

ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ОТ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ

1.1. Снижение выбросов оксидов азота

1.1.2. Технологические методы снижения образования оксидов азота в топках котлов при сжигании различных видов органического топлива

1.1.2.2. Модернизация топочного процесса

1.1.2.2.1. Малотоксичные горелки

Котлер В.Р., ОАО «ВТИ»

Особенностью таких горелок являются конструктивные детали, регулирующие интенсивность и последовательность смешения топлива с потоками воздуха. Используя соотношение скоростей и крутку внутреннего и внешнего потоков вторичного воздуха, авторы малотоксичных горелок фактически организуют ступенчатый подвод воздуха в факеле отдельной горелки, а в некоторых случаях даже ступенчатый подвод топлива с частичным восстановлением NO в каждом факеле.

Практически все котлостроительные заводы в Европе, Японии и США имеют отработанные конструкции пылеугольных вихревых или прямоточных горелок, обеспечивающих на газе и на высококачественных марках каменных углей снижение выбросов NO_x на 30...50 %. Конструктивные детали у этих горелок разные, но все они характеризуются общей идеологией. Малотоксичные горелки должны:

- затормозить подмешивание богатого кислородом вторичного воздуха к воспламенившейся топливовоздушной смеси в корне факела;
- интенсифицировать тепло- и массообмен между струей топливовоздушной смеси и высокотемпературными топочными газами, содержащими небольшое количество кислорода;
- обеспечить эффективное сжигание топлива при минимально возможной доле первичного воздуха (для пылеугольных горелок);
- снизить пик температуры в ядре горения без ущерба для стабильности воспламенения и эффективности сгорания топлива.

На газомазутных котлах эффект подавления NO_x достигается в значительной степени за счет рециркуляции дымовых газов, подаваемых определенным образом через малотоксичные горелки. В результате этого газы рециркуляции не только снижают максимальную температуру в ядре горения и уменьшают действующую концентрацию кислорода, но еще и локализуют по длине факела зоны, обогащенные и обедненные топливом — фактически на горизонтальном участке обеспечивается двухступенчатое сжигание в факеле каждой горелки.

Наглядным примером такой малотоксичной горелки является горелка типа ГМВИч(III)-50 конструкции ТКЗ—ВТИ, установленная на ТЭЦ-23 ОАО «Мосэнерго» при реконструкции котла ТГМП-314Ц. На этом котле вместо четырех циклонных предтопок были установлены 16 таких горелок в два яруса по высоте (по восемь горелок на фронтальной и задней стенах топочной камеры). Расстояние между ярусами горелок по высоте составляло 3 м, а выше горелок верхнего яруса располагались сопла острого дутья. Конструкция горелок (рис. 1.11) обеспечивала использование газов рециркуляции для

ступенчатого сжигания топлива на горизонтальном участке факела. Схема газозвушных коробов позволяла при работе котла на мазуте подавать через сопла острого дутья не воздух, а газы рециркуляции [10].

Как видно на рис. 1.11, природный газ подается в центральную часть (через конический насадок) и в среднюю часть горелки (по газораздающим трубкам). Воздух поступает по центральному и двум кольцевым каналам, причем внутренний и периферийный кольцевые каналы разделены каналом газов рециркуляции. Потоки центрального воздуха и газов рециркуляции двигаются прямотоком, а внутренний и периферийный потоки воздуха закручиваются в аксиальном лопаточном аппарате.

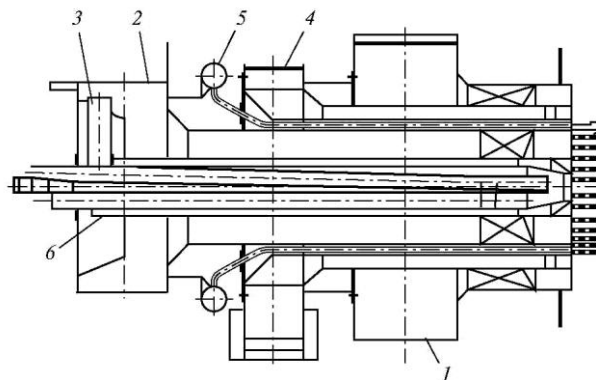


Рис. 1.11. Газомазутная горелка ТКЗ—ВТИ:
1, 2, 3 — воздух; 4 — газы рециркуляции; 5, 6 — природный газ

При проведении параметрических испытаний котла после его реконструкции была установлена зависимость эмиссии оксидов азота от основных режимных параметров. Оказалось, что при доле воздуха, подаваемой через верхние сопла, $\beta = 32\%$ и доле газов рециркуляции, изменяющейся от 6 до 13 % по мере снижения нагрузки котла, концентрация NO_x даже при нагрузке, близкой к номинальной, не превышает допустимое значение (125 мг/м³).

При сжигании мазута эмиссия оксидов азота также оказалась значительно ниже, чем на аналогичных котлах с обычными вихревыми горелками: при рециркуляции 6 % дымовых газов и подаче в сопла острого дутья 7...8% воздуха концентрация NO_x оказалась ниже 220 мг/м³ (в пересчете на NO₂ при O₂ = 6 %), что ниже допустимого по техническим нормативам (250 мг/м³).

При проведении испытаний реконструированного котла были выполнены измерения, подтверждающие, что ступенчатый ввод воздуха, рециркуляция дымовых газов и сниженный избыток воздуха в новых горелках не создают проблем с выбросами наиболее опасных газов из числа ПАУ. Измерения показали, что в эксплуатационных режимах содержание бенз(а)пирена не превышает

0,063 мг/м³ при сжигании газа и 0,08 мг/м³ при сжигании мазута. Расчет максимальной мощности выбросов бенз(а)пирена ($M_{\text{БП}}$, г/с) позволил установить, что с учетом рассеивания его содержание в приземном слое воздуха не превышает 0,05 ПДК. Это обстоятельство избавляет ТЭЦ-23 от необходимости учета и нормирования выбросов бенз(а)пирена.

Еще одним удачным решением проблемы выбросов оксидов азота за счет установки малотоксичной газомазутной горелки является котел Е-160-3,9-440 ГМ, работающий уже более 4 лет на ГЭС-1 ОАО «Мосэнерго».

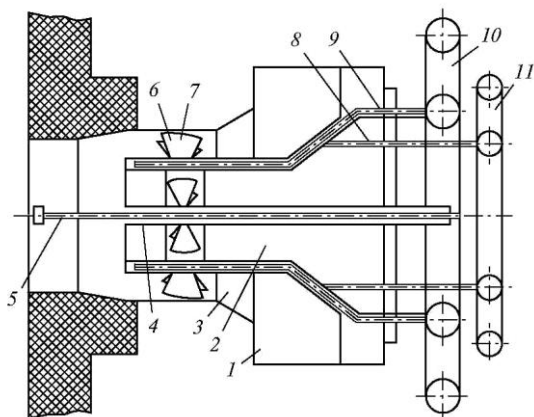


Рис. 1.12. Газомазутная горелка ВТИ — ЗиО:

1 — воздухоподводящий короб; 2 — центральный канал; 3 — периферийный канал; 4 — труба под форсунку; 5 — мазутная форсунка; 6 — центральный аксиальный завихритель; 7 — периферийный аксиальный завихритель; 8 — газораздающие трубы I ступени; 9 — газораздающие трубы II ступени; 10 — газовая камера II ступени; 11 — газовая камера I ступени

Для решения проблемы выбросов оксидов азота была разработана новая малотоксичная горелка ВТИ—ЗиО (рис. 1.12). Горелка выполнена двухпоточной как по топливу, так и по воздуху. Меньшая часть природного газа подавалась через 10 газораздающих трубок от малого (растопочного) газового коллектора. Через другие 20 трубок подавался остальной газ от большого газового коллектора. Воздух, поступающий через центральный и периферийный каналы горелок, закручивался лопатками аксиальных завихрителей. Газы рециркуляции подава-

лись в топку в смеси с воздухом.

Повышенные скорости природного газа и газозооной смеси на выходе из горелки, а также возможность отключения одного из газовых коллекторов и одного из газозооных каналов обеспечили диапазон регулирования нагрузки котла от 100 до 30 % номинальной без отключения горелок [11].

Параметрические испытания, в которых оценивалась зависимость концентрации NO_x от нагрузки и от избытка воздуха, показали, что разработанные горелки при сжигании природного газа с рециркуляцией дымовых газов в количестве 16 % обеспечивают концентрацию NO_x не выше 64 мг/м³. Максимальное содержание бенз(а)пирена было получено на минимальной нагрузке и составило 0,039 мг/м³ (при $\text{O}_2 = 6\%$).

В опытах при сжигании мазута марки М100 новая горелка подтвердила название «малотоксичная»: концентрация NO_x при $\alpha_d = 1,27$ составляла 240 мг/м³, содержание сажистых частиц по шкале Бахарха — 2, а концентрация бенз(а)пирена в зависимости от избытка воздуха менялась от 0,075 до 0,105 мг/м³.

Расчет рассеивания по программе «Эколог», выполненный с учетом высоты дымовой трубы и других параметров ГЭС-1, показал, что содержание бенз(а)пирена в приземном слое воздуха при сжигании как природного газа, так и мазута не превышает 0,05 ПДК_{БП}.

При сжигании твердого топлива конструкции малотоксичных горелок также позволяют значительно сократить эмиссию оксидов азота. Как уже отмечалось ранее, практически все котлостроительные фирмы за рубежом разработали и успешно внедряют малотоксичные пылеугольные горелки. Большой известностью пользуются двухрегистраеые горелки DRB-XCLtm (рис. 1.13), разработанные специалистами Babcock & Wilcox McDermott company (США), вихревая горелка (рис. 1.14) фирмы Mitsui — Babcock (Великобритания) и некоторые другие.

Сотрудниками ВТИ совместно с конструкторами ЦКБ «Энергоремонт» разработана малотоксичная прямоточная горелка для сжигания бурых углей и каменных углей с высоким выходом летучих (марок Г и Д). Эта горелка отличается тем, что часть вторичного воздуха отклоняется от направления струи аэрозмеси (рис. 1.15).

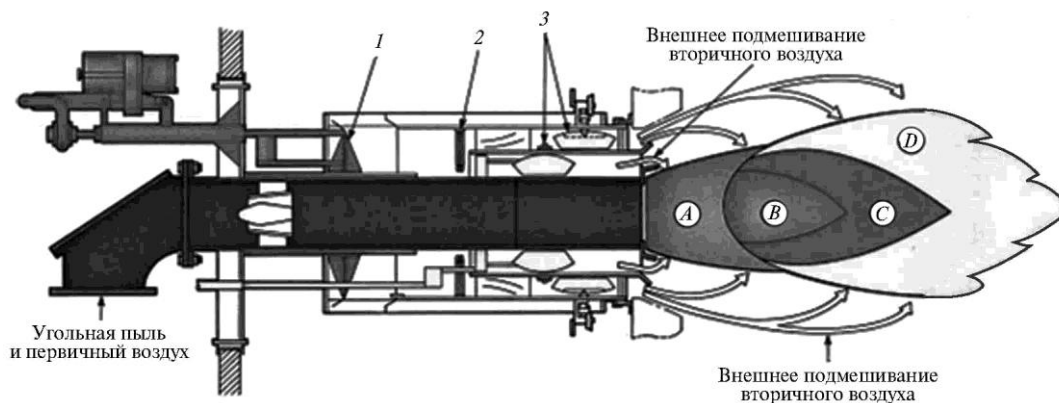


Рис. 1.13. Малотоксичная пылеугольная горелка Babcock & Wilcox McDermott company:

1 — скользящий воздушный шибер; 2 — измерительный прибор; 3 — регулируемый лопаточный аппарат; А — зона выхода летучих; В — зона образования газов-восстановителей; С — зона разложения NO_x ; D — зона дожигания кокса

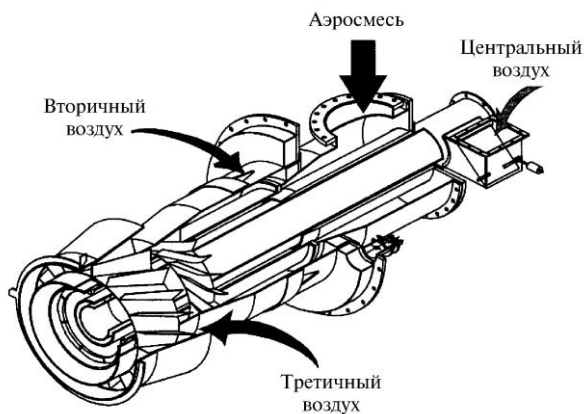


Рис. 1.14. Малотоксичная вихревая горелка фирмы Mitsui — Babcock

Благодаря этому в котлах с тангенциальными топками организуется «концентрическое» сжигание, при котором в центре топочной камеры (в поперечном сечении) образуется среда, обогащенная топливом, а по периферии, ближе к топочным экранам, — обогащенная воздухом. Такая организация топочного процесса снижает шлакование и опасность коррозии экранных труб, но главное, создается ступенчатое сжигание по горизонтали. В центральной части топки азот топлива переходит в молекулярный азот N_2 , в результате чего снижаются выбросы оксидов азота.

Эффективность концентрического сжигания была подтверждена в 90-х годах после внедрения описанных горелок на котлах ПК-24 Иркутской ТЭЦ-10 и ТП-85 Иркутской ТЭЦ-9 [12].

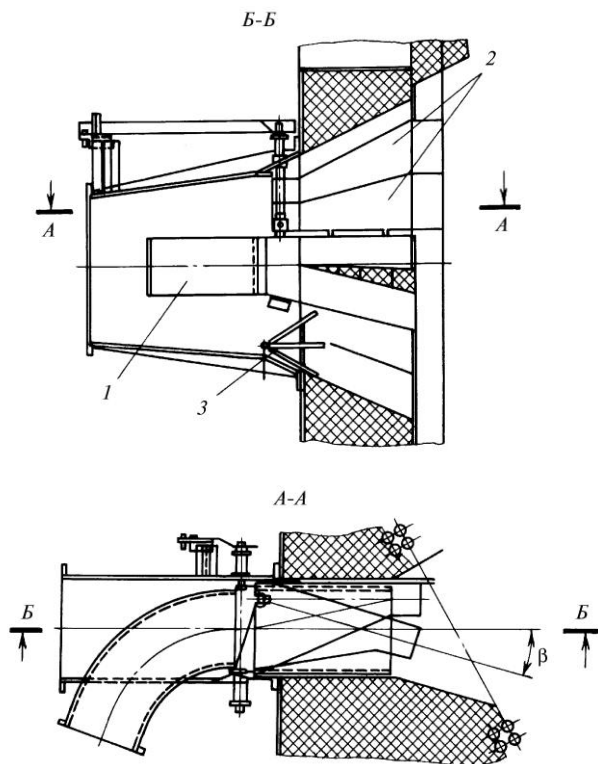


Рис. 1.15. Прямоточная пылеугольная горелка конструкции ВТИ—ЦКБ «Энергоремонт» для организации концентрического сжигания:

1 — аэросмесь; 2 — верхнее поворотное сопло вторичного воздуха; 3 — поворотная заслонка для регулирования расхода нижнего потока вторичного воздуха