

Д.В.Костяев (6 курс, каф. РиПГС), С.М.Шестаков, д.т.н., проф.

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КОТЛА Пп-1500-31,9-600/620/600 НА КАМЕННОМ УГЛЕ ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКА 500 МВт

Внутренняя цена природного газа в России долгое время была примерно вдвое ниже средней цены твердого топлива. В результате в топливном балансе природный газ стал составлять 66 % (мазут 5 %, уголь 28 %). Это значительно больше, чем в других, промышленно-развитых странах. К примеру, в энергетике Германии и США доля твердого топлива составляет 50...60%, а природный газ является резервным топливом [1]. Образование свободного рынка электроэнергии в России ведет к выравниванию цен на топлива с мировыми. Запасы природного газа в мире ограничены и оцениваются экспертами ООН в 30...40 лет. Россия же имеет запасы твердого топлива более 200 млрд. тонн, т.е. на 200...500 лет. Из этого следует, что развитие отечественной энергетики должно происходить на основе сжигания твердого топлива.

В Северо-Западном регионе России основная доля электроэнергии производится блоками ЛАЭС и газомазутными ТЭЦ и ГРЭС. Блоки ЛАЭС постепенно вырабатывают свой ресурс и должны быть выведены из эксплуатации; необходима эквивалентная им по мощности замена. Строительство новых атомных блоков встречает значительное сопротивление, вследствие дороговизны этих установок (основной фактор) и возможности ядерного заражения при авариях. Многие блоки действующих ТЭС физически и морально устарели, а некоторые уже полностью выработали свой ресурс. Вследствие этого средний КПД цикла ТЭС России составляет всего около 28 %.

Таким образом, строительство новых современных блоков большой мощности (СКД) на угле с учетом достижений отечественной и мировой энергетики является актуальным, более дешевым, надежным и быстро реализуемым вариантом замены вырабатывающих свой срок блоков АЭС.

Целью данной работы является разработка конструкции котла для энергоблока 500 МВт на каменном угле. Котел Пп-1500-31,9-600/620/600 имеет суперсверхкритические параметры (ССКП) первичного пара (давление 31,9 МПа, температуру 600<sup>0</sup>С) и два промежуточных перегрева 620/600<sup>0</sup>С, что позволяет получить КПД цикла около 47 %. Такие высокие параметры пара дают существенную экономию топлива на 1 кВт·ч производимой энергии и уменьшают валовый выброс вредных веществ в атмосферу.

В качестве основного топлива для проектируемого котла целесообразно использовать высококачественные каменные угли, малозольные и малосернистые, например, Кузнецкого месторождения. Выбор высококачественного угля позволит снизить затраты на перевозку топлива и плату за выбросы вредных веществ. (В связи с глобализацией мирового хозяйства возможно использование и южноафриканского угля.)

Для повышения надежности работы и экологических показателей котла используем низкотемпературную вихревую технологию (НТВ-технологию) сжигания твердого топлива [2], разработанную на кафедре РиПГС. Так как конструкция НТВ-топки отработана на типоразмерах с глубиной 7...8 м, топку выполним сдвоенной, с вертикальным разделительным двухсветным экраном (рис. 1). Вверху и внизу двухсветный экран разведен для выравнивания давления по высоте топки. Для дополнительного снижения оксидов азота (примерно на 30%) целесообразно организовать «трехступенчатое сжигание». Систему приготовления топлива примем замкнутую, с прямым вдуванием; угрубление помола осуществим в среднеходных мельницах. Температура уходящих газов за регенеративным воздухоподогревателем (РВП) принята  $\vartheta_{yx} = 140^{\circ}\text{C}$ , что в сочетании с низким избытком воздуха  $\alpha_{yx} = 1,3$  позволяет иметь высокий КПД брутто котла 93,2 %.

Важным моментом является выбор температуры газов на выходе из топки ( $T_T''$ ), так как она определяет размеры не только топки но и конвективных поверхностей нагрева. Увеличение  $T_T''$  уменьшает тепловосприятие и размеры топки (см. табл. 1) и уменьшает поверхность нагрева конвективных пароперегревателей вследствие роста температурного напора (рис. 2); поверхность нагрева экономайзера возрастает (рис. 2). Наиболее рациональным оказался второй вариант топочной камеры с НТВ-технологией  $T_T'' = 1100^\circ\text{C}$ . Топочная камера котла получилась компактной, высота ее – 34,1 м. Это значительно меньше, чем у существующих котлов для блоков 500 МВт.

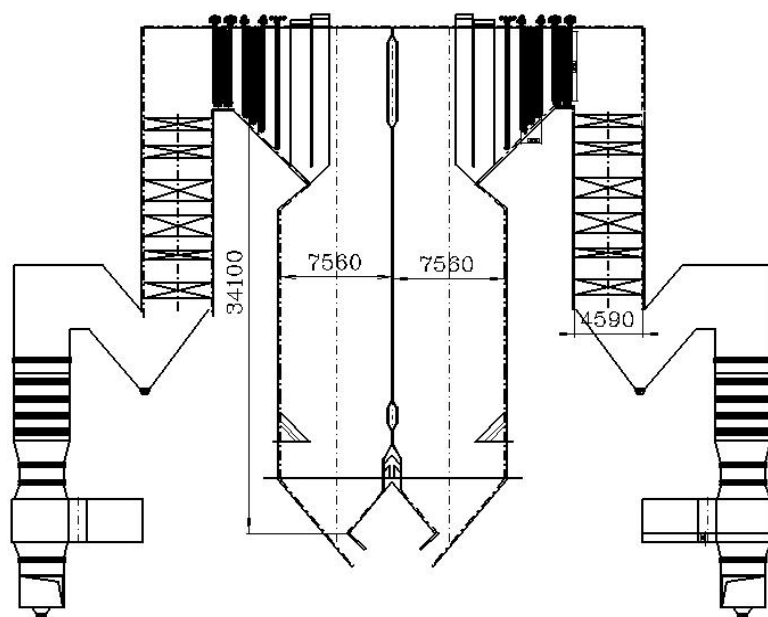


Рис. 1. Схема котла Пп–1500–31,9–600/620/600 с НТВ.

Возможность применения угрубленного помола при НТВ-технологии позволяет: сэкономить на затратах энергии на размол топлива; понизить уровень температуры газов в топке; повысить тепловое напряжение топочного объема до  $q_V = 148,4$  кВт/м<sup>3</sup> (при  $\psi = 0,55$ ) и снизить шлакование поверхностей нагрева; снизить образование оксидов азота. Экраны топки и конвективных газоходов выполнены газоплотными (включая экономайзер).

Таблица 1. Варианты расчетов при разных значениях температуры на выходе из топки.

Вариант расчета	Температура на выходе из топки, °С	Перепад энтальпий в топке, кДж/кг (пара)	Поверхность нагрева топки, м <sup>2</sup>
1	1050	1746	4543
2	1100	1649	4300
3	1150	1550	3915

Изменение длины змеевика КПН от температуры  $T_T''$

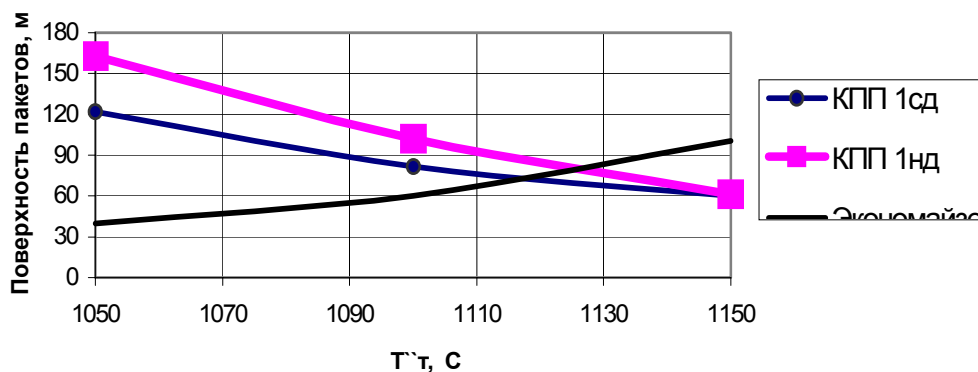


Рис. 2. Влияние изменения температуры на выходе из топки на поверхность КПН.

Система навивки – комбинированная, из панелей Бенсона и Зульцера. Весь расход разделен на 8 потоков: по 4 – справа и слева, и по два – на сторону конвективной шахты. В горизонтальном газоходе расположены ШПП и КПП высокого, среднего и низкого давлений (выходные ступени), а в конвективной шахте – входные ступени КПП ВД, СД и НД и водяной экономайзер.

За водяным экономайзером в отдельном газоходе установлена система нейтрализации оксидов азота (De-NO<sub>x</sub>), состоящая из четырех ступеней аммиачной каталитической очистки (КПД очистки 80...85 %). После нее газы направляются в четыре регенеративных вращающихся воздухоподогревателя (РВП) типа Юнгстрем, а затем — в золоуловители – электрофильтры (КПД 99 %). Охлажденные и очищенные от золы и оксидов азота газы направляются в систему «мокрой» десульфуризации (De-SO<sub>x</sub>) (КПД очистки 85...90 %). После системы De-SO<sub>x</sub> газы имеют температуру 50...55 °С, т.е. около «точки росы». Для исключения конденсации водяных паров в газоходах дымовые газы подогреваются до температуры примерно 80 °С в газо-газовом подогревателе типа РВП и затем выбрасываются в атмосферу через градирню.

Сочетание НТВ-технологии и систем очистки дымовых газов позволяет иметь концентрацию в уходящих газах NO<sub>x</sub> < 200 мг/нм<sup>3</sup>, SO<sub>x</sub> < 200 мг/нм<sup>3</sup>, золы ≈ 20 мг/нм<sup>3</sup>, что по экологическим характеристикам соответствует уровню лучших мировых образцов.

Таким образом, спроектированный котел Пп-1500-31,9-600/620/600 с НТВ-технологией для блока 500 МВт имеет высокий КПД (КПД брутто 93,2 %) и повышенные экологические характеристики, имеет высокий КПД цикла (47 %) и может с успехом применяться для замещения выбывающих мощностей, прежде всего, в Северо-Западном регионе России.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Шестаков С.М. Низкотемпературное сжигание твердых топлив как перспективное направление развития отечественной энергетики // Химия горения и взрыва. Матер. науч. семинара СПб НЦ РАН, СПб, 24-25 мая 2001 г. СПб: РИЦ «Прикладная химия», 2001. С. 40-46.
2. Шестаков С.М., Ахмедов Д.Б. Паровые котлы. Часть 3. Конструирование топочных камер: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. 56 с.