

РАЗРАБОТКА УЗЛА НАГРЕВА ЦИКЛОВОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ УГОЛЬНОЙ ПГУ

*Вальцев Н.В., Микула В.А., Рыжков А.Ф., Змеева А.В.
УрФУ, tes.urfu@mail.ru*

Повышение термической эффективности и экологичности угольной энергетики по-прежнему остается важной задачей. С этой точки зрения перспективным представляется использование парогазовых установок с внутрицикловой газификацией твердого топлива (ПГУ-ВЦГ). Однако коммерциализация данной технологии столкнулась с рядом сложностей, в результате чего угольные ПГУ пока не получили распространения. Кроме того, имеющиеся технологии предполагают использование затратной кислородной газификации и качественных энергетических углей. Поэтому для России была предложена и проработана в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (госконтракт № 14.516.11.0043 от 29 марта 2013 г.) перспективная технология ПГУ, позволяющая повысить КПД на 5-7 % по сравнению с паросиловым циклом, а также использовать местные виды топлива и воздушную газификацию.

Ключевым элементом в данной схеме ПГУ-ВЦГ является высокотемпературный воздушный котел (ВК), от его работы зависит эффективность всей гибридной схемы. ВК представляет собой типичный пылеугольный котел, лишь с тем отличием, что в основную часть его поверхностей нагрева подается цикловый воздух под давлением, который затем (нагретый до 800-1000 °С) направляется в камеру сгорания газовой турбины.

Воздушный котел разрабатывался для схемы ПГУ-ВЦГ мощностью 285 МВт, расход циклового воздуха (ЦВ) – 548 кг/с, давление ЦВ – 1,85 МПа. Топливом для ВК служит уголь (в расчетах принимался кузнецкий) и полукокс, получаемый в газогенераторе.

Поиск оптимальной конструкции воздушного котла осуществлен с помощью расчетных исследований с применением коммерческих программных пакетов Ansys и SigmaFlame.

На начальном этапе разработки можно выделить следующие основные проблемы создания воздушного котла:

1. Выбор материалов для поверхностей нагрева ВК.
2. Организация внешнего теплообмена в топочной камере ВК.
3. Интенсификация внутреннего теплообмена в поверхностях нагрева ВК.

Основным ограничением при выборе компоновки ВК была допустимая температура металла. Наибольшей жаростойкостью обладают стали, легированные хромом, при содержании его 25...30 % максимальная температура для жаропрочных сталей достигает 1100...1200 °С. В газовых турбинах предельным уровнем температур металла рабочих лопаток, выполненных из жаропрочных сталей, считается 850-900 °С, однако они испытывают большие динамические нагрузки в отличие от трубных элементов ВК. В результате, была принята максимальная рабочая температура металла – не более 1000 °С.

Проблема организации внешнего теплообмена в топке решается:

- выбором соответствующей компоновки поверхностей нагрева – размещением панелей с наиболее низкой температурой циклового воздуха в области максимальных температур газов;
- регулированием максимальной температуры факела с помощью рециркуляции газов.

Поверхности нагрева циклового воздуха котла (рис. 1) состоят из секций радиационной части 1-6 (верхняя – ВРЧ, средняя – СРЧ и нижняя – НРЧ), покрывающих стены топки 7, и 2-х ступеней конвективной секции 10, 11. В верхней части топки находятся горелки 12. Из зоны горения горячие газы проходят через нижнюю часть котла, затем идут вверх через конвективную секцию и далее поток продуктов сгорания направляется в пароперегревательную часть 15 и воздухоподогреватель 16.

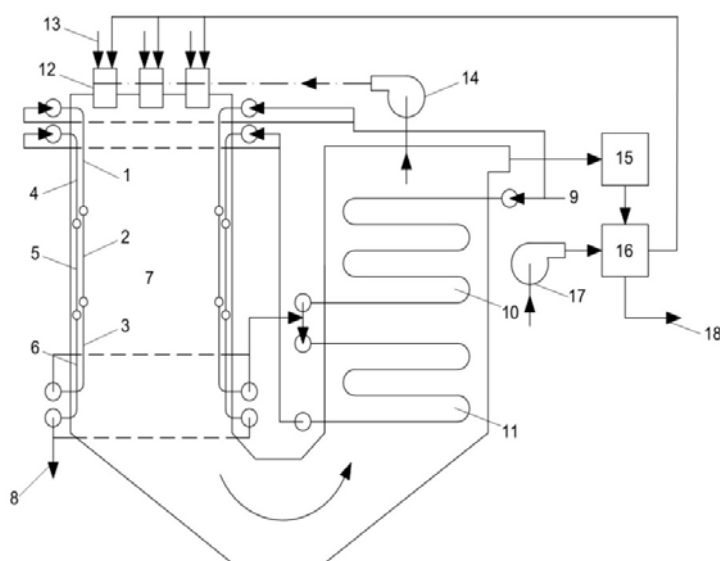


Рис. 1. Схема воздушного котла:

1 – ВРЧ-1; 2 – СРЧ-1; 3 – НРЧ-1; 4 – ВРЧ-2; 5 – СРЧ-2; 6 – НРЧ-2; 7 – топка; 8, 9 – поток циклового воздуха, соответственно на выходе и входе; 10, 11 – первая и вторая ступени конвективной секции, соответственно; 12 – горелки; 13 – поток топлива и первичного воздуха; 14 – дымосос рециркуляции продуктов сгорания; 15 – пароперегревательная часть; 16 – воздухоподогреватель; 17 – дутьевой вентилятор; 18 – выход продуктов сгорания

Поток циклового воздуха на входе в котел делится на две части. Часть воздуха прямооток проходит через первую секцию радиационных поверхностей нагрева 1-3, расположенных по центру на каждой стене топки, и должна обеспечить охлаждение металла труб до температуры ниже допустимой (1000°C). Вторая часть потока воздуха противоток проходит по секции 10, затем обе части соединяются, и весь поток воздуха противоток проходит через секцию 11, после чего окончательный нагрев ЦВ завершается в боковых секциях радиационных поверхностей 4-6.

Для регулирования максимальной температуры факела предусмотрена рециркуляция продуктов сгорания 14 из конвективной части в топку.

На рис. 2 в графическом виде представлены основные результаты расчетов ВК в программе SigmaFlame. Наиболее теплонапряженный участок находится на СРЧ-1, здесь требуемая температура стенки достигается при локальном значении коэффициента теплоотдачи к воздуху $\alpha_{\text{в}}=120 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, близкая картина на СРЧ-2 $\alpha_{\text{в}}=110 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. На всех остальных поверхностях нагрева требуемый уровень заметно ниже $\alpha_{\text{в}}=85 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

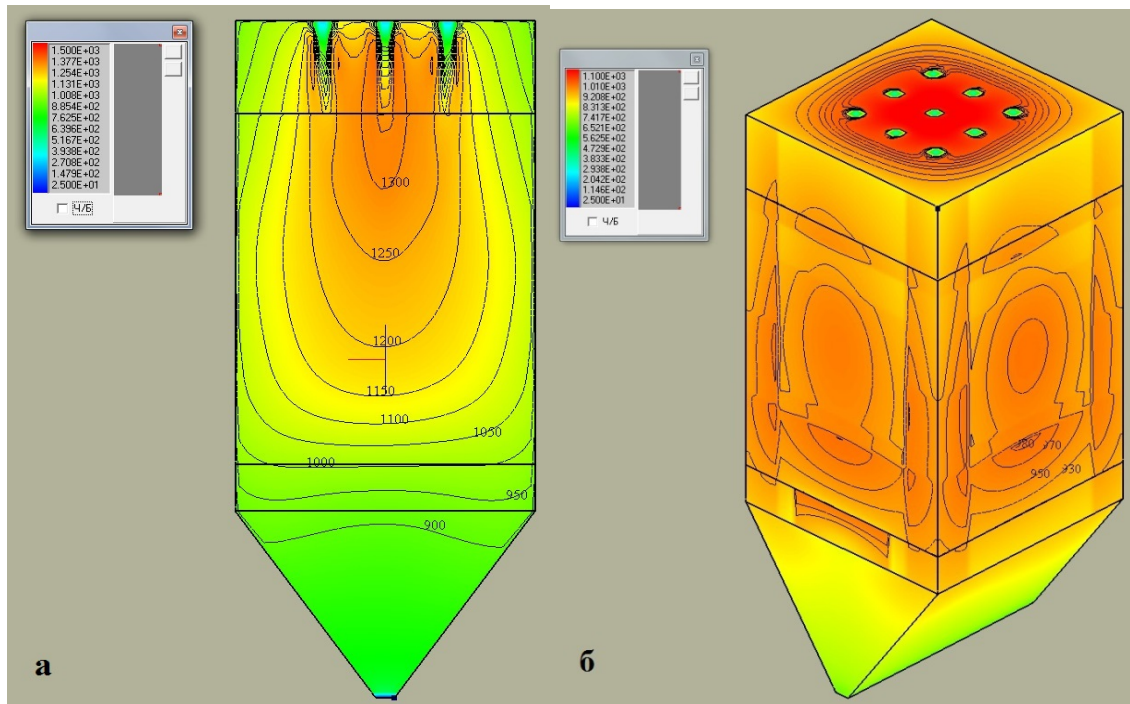


Рис. 2. Поля температур продуктов сгорания (а) и температур стенок поверхностей нагрева (б) в топке воздушного котла

Для достижения данного уровня значений $\alpha_{\text{в}}$ требуется решить задачу интенсификации внутреннего теплообмена, т.к. при течении воздуха (с рекомендуемыми скоростями 15-25 м/с) в гладких трубах $\alpha_{\text{в}}=40-60 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Для применения в воздушном котле в итоге был выбран способ с использованием стержневых внутренних вставок, в дальнейшем они могут быть модифицированы элементами, позволяющими осуществлять и турбулизацию потока. В результате расчетных исследований в среде Ansys было определено, что применение вставок типа «крест» и «звезда-8» позволяет добиться уровня значений коэффициента $\alpha_{\text{в}}=80-150 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, что достаточно для поверхностей нагрева топки ВК.

В дальнейшем на стадии опытно-конструкторской разработки котла планируется провести исследования высокотемпературного нагрева воздуха с внутренними вставками различного типа на лабораторной установке, отработать конструкцию высокотемпературной воздухонагревательной панели на испытательном стенде и спроектировать опытно-промышленный ВК для энергоблока 20 МВт. Пока же оценочно можно сказать, что суммарная площадь поверхностей нагрева ВК в 2-2,5 раза выше, чем у стандартного парового котла той же мощности.