

Раздел четвертый

КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕПЛОВЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

4.4. Комплекс реконструктивных и режимно-технологических мероприятий при сжигании газа и мазута

4.4.1. Комплексная реконструкция котлов ТГМП-314Ц ТЭЦ-23 ОАО Мосэнерго с целью обеспечения их экологической чистоты, надежности и экономичности

Н.А. Зройчиков, И.В. Галас, Е.А. Морозова, ТЭЦ-23 ОАО Мосэнерго, Москва, Россия

М.Г. Лысков, МЭИ, Москва, Россия

В статье показано, что комплексный подход к решению задачи экологической безопасности в сочетании с мероприятиями повышающими экономичность, надежность и ресурсосбережение, дает высокую эффективность при минимальных затратах.

Паровые котлы типа ТГМП-314Ц для энергоблоков Т-250-240 были установлены на ТЭЦ-23 в 70^{ые}-80^{ые} годы прошлого столетия. Основная особенность конструкции этих газо-мазутных прямоточных котлов СКД заключалась в установке на фронтальной и задней стенах топочной камеры четырех циклонных предтопок. По замыслу разработчиков (МО ЦКТИ) циклонные предтопки способствовали интенсификации процесса горения топлива (мазута) за счет интенсивного перемешивания с воздухом и наличия карборундовой обмазки внутренней поверхности предтопок. Однако опыт длительной эксплуатации показал, что котлы этой модификации имеют проблемы, связанные с надежностью работы, а также не соответствуют со-

временным требованиям по выбросам вредных веществ в окружающую среду.

Исходные (без мероприятий по подавлению) концентрации оксидов азота в дымовых газах при сжигании мазута составляют 800-1000 мг/нм³ ($\alpha=1,4$), а при сжигании природного газа 600-800 мг/нм³, что в несколько раз превышает величину экологического норматива (в соответствии с ГОСТ Р 50831-95).

В основу решения задачи обеспечения экологической чистоты котлов ТГМП-314Ц была положена принятая в ОАО Мосэнерго стратегия применения первичных методов: режимно-технологических и реконструктивных мероприятий [1]. Задача при проведении комплексной реконструкции котлов ТГМП-314Ц ТЭЦ-23 ставилась так, чтобы снизить выбросы оксидов азота до нормативных величин без увеличения концентраций бенз(а)пирена в дымовых газах, при сохранении высокой надежности и высокой экономичности работы котлов.

Таблица. Мероприятия по реконструкции котлов с целью снижения выбросов вредных веществ

№ п/п	Мероприятия по реконструкции	Котел ст.№5	Котел ст.№6	Котел ст.№7	Котел ст.№8
1	Замена циклонных предтопок	Установлены 16 горелок ГМВП 6(1)-40 АО Экотоп	Установлены 16 горелок ГМВП 6(1)-40 АО Экотоп	Установлены 16 горелок ГМВИг (111)-50 ТКЗ-ВТИ	Установлены 16 горелок ГМВИг (111)-50 ТКЗ-ВТИ
2	Реконструкция НРЧ	Реконструированы фронтальная и тыльная стена НРЧ-1	Реконструированы фронтальная и тыльная стена НРЧ-1	Реконструированы фронтальная и тыльная стена НРЧ-1	Реконструированы фронтальная и тыльная стена НРЧ-1
3	Реконструкция КППНД	Уменьшена поверхность нагрева КППНД-1 на 2600 м ² , установлен паровой байпас 1 ^{ой} ступени КППНД	Уменьшена поверхность нагрева КППНД-1 на 2600 м ² , установлен паровой байпас 1 ^{ой} ступени КППНД	Уменьшена поверхность нагрева КППНД-1 на 2600 м ² , установлен паровой байпас 1 ^{ой} ступени КППНД	Уменьшена поверхность нагрева КППНД-1 на 2600 м ² , установлен паровой байпас 1 ^{ой} ступени КППНД
4	Реконструкция ВЭ	Увеличена поверхность ВЭ на 1560 м ²	Заменена с увеличением поверхность нагрева ВЭ	Увеличена поверхность ВЭ на 1560 м ²	Заменена с увеличением поверхность нагрева ВЭ
5	Реконструкция РВП	Заменена холодная набивка РВП на шаростержневую	Заменена холодная набивка РВП на шаростержневую	Установлена шаростержневая набивка холодного слоя	Установлена шаростержневая набивка холодного слоя
6	Монтаж надгорелочных сопел вторичного дутья	Установлено 8 надгорелочных сопел	Установлено 8 надгорелочных сопел	Установлено 8 надгорелочных сопел	Установлено 8 надгорелочных сопел
7	Замена ДРГ	Установлены 2 ДРГ ГД-20	Установлены 2 ДРГ ГД-20	Установлены 2 ДРГ ГД-25S	Установлены 2 ДРГ ГД-25S

Актуальность такой постановки задачи комплексной реконструкции вытекает из опыта применения режимно-технологических мероприятий в ОАО Мосэнерго на котлах серий ТГМП-314 с настенной и подовой компоновкой горелочных устройств. Этот опыт

указывает на то, что при применении режимно-технологических мероприятий (в основном это сочетание ступенчатого сжигания топлива с рециркуляцией дымовых газов в зону горения) без реконструкции горелочных устройств удается достигнуть нормируе-

мых величин концентраций оксидов азота при сжигании природного газа и (с некоторыми оговорками) мазута. Однако при этом возникает ряд сопутствующих проблем: увеличение концентрации бенз(а)пирена (практически пропорциональное снижению C_{Nox}), снижение надежности работы котла из-за повышенных долей рециркуляции дымовых газов при нагрузках близких к номинальным, приводящих к росту температуры вторичного пара, снижение надежности работы топочных экранов из-за образования агрес-

сивных газов в пристенных зонах топки, снижение КПД котла из-за увеличения температуры уходящих газов, проблемы с тягой и дутьем и ограничения по нагрузке котлов и др. Поэтому программой комплексной реконструкции котлов ТГМП-314Ц на первом этапе (котлы ст.№5 и №6) предусматривалась замена циклонных предтопок на настенные прямоточно-вихревые горелки ГМПВ б(1)- 40 АО Экотоп тангенциальной компоновки с организацией двухвихревой аэродинамической схемы в топочной камере (рис.1).

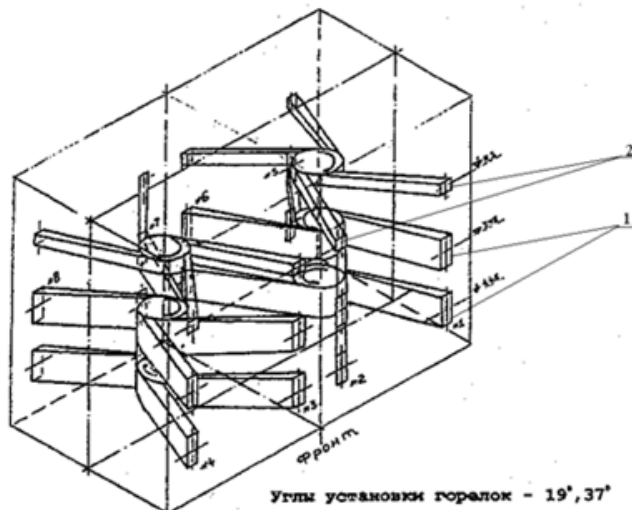


Рис.1. Компоновка надгорелочных сопел с настенными прямоточно-вихревыми горелками ГМПВ б(1)- 40 АО Экотоп: 1) прямоточно-вихревые горелки (16 шт.), 2) надгорелочные сопла (8 шт.).

Двухвихревая аэродинамическая схема это два вихря в каждой полутопке: вихрь топливовоздушной смеси и вихрь вторичного воздуха, вращающиеся встречно.

На втором этапе (котлы ст.№7 и №8) программой исследований предусматривалась замена циклонных предтопок на малотоксичные горелки ГМВИ г (Ш)-50 ТКЗ-ВТИ (рис.2). На всех котлах реконструировались фронтальная и тыльная стороны НРЧ-1, а также поверхности нагрева КППНД-1, ВЭ и РВП. Мероприятия по реконструкции поверхностей нагрева котлов ТГМП-314Ц ТЭЦ-23 представлены в табл. Отметим, что индекс "Ц" в маркировке котла после замены циклонных предтопок на настенные горелки носит условный характер.

Из табл. следует, что комплексная реконструкция поверхностей нагрева котлов преследовала цель предотвратить отрицательное влияние режимно-технологических мероприятий по подавлению образования оксидов азота на надежность и экономичность работы котлов.

Проведенные на котлах ТГМП-314Ц исследования также имели комплексный характер: исследовалось влияние реконструктивных и режимно-технологических мероприятий на величины выбросов оксидов азота, оксида углерода и бенз(а)пирена в рабочем диапазоне нагрузок и режимов, а также всесторонне исследовалось влияние этих мероприятий на надежность и экономичность работы котлов, включая измерения плотностей тепловых потоков на экраны

топочной камеры, температурного режима труб поверхностей нагрева, исследования работы реконструированных котлов на скользящем давлении.

Основные результаты исследований по оксидам азота, полученные на 1^{ом} этапе реконструкции (котлы ст.№5 и 6) представлены на рис.3. Из этого рисунка следует, что достижение нормируемых величин концентраций оксидов азота при работе на природном газе -125 мг/нм³ достигается при сочетании ступенчатого сжигания ($\beta=16\%$) с рециркуляцией дымовых газов ($\tau=11-12\%$), т.е. при включении одного ДРГ. Характерно, что исходная величина концентраций оксидов азота только за счет установки новых горелочных устройств (без включения вторичного дутья и рециркуляции) при нагрузке близкой к номинальной составила около 320 мг/нм³, что существенно ниже, чем на котлах типа ТГМП-314 с настенными вихревыми и подовыми горелками. Вторичное дутье снижает концентрации оксидов азота на 40% при нагрузках близких к номинальным, а включение одного ДРГ на полную загрузку приводит к дополнительному снижению почти в два раза. В результате уровень концентраций оксидов азота при номинальной нагрузке и оптимальном избытке воздуха ($\alpha_{\text{вз}}=1,09$) составил 95-100 мг/нм³ (здесь и далее концентрации оксидов азота даются в пересчете на стандартный избыток воздуха $\alpha=1,4$). При неблагоприятных метеоусловиях есть возможность снизить концентрации оксидов азота до уровня 75-80 мг/нм³ включением второго ДРГ.

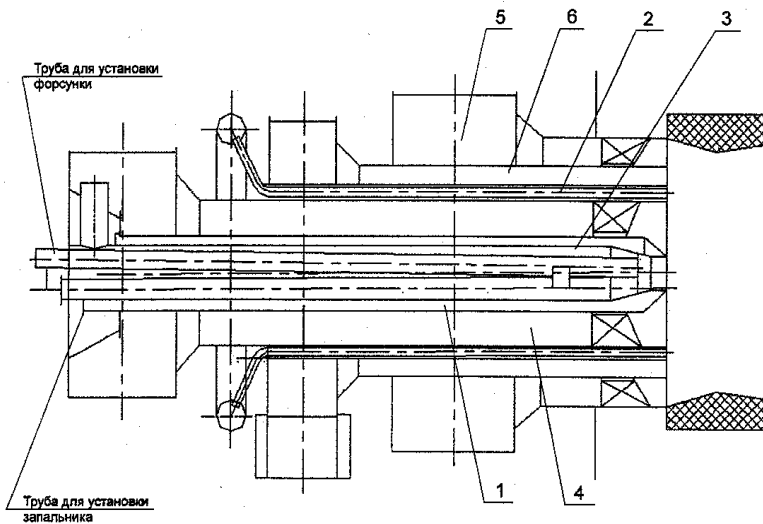


Рис.2. Разрез малотоксичных горелок ГМВИ г (Ш)-50 ТКЗ-ВТИ:

- 1- центральный подвод газа - 30%
- 2- периферийный подвод газа - 70%
- 3- центральный подвод воздуха - 18%
- 4- промежуточный подвод воздуха - 32%
- 5- периферийный подвод воздуха - 50%
- 6- подвод газов рециркуляции

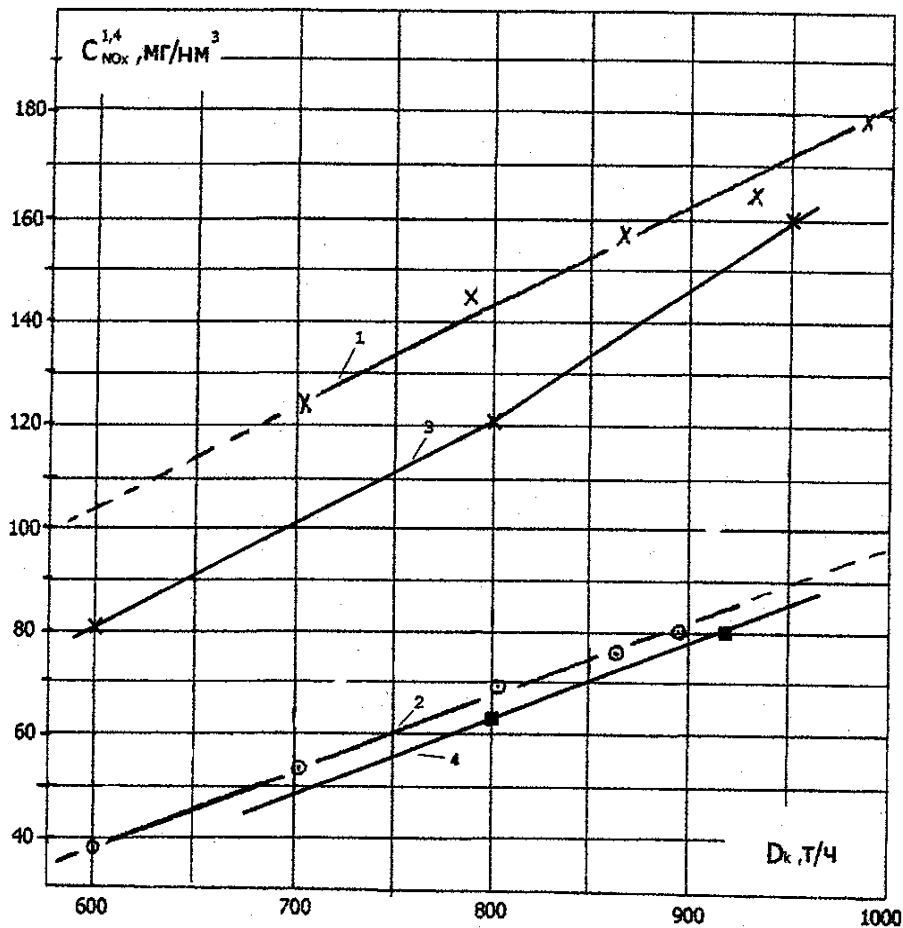


Рис.3. Результаты исследований по оксидам азота, полученные на 1^{ой} этапе реконструкции котлов №№5,6: 1-котел ст.№5, $\gamma=0$ – ДРГ откл., 2-котел ст.№5, $\gamma=12\%$ -в работе 1 ДРГ, 3-котел ст.№6, $\gamma=0$ – ДРГ откл., 4-котел ст.№6, $\gamma=12\%$ -в работе 1 ДРГ.

При сжигании мазута указанное сочетание режимных мероприятий также позволяет снизить концентрации оксидов азота в дымовых газах до нормируемых величин – 250 мг/м³. Исследованиями не было выявлено какого либо отрицательного влияния режимных мероприятий на надежность работы поверх-

ностей нагрева котлов (ст.№5 и 6) во всем регулируемом диапазоне нагрузок (0,6–1,0)D_н. Учитывая, что реальная нагрузка котла редко превышает 900 т/ч, необходимая величина доли рециркуляции лежит в пределах 7-9%. Это в сочетании с мероприятиями по реконструкции КППНД (байпас пара помимо 1^{ой} ступ-

пени КПП НД и впрыски между ступенями КПП НД за байпасом) практически снимает проблемы, связанные с работой вторичного пароперегревателя. Было установлено, что при сжигании мазута не исключена опасность образования коррозионно опасных концентраций H_2S . Поэтому при сжигании мазута не следует длительно использовать режимы с полностью открытыми соплами вторичного дутья и даже одним работающем ДРГ при нагрузках близких к номинальным. Экономические показатели работы котлов, также были сохранены на высоком (проектном) уровне: КПД котлов "брутто" на номинальной нагрузке оценивался величиной 93,45% и 93,52% при работе на природном газе с ДРГ и без ДРГ соответственно. Таким образом примененная на 1^{ом} этапе комплексной реконструкции котлов ТГМП-314Ц схема установки прямооточных вихревых горелок в сочетании со ступенчатым сжиганием и рециркуляцией дымовых газов оказалась вполне удовлетворительной в отношении ограничения выбросов оксидов азота при сжигании природного газа.

Проблему снижения выбросов при сжигании газа и мазута в значительной степени удалось решить на втором этапе реконструкции котлов ТГМП-314Ц ст. № 7 и 8, оборудованных малотоксичными горелками ТКЗ-ВТИ. По своему рабочему процессу горелка относится к комбинированному типу, так как в ней сочетается несколько принципов (процессов), приводящих к снижению интенсивности генерации оксидов азота при сжигании топлив. Горелка ТКЗ-ВТИ сочетает процессы нестехиометрического сжигания, стадий-

ного сжигания и экранный ввод газов рециркуляции. В результате сочетания этих процессов на начальном участке факела образуются две зоны горения топлива: окислительная и восстановительная. В приосевой зоне происходит сжигание газа с локальными избытками воздуха близкими к единице или немного превышающими единицу. В периферийной зоне образуется восстановительная среда где избытки воздуха существенно меньше единицы. В периферийной зоне газ вводится сначала в поток газов рециркуляции, а затем происходит перемешивание с периферийным потоком воздуха. Смешение двух участков факела происходит на некотором удалении от среза горелки после выгорания основного количества газа, подаваемого в центральную и среднюю части горелки. Кроме этого в топке котла предусмотрено использование принципа ступенчатого сжигания топлива путем подачи части воздуха в надгорелочные сопла. При сжигании мазута структура факела другая и более сложная, но результаты исследований показали, что эффекты нестехиометричности и стадийности проявляются в достаточной мере и при сжигании мазута. Исследования на котлах ст. № 7 и 8 ТЭЦ-23 показали, что подход, примененный при разработке конструкции новой горелки, привел к резкому улучшению экологических характеристик котлов. Далее будет показано, что это проявилось не только в плане подавления образования оксидов азота, но и в отношении эффективности сжигания топлив и значительного снижения генерации бенз(а)пирена при сжигании природного газа и мазута.

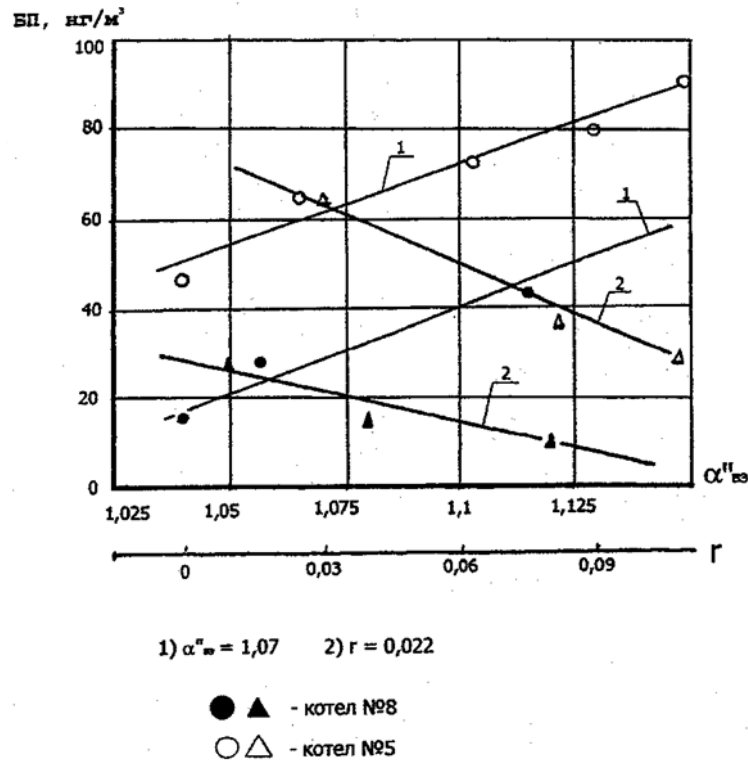


Рис.4. Результаты проведения мероприятий на котлах №№5 и 8 и их влияние на выбросы бенз(а)пирена.

В результате промышленных испытаний на котле ст. №7 было установлено, что при нагрузках близких к номинальным горелки ТКЗ-ВТИ обеспечили только за счет конструктивных решений самой горелки снижение выбросов оксидов азота до 307 мг/нм³ при сжига-

нии природного газа и до 407 мг/нм³ при сжигании мазута, что примерно в три раза ниже, чем на этих котлах с горелками ТКЗ, ХФ ЦКБ-ВТИ, подовыми горелками и циклонными предтопками. Была проведена серия экспериментов с целью нахождения оптималь-

ного режима работы малотоксичных горелок ТКЗ-ВТИ в сочетании с подачей воздуха в надгорелочные сопла и рециркуляцией дымовых газов. При сжигании природного газа, при нагрузках близких к номинальным ($0,9D_{НОМ}$), при включении вторичного дутья ($\beta=32\%$), доле рециркуляции дымовых газов $\gamma=6\%$ и коэффициенте избытка воздуха в режимном сечении $\alpha''_{вз}=1,09$ концентрации оксидов азота поддерживались на уровне $90-100 \text{ мг/нм}^3$. При сжигании мазута при $D=0,9D_{НОМ}$, $\beta=5\%$, $\gamma=0,17$ и $\alpha''_{вз}=1,09$ концентрации оксидов азота составили 200 мг/нм^3 , что также существенно ниже нормируемой величины. Таким образом, использование горелки ТКЗ-ВТИ в сочета-

нии со ступенчатым сжиганием позволяет снижать концентрации оксидов азота до нормируемых величин при значительно меньших долях рециркуляции дымовых газов, что снижает остроту проблем связанных с надежностью и экономичностью работы котла. Это в сочетании с мероприятиями по комплексной реконструкции котлов позволило практически полностью решить эти проблемы и сохранить высокую надежность и экономичность работы котлов. Но наиболее важным результатом применения горелок ТКЗ-ВТИ было отсутствие увеличения концентраций БП в режимах с технологическими методами, направленными на подавление оксидов азота.

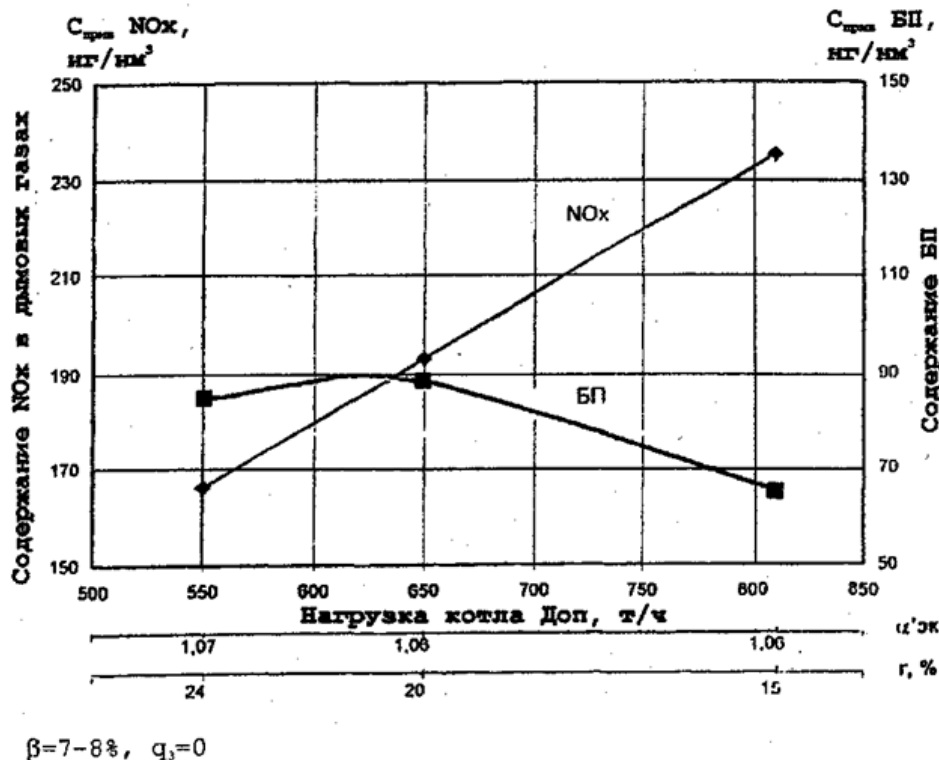


Рис. 5. Влияние мероприятий на котле ТГМП-314Ц на выбросы бенз(а)пирена и оксидов азота.

Из представленных на рис. 5 данных следует, что изменился привычный характер зависимости концентраций БП от избытка воздуха и рециркуляции дымовых газов. Такой характер зависимостей концентраций БП от избытка воздуха и рециркуляции дымовых газов наблюдался при сжигании и газа и мазута. Еще один необычный результат заключался в том, что исходный (без ступенчатого сжигания и рециркуляции) уровень концентраций БП при сжигании мазута был ниже, чем при сжигании газа: 89 нг/нм^3 и 140 нг/нм^3 соответственно. Последнее можно объяснить тем, что использовавшийся в наших исследованиях мазут имел влажность около 10% и подвергался обработке в эмульгирующем устройстве. О положительном влиянии эмульгирования мазута в плане снижения интен-

сивности образования БП указывалось в исследованиях [2, 3]. Аналогичный результат получен и при проведении данного исследования. Что касается зависимостей концентраций БП от избытков воздуха и рециркуляции, то здесь, по-видимому, все объясняется особенностями смесеобразования и процесса сжигания реализуемого малотоксичной горелкой. Здесь можно отметить также, что содержание СО в дымовых газах во всех исследованных режимах было значительно ниже допустимого. На рис. 6 показан сравнительный уровень концентраций оксидов азота и бенз(а)пирена в дымовых газах котлов ТГМП-314. Видно, что наилучшие экологические показатели имеют котлы, оборудованные малотоксичными горелками ТКЗ-ВТИ.

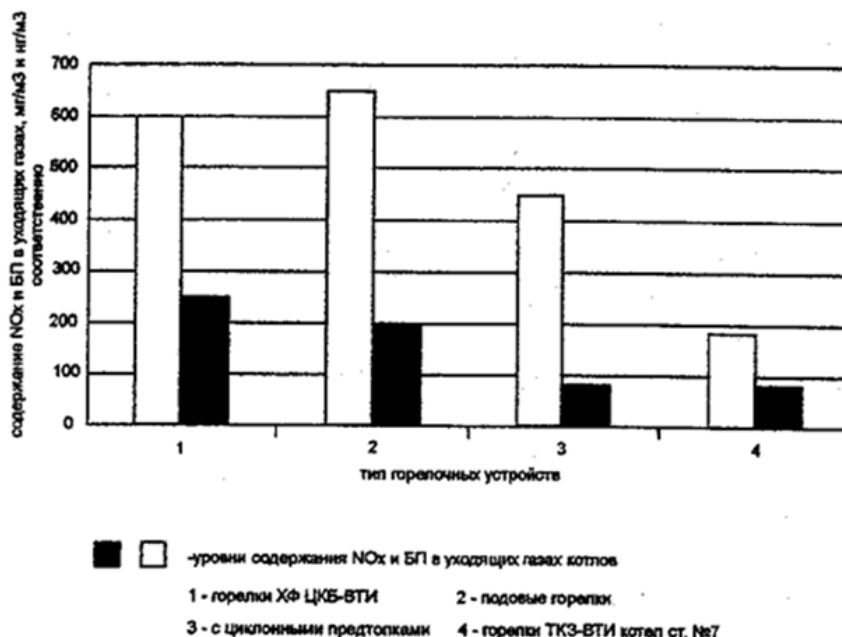


Рис.6. Сравнительный уровень концентраций оксидов азота и бенз(а)пирена в дымовых газах котлов ТГМП-314.

ВЫВОДЫ

1. Результаты, полученные на котлах ТГМП-314Ц ст.№7 и 8 (на 2^{ой} этапе работы), подтвердили правильность выбранной концепции по обеспечению экологической чистоты, надежности и экономичности мощных котлов СКД путем комплексной реконструкции горелочных устройств с установкой малотоксичных горелок и реконструкции ряда поверхностей нагрева (НРЧ, КПП НД, ВЭ. РВП) в сочетании с технологическими режимными методами подавления образования вредных веществ.

2. Итогом проведения природоохранных мероприятий на котлах ТЭЦ-23 ОАО Мосэнерго явилось резкое снижение выбросов вредных веществ в атмосферу. Так в дымовых газах котлов СКД концентрации NO_x снизились в пять и более раз, а суммарный массовый выброс оксидов азота в атмосферу города с дымовыми газами энергетических котлов в 2002 г. по сравнению с 1994 г.(год до реконструкции) снизился в 4,5 раза.

3. Учитывая, что положительные результаты достигнуты по выбросам бенз(а)пирена, оксидов углерода и другим вредным веществам, то можно признать, что это достаточно весомый вклад в оздоровление экологической обстановки г. Москвы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. **Горюнов И.Т.** Анализ, разработка и выбор оптимальных мероприятий по повышению экологической эффективности эксплуатации крупной энергосистемы. Дисс. канд. техн. наук. М. – 1998.
2. **Зройчиков Н.А., Дегтерев В.Н., Чернов С.Л. и др.** Глубокое снижение выбросов оксидов азота технологическими методами от котла ТГМ-96Б, работающего на природном газе // Вестник РАПЭ. –1997.- С.67-74.
3. **Зройчиков Н.А., Чернов С.Л.** Опыт эксплуатации дымососа рециркуляции газов (ДРГ-ГД-25S) с S-образными лопатками на котле ТГМП-314 // Известия АПЭ. –1998.-№1.- С.25-31
4. **Кормилицын В.И., Лысков М.Г., Румынский А.А.** Комплексная экосовместимая технология сжигания водомазутной эмульсии и природного газа./ Теплоэнергетика. – 1996. - № 9. – с. 13-17.
5. **Галас И.В., Морозов О.В., Усман Ю.М.** Влияние эмульгирования мазута на выбросы вредных веществ // Энергосбережение и водоподготовка, 2000, №3.

Зройчиков Н.А., Галас И.В., Лысков М.Г., Морозова Е.А. Комплексная реконструкция котлов ТГМП-314Ц ТЭЦ-23 ОАО «Мосэнерго» для снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду // Теплоэнергетика – 2006. – № 5. – С.26–31.