

**ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА ОТ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ**

**1.5. Технологии сжигания органических топлив на ТЭС со сниженным уровнем образования вредных выбросов в атмосферу**

**1.5.5. Эффективное снижение образования оксидов азота в топках котлов за счет аэродинамической оптимизации ступенчатого сжигания топлив**

**1.5.5.8. Комплексное решение топочных проблем на водогрейных котлах КВГМ-180**

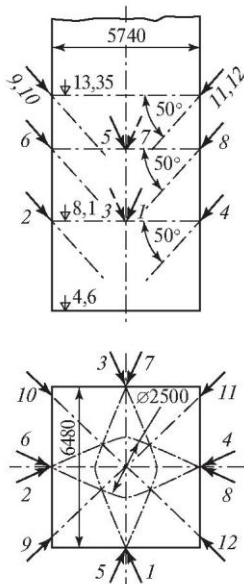
*Архинов А.М., МЭИ(ТУ); Вагнер А.А., ОАО РАО «ЕЭС России»; Соловьев Н.И., ОАО ЦКБ «Энергоремонт»; Абрамов В.В., ОАО «Западно-Сибирская ТЭЦ»*

Водогрейные котлы типа КВГМ-180 имеют ряд преимуществ перед котлами типа ПТВМ. К ним следует отнести: большую высоту топки с подъемным движением воды в экранных трубах при двухходовой циркуляционной схеме, размещение конвективных пакетов в опускающих газоходах с обеспечением дробеструйной очистки труб, установку двухскоростных дутьевого вентилятора и дымососа, а также снабжение котла дымососом рециркуляции газов.

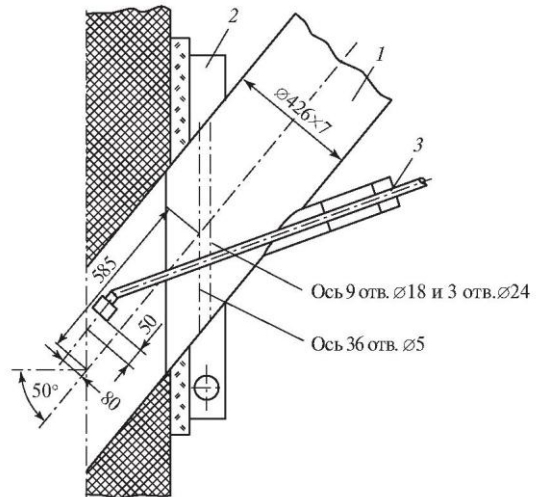
В то же время недостатком конструкции котла КВГМ-180 является высокое теплонапряжение поперечного сечения топки ( $q_f = 5,28$  Гкал/(м<sup>2</sup> · ч)). Это является причиной повышенного уровня максимальных тепловых потоков в поясе размещения горелок, что, в свою очередь, вызывает интенсивное отложение солей, например жесткости, на внутренней поверхности экранных труб из-за отрицательного коэффициента растворимости в воде указанных солей. Согласно [27] интенсивность отложений солей жесткости приблизительно пропорциональна тепловому потоку в квадрате.

В связи с изложенным сотрудники кафедры «Котельные установки и экология энергетики» МЭИ по заданию ОАО «Мосэнерго» разработали схему установки прямооточных горелок в топке котла КВГМ-180 [12], которая обеспечивает существенное снижение уровня максимальных падающих тепловых потоков в высокотемпературной зоне топки при сжигании газа и, что особенно важно, мазута. При разработке учитывалось требование по уменьшению удельных выбросов оксидов азота в атмосферу.

К внедрению была предложена компоновочная схема прямооточных горелок, изображенная на рис. 1.91. Принципиальная конструкция горелки представлена на рис. 1.92.



**Рис. 1.91. Компоновочная схема прямооточных горелок на реконструированном котле КВГМ-180**



**Рис. 1.92. Принципиальная конструкция прямооточной горелки:**

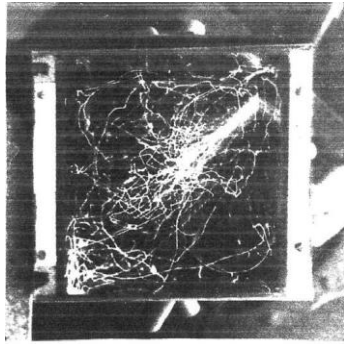
1 — корпус; 2 — газораспределительный коллектор; 3 — паромеханическая мазутная форсунка

Разработке компоновочной схемы горелок предшествовали многовариантные модельные исследования топочной аэродинамики. Основные проблемы заключались в рассредоточении факелов горелок по высоте и поперечному сечению топки, исключении интенсивных соударений струй и значительного их динамического давления на топочные стены. При этом наибольшие трудности были связаны с обеспечением относительно низкого местоположения факелов горелок третьего яруса, которые испытывают мощное выталкивающее воздействие со стороны топочных газов, образующихся от факелов нижерасположенных горелок, что обусловлено высоким теплонапряжением поперечного сечения топки.

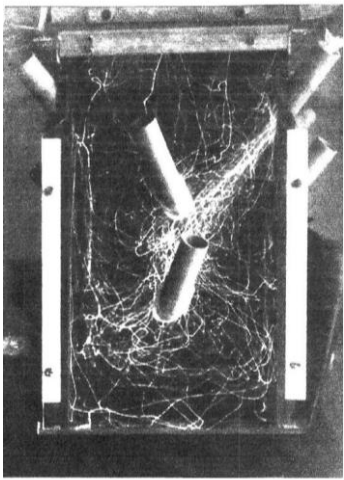
Предложена тангенциальная направленность струй горелок первого и второго ярусов относительно поверхности условного цилиндра диаметром 2,5 м при противоположном направлении тангенциальной закрутки. Это освободило приосевую зону топки от подъемного движения газов, образующихся от факелов указанных ярусов горелок. Благодаря сосредоточению в приосевой зоне струй, вытекающих из сильно наклоненных вниз горелок третьего яруса, удалось обеспечить их проникновение в нижнюю часть топки. Это хорошо иллюстрирует рис. 1.93, где в качестве примера показан характер движения струи горелки № 12 верхнего яруса.

Исследования показали, что в топочной камере с компоновочной схемой горелок согласно рис. 1.94 в условиях повышенной скорости истечения струй (до 45м/с) имеет место значительная внутренняя рециркуляция газов в свежие горелочные струи, составляющая 35...40% их исходной массы, а также высокая степень турбулизации факела. Это предопределило высокую экономич-

ность работы топки даже в условиях ступенчатого сжигания мазута вследствие низкого уровня критических избытков воздуха.



а)



б)

**Рис. 1.93. Характер движения струи горелки № 12:**  
а — вид через под; б — вид через боковую стенку модели

Сотрудниками МЭИ были проведены сравнительные испытания на реконструированном котле № 7 ТЭЦ-25 и типовом котле КВГМ-180 (ст. № 15) ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго», который снабжен шестью вихревыми горелками, установленными в трех ярусах — по три на боковых стенах топки. Результаты испытаний представлены в табл. 1.36. Приведенные показатели получены на реконструированном котле № 7 при ступенчатом сжигании, когда через отключенные горелки подавался вторичный воздух (при сжигании газа — через горелки № 2, 4, 5, 7, а при сжигании мазута — через горелки № 5, 7).

Ниже приведены основные достигнутые результаты.

Максимальный уровень падающих тепловых потоков зафиксирован на обоих котлах вблизи вертикальной оси фронтальной и задней стен топки. Характер изменения тепловых потоков по высоте указанных стен показан на рис. 1.94. Уровень максимальных падающих потоков на реконструированном котле снижен на 28 % при сжигании мазута. Доля неравномерности падающих тепловых потоков в зоне активного горения мазута (на все экраны, ниже отметки 15,15 м включительно), рассчитанная по соотношению  $(q_{max} - q_{min})/q_{max}$ , была снижена с 0,62 до 0,26.

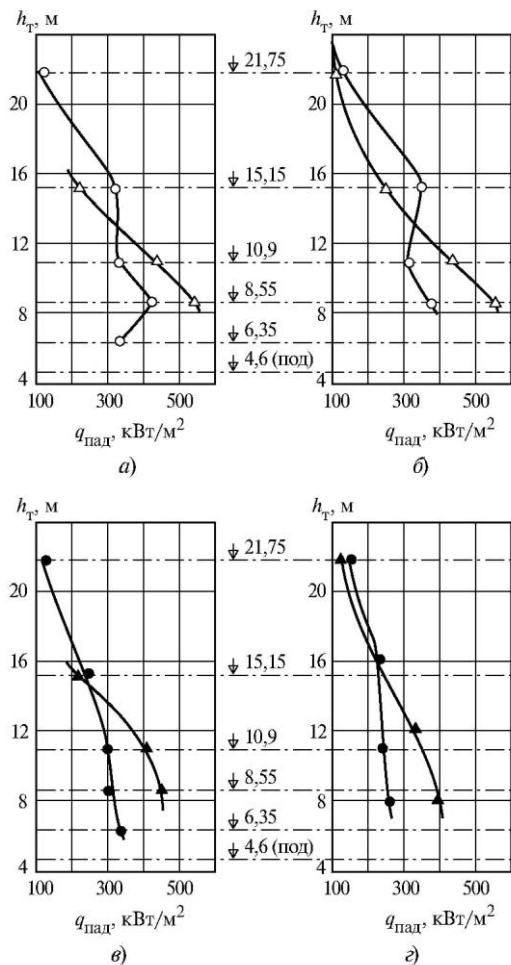
Максимальный падающий поток при сжигании мазута на реконструированном котле даже без включения в работу ДРГ оказался на 4 % ниже его максимального значения, зафиксированного на типовом котле при использовании ДРГ. Следует отметить, что при включении ДРГ степень рециркуляции газов составляла около 16 % на обоих котлах.

Температура уходящих газов на реконструированных котлах не увеличилась, несмотря на то, что температура газов вверху топки возросла. Это объясняется увеличением температурного напора в конвективных пакетах прежде всего за счет снижения температуры воды на их входе, поскольку приращение температуры воды в топочных экранах уменьшено на 20...25 %.

При использовании ДРГ повышается температура уходящих газов, однако на реконструированном котле — на меньшее значение (10 против 13 °С), что объясняется дополнительным снижением условного ядра факела из-за увеличения вертикальной составляющей скорости на выходе наклоненных вниз горелок.

Удельные выбросы оксидов азота при сжигании газа без использования ДРГ снижены на реконструированном котле более чем в 3 раза и составили около 55 мг/м<sup>3</sup>. При сжигании мазута этот показатель также улучшен (правда, в меньшей степени) и оказался на уровне 150...155 мг/м<sup>3</sup>.

Значения параметров, характеризующие сернистую агрессивность дымовых газов на реконструированном котле КВГМ-180, заметно меньше. Так, при работе котлов без ДРГ концентрация SO<sub>3</sub> снижена до 0,45·10<sup>-3</sup> %. С включением ДРГ произошло снижение концентрации SO<sub>3</sub> до 0,4·10<sup>-3</sup> %. Указанному уменьшению концентрации SO<sub>3</sub> и ее абсолютным значениям соответствует снижение температуры точки росы на 40 и 30 °С.



**Рис. 1.94. Изменение падающих тепловых потоков по высоте фронтального (а, в) и заднего (б, г) экранов; в и г — с включением ДРГ**

Таблица 1.36. Показатели работы типового и реконструированного котла КВГМ-180

Показатель работы котла при номинальной мощности	Типовой котел	Реконструированный котел	Примечания
Максимальный падающий поток без включения ДРГ при сжигании газа/мазута, кВт/м <sup>2</sup>	365/550	282/397	Трехъярусная компоновка прямооточных горелок на четырех стенах, высокое размещение горелок верхнего яруса, значительная внутренняя рециркуляция газов в свежии струи
То же при сжигании мазута с включением ДРГ, кВт/м <sup>2</sup>	415	300	То же
Доля неравномерности $n_q$ падающих тепловых потоков при сжигании мазута без ДРГ	0,62	0,26	$n_q = (q_{max} - q_{min})/q_{max}$ в зоне активного горения (отметки 8,55...15,15 м)
Критический избыток воздуха в уходящих газах при сжигании газа/мазута	1,095/1,09	1,055/1,04	Высокая степень турбулентности факела, значительная внутренняя рециркуляция газов с продуктами недожога в свежии струи, низкое положение хвостовой части факела горелок верхнего яруса
Приведенная к $t' = 110$ °С температура уходящих газов при сжигании газа/мазута без включения ДРГ (при чистых КП), °С	179/185	177/185	Увеличение температурного напора в КП, прежде всего, за счет снижения температуры воды на их входе
Повышение температуры уходящих газов от включения ДРГ при сжигании мазута, °С	13	10	Увеличение вертикальной составляющей скорости свежих струй
Удельные выбросы NO <sub>x</sub> при сжигании газа без включения ДРГ, мг/м <sup>3</sup>	185	55	Ступенчатое сжигание при $\alpha_{гор} = 0,73$ , значительная внутренняя рециркуляция газов с продуктами недожога в свежии струи
То же при сжигании мазута без включения/с включением ДРГ, мг/м	240/165	150/155	Ступенчатое сжигание при $\alpha_{гор} = 0,9$ , значительная внутренняя рециркуляция газов с продуктами недожога в свежии горелочные струи
Концентрация SO <sub>3</sub> в уходящих газах при сжигании мазута без включения/с включением ДРГ, %	$1,2 \cdot 10^{-3}/$ $0,75 \cdot 10^{-3}$	$0,45 \cdot 10^{-3}/0,4 \cdot 10^{-3}$	То же. Низкое положение в топке хвостовой части факела
Температура точки росы $t_p$ в тех же условиях, °С	125/110	85/80	Температуры точки росы, взятые из графической зависимости $t_p = f(SO_3)$ , полученной сотрудниками МЭИ на котлах ПТВМ

В основе уменьшения сернокислотной агрессивности дымовых газов лежит применение прямооточных горелок, сильно наклоненных вниз, что исключает попадание хвостовой части мазутного факела в верхнюю зону топки. Согласно [28] в этом случае значительная масса образовавшегося в хвостовой части факела SO<sub>3</sub> (за счет доокисления SO<sub>2</sub>) успевает разложиться с восстановлением менее агрессивного SO<sub>2</sub>. Этот процесс возможен лишь при высокой температуре — до входа в конвективные поверхности нагрева, где оставшееся количество SO<sub>3</sub> «замораживается».

Таким образом, сжигание газа и особенно мазута в ступенчатом ПВФ обеспечивает решение комплекса топочных проблем на реконструированных котлах КВГМ-180 (ст. № 7 и 8) ТЭЦ -25 ОАО «Мосэнерго» без использования ДРГ. Работа реконструированных котлов без ДРГ дает дополнительные преимущества: снижается температура уходящих газов и сокращается расход электроэнергии на тягу и дутье, в том числе за счет возможности работы дутьевого вентилятора на первой скорости вращения во всем диапазоне нагрузок.

Вместо кольцевых газораспределителей, имевших повреждения сварных швов, подвод газа в выходное се-

чение горелки целесообразно осуществить с помощью шести—восьми трубок, снабженных газовыпускными насадками, которые должны быть выполнены из жаропрочной стали.

Запорно-регулирующий шибер, который установлен в начале корпуса горелки диаметром 412 мм, не обеспечивает плавное регулирование расхода воздуха при растопке реконструированных котлов. При погрешности полного открытия шибера (например, на 5...10 %) перепад давления на нем на разных горелках может существенно отличаться, особенно на номинальной нагрузке, когда средняя скорость воздуха на выходе из горелок составляет около 45 м/с. Это приводит к разбежкам в расходах воздуха через разные горелки (сопла вторичного воздуха), поэтому шиберы необходимо вынести в подводящие воздухопроводы, где скорость воздуха не должна превышать 10...12 м/с.

Для обеспечения более надежной работы бетонной части амбразур горелок и требуемого направления струй целесообразно нарастить корпуса горелок до плоскости экранов, выполнив выходные участки корпусов из жаропрочной стали.