



## Повышение энергоэффективности водогрейных котлов малой мощности

*О.Е. Коврина*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** В работе рассмотрены основные направления развития котлов малой мощности и выполнен анализ существующих способов интенсификации теплообмена в этих котлах. Приведена обобщающая зависимость, достоверно отражающая влияние промежуточных излучателей на теплообмен в конвективных поверхностях водотрубных котлов. Применение промежуточных излучателей позволяет повысить энергоэффективность котлов малой мощности и снизить их негативное влияние на окружающую среду.

**Ключевые слова:** котлы малой мощности, энергоэффективность, конвективные поверхности нагрева, интенсификация лучистого теплообмена, промежуточные излучатели.

В настоящее время в связи со значительными объемами нового строительства существует тенденция децентрализации систем теплоснабжения с применением автономных котельных, оборудованных преимущественно котлами малой мощности. В большинстве отопительных котельных используются водотрубные котлы, выпускаемые как крупными котельными заводами, так и небольшими котлостроительными фирмами. Однако, при этом часто возникают проблемы, связанные с необходимостью применения природоохранных мероприятий.

Анализ публикаций позволяет сказать, что в настоящее время котельная техника малой мощности развивается в основном по трём направлениям: повышение энергетической эффективности за счет наиболее рационального использования топлива; интенсификация теплообменных процессов в различных элементах котлов; снижение вредных выбросов в атмосферу.

На сегодня наиболее предпочтительнее использовать комплексный подход для одновременного решения вопросов снижения выбросов вредных веществ и повышения энергоэффективности оборудования. В отличие от энергосбережения, энергоэффективность решает вопросы не валового

---



снижения расхода энергии, а более рационального ее использования. Одним из важных факторов, влияющим на энергоэффективность котла, является его КПД. При повышении КПД котла мощностью 1 МВт на 1% экономится в среднем  $1,7 \text{ м}^3/\text{ч}$  газового топлива, что приводит к снижению выбросов оксидов азота и углерода на 1,3% [1-3].

Для повышения энергоэффективности котлов применяют различные инженерные решения, которые, однако, не всегда согласуются с современными требованиями природоохранных норм [4, 5].

Одним из путей повышения энергоэффективности котла без ущерба для окружающей среды является установка в элементах котлах различного типа интенсификаторов теплообмена. Так, например, установка промежуточных излучателей в топках оказывает влияние как на теплотехнические, так и на экологические результаты (КПД увеличивается на 1 – 3%, выбросы CO уменьшаются в 5 раз, выбросы NO<sub>x</sub> - в 2 раза) [6,7]. В нашем случае интерес представляют конвективные поверхности нагрева, которые в водотрубных котлах малой мощности являются наиболее дорогостоящими и металлоемкими элементами.

Повышение энергоэффективности конвективных поверхностей может быть достигнуто за счет интенсификации как конвективной, так и лучистой составляющей результирующего теплопереноса [8].

Как известно, следствием интенсификации процессов теплообмена в котлах является увеличение коэффициента теплоотдачи от продуктов сгорания к поверхностям нагрева. Поскольку в большинстве случаев интенсификация теплоотдачи связана с ростом затрат энергии на преодоление увеличивающихся аэродинамических сопротивлений, это необходимо учитывать при выборе метода ее повышения.

Интенсификация конвективной составляющей теплообмена осуществляется, как правило, за счет аэродинамического воздействия на

---



газовый поток, в результате которого за счет искусственной турбулизации пограничного слоя происходит уменьшение его толщины или разрушение. Реализация этих методов на практике связана с применением различных форм ребер, шипов и других устройств, создающих закрученные, винтовые или пульсационные течения. Указанные методы, как правило, ведут к усложнению конструкции котла и прямо или косвенно связаны с повышением его аэродинамического сопротивления.

Увеличение лучистой составляющей теплопереноса не ведет к турбулизации газового потока, а следовательно, не связано с дополнительными затратами энергии. Излучение изменяет формирование пограничного теплового слоя у поверхности трубы и исключает подобие теплообмена и гидравлического сопротивления. В тесных конвективных пучках труб доля излучения газового слоя незначительна. Интенсификация лучистого теплообмена здесь возможна за счет введения специальных насадок, которые будут играть роль промежуточных излучателей. Назначение этих насадок – трансформация теплового потока, переданного к ним селективным излучением газа, излучением твердых тел в сплошном спектре и конвективным тепловым потоком – в сплошное излучение промежуточного излучателя. Обычно промежуточные излучатели представляют собой адиабатные поверхности. Исследованиями подтверждена возможность увеличения результирующего потока за счет использования промежуточного излучателя более, чем на 30% [10].

В конвективных поверхностях малых водотрубных котлов в качестве промежуточных излучателей наиболее рационально использовать тонкие стальных пластины или перфорированные листы, свободно размещенные в межтрубном пространстве. Установка таких излучателей позволит повысить коэффициент теплоотдачи практически без увеличения аэродинамического сопротивления поверхностей нагрева.

---



На основании выполненного автором теоретического исследования разработана физико-математическая модель процесса сложного теплопереноса в конвективных поверхностях нагрева с промежуточными излучателями и получено уравнение подобия, отражающее влияние геометрических и гидродинамических факторов, а также оптических свойств излучающей среды на функцию интегрального теплопереноса ( $\Phi_T$ )

$$\Phi_T = \Phi(Re_{F_T}; Bu; \sigma_1; \Theta; Re_{\Sigma F}; \frac{F_{\text{пл}}}{\Sigma F}; \varepsilon_{\text{пр}}),$$

где  $Re_{F_T}; Re_{\Sigma F}$  – числа Рейнольдса, характеризующие перенос импульса потока продуктов сгорания, соответственно, на стенку поверхности нагрева и на ограждающие стенки газохода;  $Bu$  – число Бугера;  $\sigma_1$  – относительный поперечный шаг труб;  $\Theta$  – отношение температур стенки поверхности нагрева и газового потока на входе в конвективный газоход;  $\frac{F_{\text{пл}}}{\Sigma F}$  – отношение поверхности промежуточного излучателя к площади ограждающих стен в конвективном газоходе;  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведенная степень черноты системы промежуточный излучатель – трубы.

Экспериментальные исследования проводились в условиях, близких к реальным для малых котлов, работающих на естественной тяге, в два этапа: без излучателей и с излучателями в виде стальных пластин толщиной 3 мм. Изменение относительного поперечного шага в конвективных пучках труб ( $\sigma_1=1,47; 1,765; 2,0; 2,23$ ) позволило интенсифицировать теплообмен в них на 8-21% без увеличения их аэродинамического сопротивления. Степень черноты промежуточных излучателей ( $\varepsilon = 0,8; 0,85; 0,87; 0,9$ ) менялась за счет использования покрытий на основе алюмохромофосфатного связующего с добавлением карбида кремния и шамота в разных пропорциях. Результаты исследований обобщены зависимостью



$$\Phi_T = \frac{1}{1 + \frac{0,29 Re_{F_1}^{0,64} \sigma_1}{Bu^{0,1} \Theta^{0,25} (1 + 0,06 Re_{\Sigma F}^{0,64} \frac{F_{\text{ши}}}{\Sigma F} \varepsilon_{\text{пр}})}},$$

которая достоверно аппроксимирует опытные данные и позволяет использовать ее для газоходов с различным соотношением охлаждаемых и неохлаждаемых поверхностей. Влияние промежуточного излучателя на интенсификацию теплообмена в конвективном газоходе будет тем значительнее, чем выше коэффициент конвективной теплоотдачи к его поверхности, больше степень его черноты и чем меньше коэффициент поглощения газовой среды.

Установка промежуточных излучателей в конвективных газоходах позволит повысить энергоэффективность как вновь проектируемых, так и существующих водотрубных котлов малой мощности без увеличения их аэродинамического сопротивления.

Использование промежуточных излучателей возможно не только в потоке излучающих продуктов сгорания, но и в лучепрозрачной среде. Так, например, при нагреве воздуха в трубчатых рекуператорах, где установка в каналах промежуточных излучателей позволит увеличить эффективную поверхность теплоотдачи к перемещаемому потоку.

## Литература

1. Волосатова Т.А. Основные вопросы энергоэффективности тепловых водяных котельных и варианты их решения // Инженерный вестник Дона, 2013, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1899/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1899/).
2. Страхова Н.А., Горлова Н.Ю. Концепция энергоресурсосберегающей деятельности в промышленности // Инженерный вестник Дона, 2011, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/359/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/359/).



3. Hegner H.D., Vogler I. Energieeinsparverordnung EnEV-für die Praxis kommentiert: Wärmeschutz und EnergiebilanzenfürNeubau und Bestand. Rechenverfahren, Beispiele und Auslegungenfür die Baupraxis // Ernst&SohnVerlagfürArchitektur und technischeWissenschaften GmbH & Co. KG. Berlin. 2002.153 p.

4. Широков В.А., Новгородский Е.Е., Горлова Н.Ю. Влияние выбора способа генерирования энергии на состояние воздушного бассейна // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. №1. С. 21.

5. Григорян М. Н., Сайбель А.В. Архитектурная экология. Энергоэффективное строительство // Инженерный вестник Дона, 2012, №4, Ч.2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1374/.

6. Басок Б. И., Демченко В.Г., Мартыненко М.П. Численное моделирование процессов аэродинамики в топке водогрейного котла со вторичным излучателем // Промышленная теплотехника. 2006. № 1. С. 17 – 22.

7. Гришкова А. В., Красовский Б.М., Ракитин А.Ю. Уменьшение выбросов оксидов азота от водогрейных котлов путем внесения в топку промежуточного излучателя с оптимальными параметрами // Промышленная энергетика. 2004. № 5. С. 32 – 33.

8. Петриков С. А., Хованов Н.Н. Прогрессивные способы интенсификации теплообмена в отопительных котлах // Промышленная энергетика. 2003. № 12. С. 18 – 22.

9. Hirano M., Miyauchi T., Mori Y. Temperature heat exchangers // XVII Int. Symposium, Dubrovnik, Aug. 26 to 30, 1985. Belgrad: ICHMT. 1985. pp. 93-104.

10. Сорока Б.С., Шандор П., Пьяных К.Е., Педоренко А.В. Интенсификация высокотемпературного теплообмена путем установки вторичных излучателей в трубах // Промышленная теплотехника. 2003. Т. 25. № 4. С. 349-352.

---



## References

1. Volosatova T.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1899/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1899/).
2. Strahova N.A., Gorlova N.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/359/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/359/).
3. Hegner H.D., Vogler I. Energieeins parverordnung EnEV-für die Praxis kommentiert: Wärmeschutz und EnergiebilanzenfürNeubau und Bestand. Rechenverfahren, Beispiele und Auslegungenfür die Baupraxis. Ernst&SohnVerlagfürArchitektur und technischeWissenschaften GmbH & Co. KG. Berlin. 2002. 153 p.
4. Shirokov V.A., Novgorodskij E.E., Gorlova N.Ju. Zashhita okruzhajushhej sred v neftegazovom komplekse. 2010. №1. P. 21.
5. Grigorjan M. N., Sajbel' A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4, P. 2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1374/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1374/).
6. Basok B. I., Demchenko V.G., Martynenko M.P. Promyshlennaja teplotehnika. 2006. № 1. pp. 17 – 22.
7. Grishkova A. V., Krasovskij B.M., Rakitin A.Ju. Promyshlennaja jenergetika. 2004. № 5. pp. 32 – 33.
8. Petrikov S. A., Hovanov N.N. Promyshlennaja jenergetika. 2003. № 12. pp. 18 – 22.
9. Hirano M., Miyauchi T., Mori Y. Temperature heat exchangers. XVII Int. Symposium, Dubrovnik, Aug. 26 to 30, 1985. Belgrad: ICHMT. 1985. pp. 93-104.
10. Soroka B.S., Shandor P., P'janyh K.E., Pedorenko A.V. Promyshlennaja teplotehnika. 2003. T. 25. № 4. C. 349-352.