

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКАХ КОТЛОВ С ЦИКЛОННЫМИ ПРЕДТОПКАМИ ДВГТУ

А.Н. Штым, Е.Ю. Дорогов

Организация двухстадийного сжигания мазута, (60-80 % - в циклоне и 20-40 % - в топочной камере) в сочетании с высокой степенью турбулизации факела в топке, приводит к изменению эмиссионных характеристик факела. При двухступенчатом сжигании мазута в топочных устройствах изменяется время диффузии окислителя к топливу, температурный уровень и другие факторы. Вследствие этого факел по излучательной способности значительно меньше отличается от газового факела, чем мазутный факел, образующийся при работе вихревых горелок.

Изменение условий теплообмена в топке приводит к изменению интегральных и локальных характеристик тепловой работы топки: $T_{ф,}^{max}$, $T_{т,}^{max}$, $q_{пад,}^{max}$, распределение $q_{пад,}$ размеров и расположения ядра факела.

В качестве объектов исследования выбраны водогрейные котлы ЭЧМ-25/35, КВ-ГМ-100, ПТВМ-180, КВ-ГМ-20 и промышленные паровые котлы ДКВР-20-13, ДЕ-25-24/380, БКЗ-75, БКЗ-120-100ГМ.

Экспериментальные исследования выполнены в два этапа. На первом этапе на водогрейных котлах ЭЧМ-25/35, с одним и двумя предтопками и паровом котле ДКВР-20-13, с одним предтопком, проведено зондирование топочного объема, построение тепловых и температурных полей. На втором этапе на водогрейных и паровых котлах КВГМ-100, с одним и двумя предтопками, ПТВМ-180 с двумя и четырьмя предтопками, ДЕ-25-24/380, КВ-ГМ-20, с одним предтопком, уточнялись $q_{пад,}^{max}$ и $\vartheta_{т,}^{max}$ зондированием и расчетно-экспериментальным методом.

При выборе объектов исследования учитывались следующие обстоятельства: широкий диапазон изменения параметра q_v при различной компоновке предтопков на топке; возможность применения различных компоновок циклонных предтопков на топочной камере при $q_v = const$; возможность зондирования топочного объема; проведение исследований по запросам предприятий для подтверждения надежности работы экранных поверхностей нагрева.

Работа котлов оценивалась по результатам наладочных и балансовых испытаний, результатам измерений температурных и тепловых полей. При исследовании использовались

термозонды конструкции ВНИИТ-ЦКТИ, отсочной пирометр, газоанализаторы КГА-8М, TESTO-350.

На шести котельных агрегатах проведено более 200 опытов.

В 36 опытах измерялась температура газов на выходе из топки. В 130 опытах падающие тепловые потоки в плоскости экранов. Проведено 32 опыта по исследованию теплообмена в пристенном слое. В некоторых опытах для нахождения коэффициентов тепловой эффективности экранов осуществлялись измерения обратных тепловых потоков.

Построены поля $T_{ф,}$, $q_{пад,}$, $q_{обр,}$, Ψ , при различной компоновке и типоразмерах циклонных предтопков.

На котельных агрегатах, где проведение внутритопочных исследований было затруднительно, применялся расчетно-экспериментальный метод, позволяющий определить обобщенный параметр, характеризующий суммарный теплообмен в топке – температуру на выходе из топки $\vartheta_{т,}^{max}$.

Получены экспериментальные зависимости от форсировки топочного объема следующих величин:

максимальной температуры газов $T_{ф,}^{max}$ в зоне ядра факела;

среднеинтегральной температуры факела $\overline{T}_{ф,}$ на уровне циклонных предтопков (для котлов ЭЧМ-25/35);

среднеинтегральной температуры газов на выходе из топочной камеры $T_{т,}$ (для котлов ЭЧМ-25/35, ДКВР-20-13);

максимальных падающих тепловых потоков $q_{пад,}^{max}$.

Наиболее важной конечной характеристикой тепловой работы топки является суммарное тепловосприятие, определяющее температуру газов в выходном окне. На рис. 1 представлено сопоставление измеренной и рассчитанной по нормативному методу температуры газов на выходе из топки для котлов ЭЧМ-25/35МЦ и ДКВР-20-13МЦ. Во всех случаях опытная температура газов на выходе из топки существенно ниже температуры газов, рассчитанной по Нормативному методу. На котле ЭЧМ-25/35, при изменении нагрузки от 25 до 45 МВт, разница измеренной и расчетной температур составляет 127-200 К. На кот-

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКАХ КОТЛОВ С ЦИКЛОННЫМИ ПРЕДТОПКАМИ ДВГТУ

ле ЭЧМ-25/35 в диапазоне нагрузок 29-52 МВт
разница составляет 180-224 К и на паровом

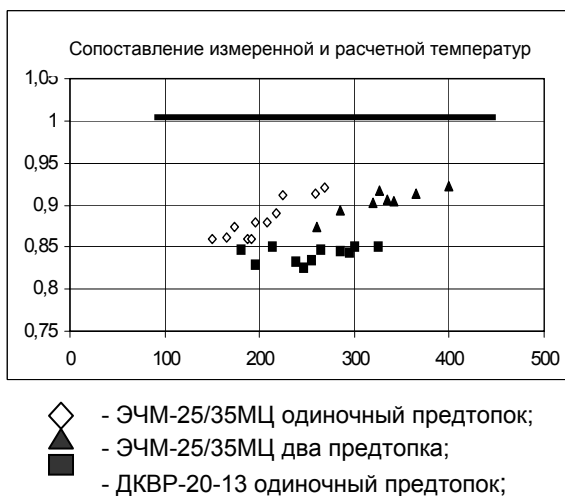


Рис.1

котле ДКВР-20-13, при изменении нагрузки 11-17,4 МВт - 80-205 К.

Увеличение общей теплоотдачи в топочной камере котлов с циклонными предтопками происходит при более низком температурном уровне и лучшей тепловой разверке топки по сравнению с горелочным способом сжигания мазута. С ростом q_v от 94 до 440 кВт/м³

максимальные значения падающих тепловых потоков ($q_{\text{пад}}^{\text{max}}$) возрастают от 80 до 518 кВт/м² (рис.2).

На рис. 2 прерывистой горизонтальной линией отмечена нормативная предельная допустимая величина интенсивности теплового излучения для мазутных открытых и полуоткрытых топок. Превышение этой величины недопустимо по условиям надежности работы топки. Прерывистой вертикальной линией отмечено нормативное предельное значение форсировки топочного объема для мазутных топок. Увеличение производительности котла, при неизменной организации сжигания, предусматривает увеличение размеров топки для обеспечения выгорания топлива. Применение циклонно-вихревой технологии при модернизации котлов позволяет увеличить форсировку топочного объема, (проведенные модернизации обуславливают увеличение производительности и повышение экономичности), оставаясь в допустимых пределах по интенсивности теплового излучения за счет значительно-го выравнивания тепловосприятия в топке. Разброс точек на начальном участке зависимости рис. 2 можно объяснить различием в геометрических размерах топок и фактической форсировкой камеры сгорания предтопков.

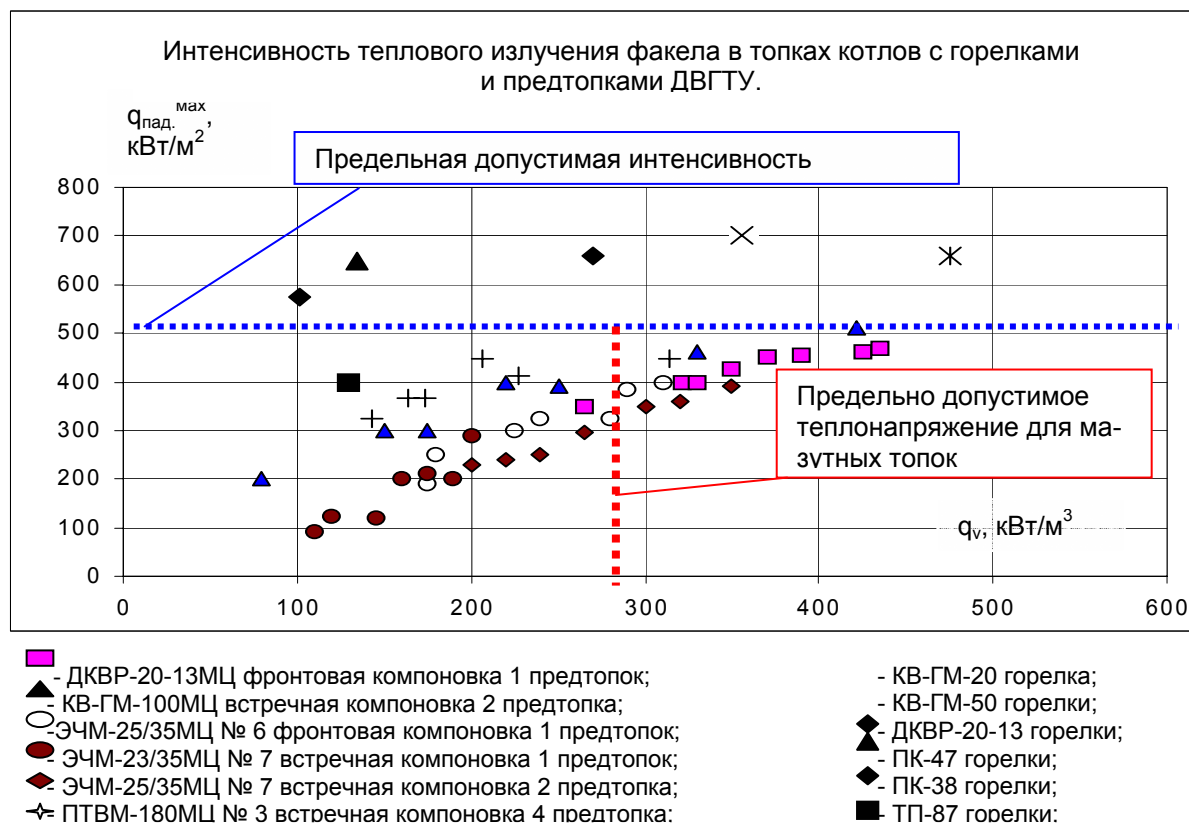
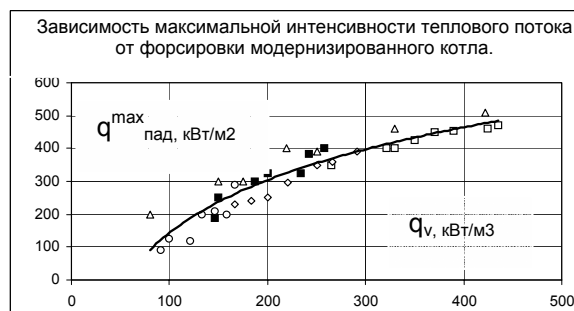


Рис.2

Анализ опытных данных по значениям $q_{\text{пад}}^{\text{max}}$, относящихся к котлам различных конструкций и мощностей, показывает, что они все удовлетворительно обобщаются в зависимости:

$q_{\text{пад}}^{\text{max}} = 216,42 \cdot \ln(q_v) - 924$, кВт/м² от параметра q_v в диапазоне нагрузок 100 – 450 кВт/м³.



- △ - КВГМ-100МЦ два предтопка;
- - ЭЧМ-25/35МЦ один предтопок;
- - ЭЧМ-25/35МЦ два предтопка;
- - ДКВР-20МЦ один предтопок;

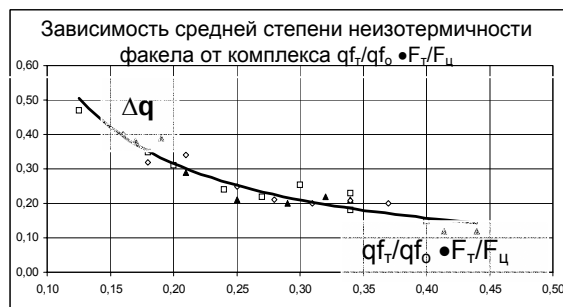
Рис. 3

Причиной повышения тепловой эффективности топки является изменения эмиссионных свойств факела на котлах с циклонными предтопками и особенностями аэродинамики циклонного факела, а именно - высокой степенью турбулентной диффузии газов в непосредственной близости у экранов, обуславливающей снижение термического сопротивления его пристенных областей. Снижение термического сопротивления пограничного слоя приводит к увеличению воспринимаемого поверхностями нагрева теплового потока. В результате исследования условий лучистого теплообмена в пристенном слое газов, получено изменение интенсивности излучения факела по глубине топочной камеры при различных значениях h_L/H_T и определена величина неизомермичности циклонной топки. Построена зависимость средней степени неизомермичности факела $\Delta \bar{q}$ от теплонапряжения поперечного сечения топочной камеры, для водогрейных котлов ЭЧМ-25/35МЦ и парового котла ДКВР-20-13МЦ (рис.4). По эмпирической зависимости:

$$\Delta \bar{q} = 0,0629 \times \left(\frac{q_f}{q_{f_0}} \times \frac{F_T}{F_{Ц}} \right)^{-1,0026}$$

можно прогнозировать среднеинтегральную степень неизомермичности факела, для котлов с ци-

клонными предтопками в диапазоне форсировки $q_f = 1,0 - 2,2$ МВт/м².



- △ котел ЭЧМ-25/35 один предтопок;
- ▲ котел ЭЧМ-25/35 два встречных предтопка;
- котел ДКВР-20-13 один предтопок.

Рис.4

Показано влияние компоновки циклонных предтопок на локальные характеристики теплообмена в топках модернизированных котлов. Для сравнения используются экспериментальные данные по интегральному и локальному теплообмену модернизированных котлов с одним, двумя и четырьмя (ПТВМ-180МЦ) предтопками.

При прочих равных условиях на котле ЭЧМ-25/35 изменение компоновки привело к снижению температуры факела от 100 до 200 К, снижению температуры на выходе их топки от 50 до 100 К, снижению $q_{\text{пад}}^{\text{max}}$ в среднем на 30 кВт/м². На котле ПТВМ-180МЦ замена 20 горелок на 4 циклонных предтопка привела к снижению $q_{\text{пад}}^{\text{max}}$ и повышению тепловой равномерности по ширине экранов.

Через параметр температурного поля "М" рекомендуется уточнение теплового расчета топков для котлов оснащенных циклонными предтопками ДВГТУ. Уточнение влияния параметра температурного поля на результирующее тепловосприятие топки осуществлено на основе расчета теплообмена в однокамерных и полукоткрытых топках с использованием исходной полуэмпирической формулы Гурвича.

Используя экспериментальные данные коэффициентов тепловой эффективности экранов, получено численное значение параметра "М". Как следует из экспериментальных данных, представленных на рис.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКАХ КОТЛОВ С ЦИКЛОННЫМИ ПРЕДТОПКАМИ ДВГТУ

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ



Рис.5

Величина параметра "М" равна 0,59. Уточненная формула по расчету теплообмена в топках котлов, оснащенных циклонными предтопками ДВГТУ для сжигания мазута имеет вид:

$$\Theta_T'' = \frac{T''}{T_2} = \frac{(Bo/a_T)^{0,6}}{0,59 + (Bo/a_T)^{0,6}}$$

Проведенные теплотехнические испытания модернизированного котла ПТВМ-30МЦ показали высокую сходимость результатов, полученных экспериментальным путем и данных теплового расчета котла, в котором проведена корректировка с использованием коэффициента тепловой эффективности экранов $\psi_{\text{эк}}'$ и параметра температурного поля "М". Максимальное отклонение опытной температуры газов на выходе из топки от расчетного значения не превышает – 50 К (рис.6).

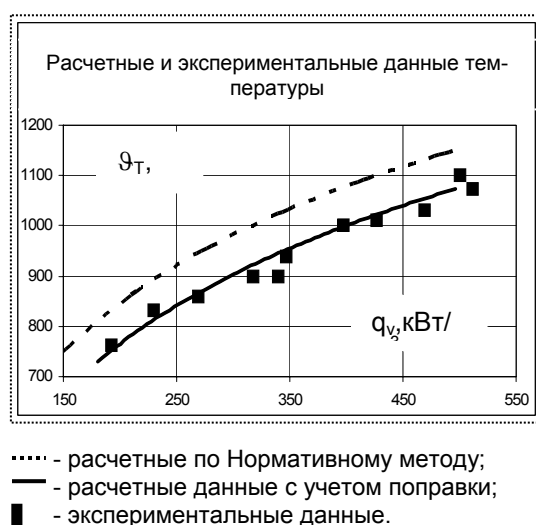


Рис. 6

1. На котлах ЭЧМ-25/35МЦ, ДКВР-20-13МЦ, КВГМ-100МЦ, ПТВМ-180МЦ, ДЕ-25-24МЦ, КВГМ-20МЦ, БКЗ-75МЦ, БКЗ-120-100МЦ проведено экспериментальное исследование теплообмена в топках котлов при различной форсировке топки, числе предтопок на топке от 1 до 4. Получены опытные данные по температурным полям, распределению излучения на экраны и тепловосприимчивости топок в диапазоне $q_v=94-430 \text{ кВт/м}^2$.

2. Установлено влияние циклонного способа сжигания на теплообмен в топках с отличием θ_T от нормативного расчетного от 100 до 250 К.

3. Экспериментально установлено влияние форсировки топки и компоновки предтопок на интегральные условия теплообмена в топках модернизированных котлов.

4. Проведено исследование степени неизомеричности факела на модернизированных котлах, при этом установлено снижение степени неизомеричности на 10-50% против горелочного способа, в зависимости от компоновки горелок.

5. Установлено значительное повышение общей тепловой равномерности тепловосприимчивости экранов со снижением $q_{\text{пад}}^{\text{max}}$ на 25-40% против горелочного способа. При исследовании $q_{\text{пад}}^{\text{max}}$ менялось в диапазоне 280-518 кВт/м².

6. Предложены эмпирические зависимости для прогнозирования степени неизомеричности факела и предельной форсировки для котлов с циклонными предтопками ДВГТУ. Внесена поправка к тепловому расчету топок модернизированных котлов через параметр температурного поля $M=0,59$.

7. Проведено обоснование по выбору компоновки предтопок на топке при модернизации котлов ПТВМ-180МЦ Хабаровской ТЭЦ-3, БКЗ-120-100ГМ Охинской ТЭЦ. Опыт эксплуатации котлов составляет 35 000 и 7000 часов, соответственно.

8. На основе обобщенных экспериментальных данных и разработанных рекомендаций выполнены проекты модернизации котлов ПТВМ-30МЦ и КВГМ-20МЦ. Проекты внедрен на котельных ДВЗ "Звезда" и ОАО "Восточный порт".

ЛИТЕРАТУРА

1. Штым А.Н., Рудницкий В.А., Штым К.А., Дорогов Е.Ю., Маняхин Ю.И. Модернизация паровых и водогрейных котлов путем внедрения циклонных предтопок // Труды семинара вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике, посвященного памяти академика С. С. Кутателадзе. г. Новосибирск, 6-8 октября 1999. С.164-171.
2. Штым А.Н., Рудницкий В.А., Штым К.А., Дорогов Е.Ю., Маняхин Ю.И. Исследование и опыт внедрения циклонно-вихревого сжигания топлива. В сб. "Материалы зонального совещания по вопросам сжигания местных низкосортных углей, мазута, газа...". Владивосток: изд-во ДВГТУ, 1999.- С.28-38.
3. Рудницкий В.А., Дорогов Е.Ю. Систематизация характерных параметров теплообмена топков котлов МЦ // Тезисы докладов XXXVII научно-технической конференции ДВГТУ. Естественные науки. Владивосток: ДВГТУ, 1997.-С. 44.
4. Дорогов Е. Ю., Артемьев Р.В. Исследование теплообмена в топке модернизированного котла ПТВМ-180МЦ // Тезисы докладов XXXVII научно-технической конференции ДВГТУ. Владивосток: ДВГТУ, 1997. С. 40.
5. Дорогов Е.Ю., Упский М.В. Экологические аспекты при модернизации котлов с циклонными предтопками // в кн. Фундаментальные проблемы охраны окружающей среды. Тезисы докладов Дальневосточной региональной конференции. Ч.1, 9-10 декабря 1997г. Владивосток: Изд-во Дальневост. Ун-та. 1997. С. 126.
6. Дорогов Е.Ю., Штым А.Н. Исследование тепловых потоков в топке модернизированного котла ПТВМ-180МЦ // Тезисы докладов региональной научно-технической конференции. Молодежь и научно-технический прогресс. 21-24 апреля 1988г. Владивосток: ДВГТУ, 1998.-С. 129.
7. Дорогов Е.Ю., Штым А.Н. Модернизация котельной АО "Восточный порт" // Тезисы докладов региональной научно-технической конференции. Молодежь и научно-технический прогресс. 21-24 апреля 1988г. Владивосток: ДВГТУ, 1998. -С. 127.
8. Дорогов Е.Ю. Удельные расходы топлива на промышленных котельных ОАО "НРП" и ГУП ДВЗ "Звезда" и пути их снижения // Тезисы докладов научно-технической конференции «Вологодские чтения». Естественные науки. Владивосток: ДВГТУ, 1998.-С. 31.
9. Дорогов Е.Ю., Зыков А.А. Исследование влияния конструктивных факторов на теплообмен в топках при сжигании мазута в циклонных предтопках. // Материалы межвузовской научной конференции. XXVII неделя науки СПбГТУ. 7-12 декабря 1998г. Санкт-Петербург: СПбГТУ, 1998. - С. 94.
10. Штым А.Н., Рудницкий В.А., Штым К.А., Дорогов Е.Ю. Модернизация котла КВГМ-100 переводом на циклонную технологию сжигания мазута. // В сб. труды "ДВГТУ № 122". Владивосток: изд-во ДВГТУ, 1999. -С.78-82.
11. Дорогов Е.Ю., Упский М.В. Возможности улучшения экологии при циклонно-вихревой технологии сжигания мазута в предтопках Центра "МКТ". // Экологический вестник Приморья №2, Владивосток, 2000. - С. 6.