффективность газотрубного котла в целом. Изменение формы профиля приводит к более высоким значениям  $\eta$  для вертикального эллипса из-за интенсификации тепломассообменных процессов в топке.

### Выводы

При разработке высокоэффективного газотрубного котла могут быть основаны на использовании модели с топкой в форме вертикально расположенного эллипса в поперечном сечении, так как при теоретических исследованиях определено, что топка с данной формой профиля имеет следующие преимущества:

1) рост тепловосприятия стенок топки с поперечным сечением в форме вертикаль-

ного эллипса по отношению к топкам других профилей, в том числе до 5% больше по сравнению с топкой с поперечным сечением в форме круга;

2) интенсивность тепловосприятия данной топки максимальна по отношению к интенсивности тепловосприятия топков с другими профилями, в том числе на 2,6–3,2% больше по сравнению с топкой с поперечным сечением в форме круга;

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что профиль вертикальный эллипс является наиболее рациональным для топки газотрубного котла малой и средней мощности.

### Список литературы

1. Михайлов А.Г., Батраков П.А. Эффективные поверхности теплообмена в топке газотрубного котла: монография // Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 120 с.
2. Попов И.А., Яковлев А.Б., Щелчков А.В., Рыжков Д.В. Интенсификация теплообмена – рациональный способ повышения эффективности газотрубных котлоагрегатов // Энергетика Татарстана. – 2010. – № 4. – С. 8–15.
3. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Копп И.З. Эффективные поверхности теплообмена. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 408 с.
4. Михайлов А.Г., Батраков П.А., Тербилов С.В. Численное моделирование процессов тепломассопереноса при горении газообразного топлива в топочном объеме // Естественные и технические науки. – 2011. – № 5 (55). – С. 354–358.
5. Оран Э., Борис Дж. Численное моделирование реагирующих потоков. – М.: Мир, 1990. – 660 с.
6. Михайлов А.Г., Тербилов С.В. Расчет процессов переноса теплоты в топке котла // Омский научный вестник. – 2009. – № 1 (77). – С. 151–152.
7. Бойко Е.А., Деринг И.С., Охорзина Т.И. Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла): учеб. пособие. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – 96 с.