

ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ОТ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ

1.4. Снижение выбросов соединений ванадия и бенз(а)пирена

1.4.2. Образование и методы снижения выбросов бенз(а)пирена

Аничков С.Н. и Глебов В.П.; ОАО «ВТИ»

Экологическая характеристика и нормирование выбросов бенз(а)пирена

Бенз(а)пирен представляет собой твердое кристаллическое вещество в виде игл бледно-желтого цвета. По степени воздействия на организм человека БП отнесен к I классу (вещества чрезвычайно опасные). Иногда БП называют бластоогенным веществом, т.е. веществом, способным вызывать всевозможные опухоли и новообразования в живом организме, как злокачественные (рак и саркома), так и другие (аденома, папиллома и т.п.). В результате проведения опытов над животными и изучения профессиональных случаев заболевания раком определено, что вообще все ПАУ обладают бластоогенными свойствами, а многие из них, например БП, канцерогенны. Известно также, что при наличии БП в каждой конкретной среде подразумевается присутствие в ней большинства других ПАУ. Учитывая, что БП является наиболее сильным канцерогеном, его принято считать своеобразным индикатором и показателем канцерогенной опасности изучаемой среды.

Канцерогенное действие ПАУ проявляется в результате проникновения в организм, накопления до определенного количества и при определенной длительности контакта. Очевидно, что накопление канцерогена в организме зависит от вносимой дозы, скорости разрушения в организме и выделения. Установлено, что человеческий организм в наибольшей мере накапливает и удерживает БП в детском возрасте и в возрасте старше 50 лет.

Кроме непосредственного воздействия, БП, как и другие ПАУ, попадая в атмосферу и взаимодействуя с оксидами азота, под влиянием солнечной радиации образует фотохимические оксиданты — компоненты фотохимического смога, что является дополнительным фактором ухудшения экологической обстановки.

На основании результатов исследований онкологов и гигиенистов в нашей стране установлены следующие предельно-допустимые концентрации для БП: $1 \cdot 10^{-6}$ мг/м³ (среднесуточная) — для воздуха населенных мест; $1,5 \cdot 10^{-4}$ мг/м³ — для воздуха рабочей зоны; $2 \cdot 10^{-5}$ мг/г — для воздушно-сухой почвы и $5 \cdot 10^{-6}$ мг/л — для поверхностных вод.

В соответствии с «Инструкцией по нормированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для тепловых электростанций и котельных» РД 153-34.0-02.303—98 для котлов паропроизводительностью более 30 т/ч БП не входит в перечень загрязняющих веществ, выбросы которых подлежат обязательному нормированию. Вместе с тем на основании того же документа в районах с неблагоприятной экологической обстановкой местные природоохранные органы России вправе требовать от ТЭС и котельных предоставления данных по содержанию БП в уходящих газах котлов независимо от их мощности и устанавливать нормативы на выбросы, если при расчетах рассеивания они создают свыше 0,05 ПДКм.р. в атмосферном воздухе. Что же касается котлов малой мощности, то для них БП включен в перечень веществ, выбросы которых подлежат обязательному учету

и нормированию.

Следует иметь в виду, что для БП установлено только среднесуточное значение (ПДКс.с.). В этом случае на основании «Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» ОНД-86 при расчетах рассеивания валовых выбросов БП его концентрация в приземном слое воздуха $C_{БП}$ сравнивается с ПДК по формуле:

$$C_{БП} < 10 \text{ ПДКс.с.}$$

Влияние конструктивных особенностей и режимных параметров котлов на образование бенз(а)пирена при сжигании различных топлив

Бенз(а)пирен является одним из продуктов пиролиза любого углеводородного топлива, поэтому он и другие ПАУ образуются в той или иной степени при всех процессах, связанных с термической переработкой топлива. В связи с этим основными источниками поступления ПАУ в атмосферу являются коксохимия, металлургия, автомобильный и авиатранспорт, а также в определенной степени теплоэнергетика.

Вклад объектов энергетики в общее загрязнение окружающей среды БП следует рассматривать в двух аспектах — это выбросы БП котлами средней и большой мощности (свыше 25 МВт) и выбросы паровыми и водогрейными котлами малой мощности. В первом случае накоплен достаточно большой экспериментальный материал по содержанию БП в продуктах сгорания газомазутных котлов при различных режимах сжигания топлива и в гораздо меньшей степени для пылеугольных. Во втором случае имеющиеся данные в этой области крайне немногочисленны и противоречивы.

Газомазутные котлы. Анализ имеющихся экспериментальных данных и представления о механизме образования БП в процессах пиролиза топлива позволяет сделать вывод о том, что применительно к газомазутным котлам уровень выбросов БП с уходящими газами определяется режимами сжигания топлива; конструкция котла играет при этом второстепенную роль. По данным большинства авторов, зависимость содержания БП от режимных параметров такая же, как и для других продуктов неполного горения (сажи, СО, Н₂) [1, 2].

Определяющими режимными факторами для образования БП являются коэффициент избытка воздуха в топке, температурный режим и условия смесеобразования. Кроме того, выявлено, что применение на газомазутных котлах технологических методов подавления образования оксидов азота, связанное с замедлением процесса смесеобразования, снижением температуры факела и увеличением длительности горения, как правило, приводит к существенному росту образования БП [1, 2]. С учетом этого установлено, что на уровень содержания БП в уходящих газах газомазутных котлов влияют следующие основные факторы:

- теплонапряжение топочного объема;
- коэффициент избытка воздуха в топке;
- нагрузка котла;
- способ организации и степень подачи газов рецир-

куляции в топку котла;

- способ организации и степень подачи вторичного дутья при ступенчатом сжигании топлива;
- подача влаги в топку для снижения образования оксидов азота;
- очистка конвективных поверхностей при работе котла.

На рис. 1.50 приведена диаграмма, иллюстрирующая степень и направленность влияния основных режимов сжигания топлива на образование БП.

На базе экспериментальных данных был получен ряд

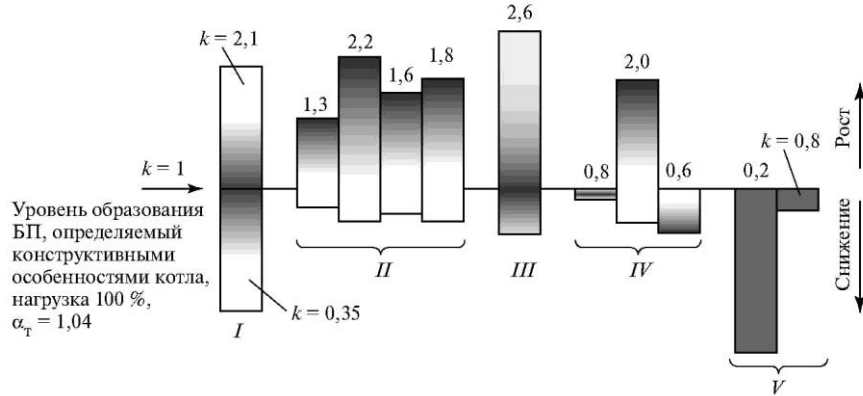


Рис. 1.50. Диаграмма влияния режимных факторов на образование БП в топках газомазутных котлов (значения коэффициента k приведены относительно начального уровня):

I — коэффициент избытка воздуха в топке α''_T , $k = 2,1$ при снижении α''_T с 1,04 до 1,01, $k = -0,35$ при увеличении α''_T с 1,04 до 1,1 (минус при цифрах — снижение образования БП); *II* — рециркуляция дымовых газов в топку: $k = 1,3$ при вводе газа в под топку, $k = 2,2$ при вводе в воздух или отдельный канал горелки, $k = 1,6$ при вводе в щлицы (сопла) напротив горелок, $k = 1,8$ при вводе в щлицы под горелками; *III* — нагрузка котла, $k = 2,6$ (при снижении нагрузки со 100 до 50 %); *IV* — ступенчатое сжигание, $k = -0,8$ при отключении половины горелок верхнего яруса (по топливу), $k = 2,0$ при ступенчатом сжигании по «вертикали», $k = -0,6$ то же по «горизонтالي»; *V* — подача влаги в зону горения, $k = -0,2$ при вводе влаги в пристенную зону и при зональном впрыске, $k = -0,8$ при вводе в дутьевой воздух

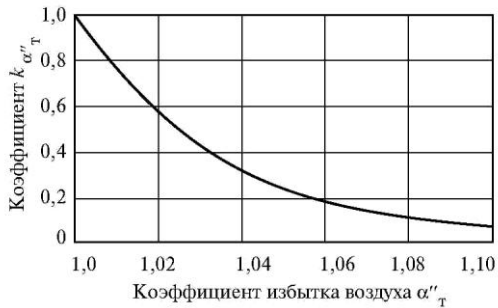


Рис. 1.51. Влияние коэффициента избытка воздуха в топке на содержание БП в продуктах сгорания газомазутных котлов



Рис. 1.52. Влияние нагрузки котла на содержание БП в продуктах сгорания газомазутных котлов



Рис. 1.53. Влияние различных способов подачи газов рециркуляции в топку газомазутных котлов на содержание БП в продуктах сгорания:
1 — подача газов в дутьевой воздух; *2* — в щлицы под горелками; *3* — в щлицы напротив горелок; *4* — в подтопки

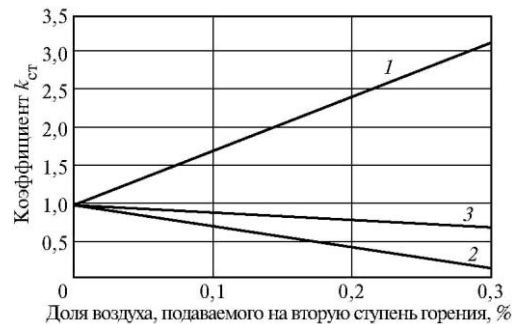


Рис. 1.54. Влияние ступенчатого сжигания топлива на содержание БП в продуктах сгорания газомазутных котлов:
1 — для схемы, реализующей ступенчатое сжигание по «вертикали»; *2* — то же по «горизонтали»; *3* — при отключении половины горелок верхнего яруса (по топливу)

эмпирических зависимостей, позволяющих производить количественную оценку влияния указанных факторов на уровень выбросов БП в атмосферу для газомазутных котлов. На рис. 1.51—1.55 представлены количественные зависимости, характеризующие относительное изменение содержания БП в продуктах сгорания котлов в зависимости от изменения условий сжигания топлива.

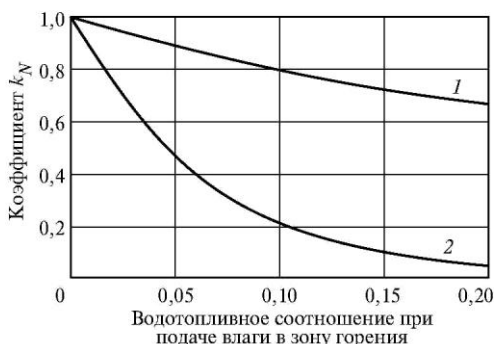


Рис. 1.55. Влияние ввода влаги в зону горения на содержание БП в продуктах сгорания газомазутных котлов:

1 — ввод влаги в дутьевой воздух; 2 — в пристенную зону топки и зональный впрыск

Основной технологических методов снижения выбросов оксидов азота, применяемых в настоящее время на котлах, являются процессы, связанные с затягиванием процесса горения и приводящие, как правило, к росту образования БП и других продуктов недожога. На рис. 1.56 приведены зависимости содержания NO_x и суммарных топочных потерь при сжигании газа и мазута от коэффициента избытка воздуха для некоторых котлов. Видно, что в области предельно низких значений избытков воздуха происходит резкое увеличение содержания в дымовых газах продуктов недожога и, следовательно, БП. В то же время в диапазоне изменений избытков воздуха от 1,00 до 1,06 зависимости для оксидов азота прямо противоположны.

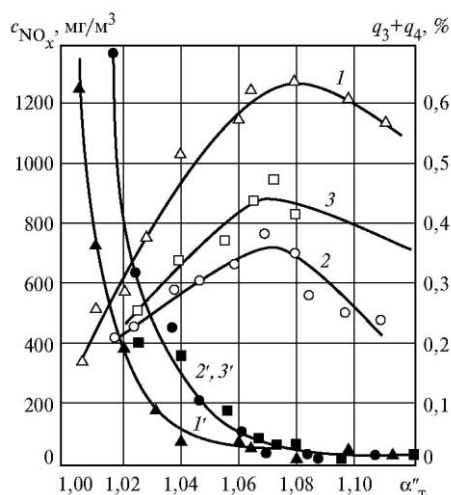


Рис. 1.56. Зависимости концентраций NO_x (кривые 1—3) и суммарных топочных потерь (1—3') от коэффициента избытка воздуха α , при сжигании мазута в котлах ТГМП-114 (1, 1), ТГМ-94 (2, 2') и газа в котле ТГМ-94 (3, 3')

Результаты большинства экспериментальных работ, проведенных на котлах, оборудованных различными схемами технологического подавления NO_x , показывают, что применение рециркуляции дымовых газов и органи-

зация многоступенчатого сжигания топлива вызывает существенное возрастание содержания БП в продуктах сгорания (см. рис. 1.53, 1.54). Так, на газомазутных котлах достижение максимальной эффективности снижения образования оксидов азота при одновременном применении указанных мероприятий сопровождалось в среднем 5...6-кратным увеличением содержания БП в уходящих газах.

С учетом того, что данные методы снижения выбросов NO_x на газомазутных котлах получили широкое распространение и в настоящее время являются для ТЭС практически единственно экономически доступными, их внедрение на котлах должно сопровождаться проведением комплексных работ по оптимизации топочных режимов для обеспечения допустимого уровня выбросов БП в атмосферу.

Результаты исследований на котлах при сжигании мазута показали, что только наладкой топочных устройств и оптимизацией процесса горения (в частности, на котле ТГМ-96Б) при одновременном применении рециркуляции газов в горелки и двухступенчатого сжигания мазута удается достигнуть проектной эффективности снижения выбросов оксидов азота с увеличением содержания БП в уходящих газах только в 2 раза без ухудшения технико-экономических показателей работы котла. При этом было показано, что косвенным критерием оценки оптимального ведения процесса сжигания для указанных целей может служить незначительное содержание (до 10 мг/м^3) или полное отсутствие СО в продуктах сгорания. Учитывая сложность проведения прямых измерений содержания БП, содержание оксида углерода в продуктах сгорания котлов, на которых применяются технологические методы снижения NO_x , в определенной степени можно использовать для индикации превышения допустимых концентраций БП в уходящих газах.

Пылеугольные котлы. Содержание БП в уходящих газах котлов при сжигании твердого топлива определяется следующими параметрами:

- теплотой сгорания угля;
- конструкцией нижней части топки (твердое или жидкое шлакоудаление);
- коэффициентом избытка воздуха в топке;
- нагрузкой котла;
- типом золоуловителей и эффективностью их работы.

Исследования показали, что влияние режимных факторов при сжигании твердого топлива в пыле-угольных котлах выражено в меньшей степени по сравнению с газомазутными котлами. Изменение избытка воздуха в топке существенно влияет на образование БП только в области предельно низких значений α_T , а при $\alpha_T > 1,20$ содержание БП в продуктах сгорания в большинстве случаев стабилизируется.

Отмечено влияние вида сжигаемого угля на степень образования БП: при прочих равных условиях она пропорциональна теплоте сгорания топлива. Из конструктивных факторов на образование БП влияет наличие или отсутствие холодной воронки — при жидком шлакоудалении уровень его образования в среднем в 1,5 раза выше.

Применительно к котлам средней и большой мощности содержание БП в уходящих газах определяется видом сжигаемого угля и в основном эффективностью работы золоуловителей, поскольку по мере охлаждения продуктов сгорания по тракту котла и образования гетерогенных поверхностей золы и сажистых частиц проис-

ходит активная конденсация на них паров БП. При этом очевидно, что абсорбция БП происходит в основном на мелкодисперсных фракциях летучей золы, имеющих большую удельную поверхность, поэтому повышения степени улавливания БП в золоуловителях можно достигнуть в настоящее время только путем повышения эффективности улавливания в них тонких фракций золы. Ниже приведены ориентировочные данные по эффективности улавливания БП в золоулавливающих устройствах различных типов:

Тип золоуловителя	Эффективность улавливания БП, %
Электрофильтр	60... 80
Мокрый золоуловитель	60...70
Батарейный циклон	40...50
Комбинированный золоуловитель*	70... 80

* Батарейный циклон и электрофильтр; скруббер и электрофильтр.

На рис. 1.57 приведены диаграммы, показывающие средние уровни содержания БП в дымовых газах котлов при сжигании различных видов топлива. Как видно из рисунка, содержание БП в дымовых газах пылеугольных котлов до золоуловителей в среднем в 4 раза превышает выбросы из котлов, сжигающих мазут. Однако за счет улавливания БП в золоуловителях его концентрация в уходящих газах снижается до значений, соизмеримых с аналогичными значениями для ТЭС, сжигающих жидкое топливо.

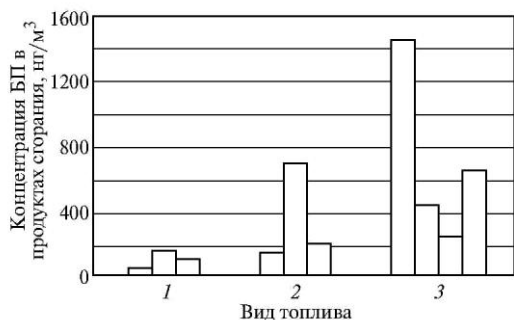


Рис. 1.57. Диаграмма содержания БП в продуктах сгорания котлов мощностью свыше 25 МВт:

1 — газ (без мероприятий по подавлению NO_x , мероприятия по подавлению NO_x , с мероприятиями по подавлению NO_x после оптимизации топочных процессов); 2 — мазут (то же, что и для газа); 3 — уголь (до золоуловителей, после золоуловителей — соответственно мокрых аппаратов, электрофильтров, батарейных циклонов)

Таким образом, можно считать, что при эффективной работе золоуловителей валовые выбросы БП для мазутных и пылеугольных котлов одинаковой мощности примерно одинаковы. Однако в ряде случаев условия рассеивания выбросов БП для пылеугольных ТЭС хуже, поэтому они создают более высокое локальное загрязнение в районе их расположения. Кроме того, следует принимать во внимание то, что большая часть БП вместе с уловленной летучей золой поступает в золоотвалы. При

этом происходит вторичное загрязнение почвы и поверхностных вод. Этой проблеме не уделяется должного внимания, и она требует отдельного изучения.

Рекомендации по снижению выбросов бенз(а)пирена в атмосферу с уходящими газами котлов

Исследования, проведенные на газомазутных котлах, показали, что применение некоторых технологических мероприятий по подавлению образования оксидов азота (рециркуляции и ступенчатого сжигания) приводит к существенному (в 4...5 раз) увеличению содержания БП в уходящих газах, особенно в области предельно низких избытков воздуха при появлении в дымовых газах продуктов химического недожога топлива.

Оптимизацией топочных режимов удается достигнуть максимальной эффективности технологических методов подавления NO_x при допустимом увеличении (в 1,5...2,3 раза) выбросов БП. Основным условием ведения топочных процессов в этом случае должно быть отсутствие содержания оксида углерода в дымовых газах.

На пылеугольных котлах основным способом снижения выбросов БП в атмосферу является повышение эффективности улавливания летучей золы в золоуловителях, особенно ее мелкодисперсных фракций, на которых наиболее активно сорбируется БП по мере охлаждения продуктов сгорания по тракту котла.

Вместе с тем следует отметить, что в большинстве случаев расчеты рассеивания валовых выбросов БП как для газомазутных, так и для пылеугольных котлов показывают, что содержание БП в приземном слое воздуха не превышает 0,05 ПДК, поэтому на основании действующих нормативных документов выбросы БП не подлежат учету и нормированию.

Исключение могут составлять электростанции и ТЭЦ с изношенным и устаревшим котельно-топочным оборудованием, в основном пылеугольные, а также крупные котельные, расположенные в промышленных центрах с высоким фоновым загрязнением БП, где местные природоохранные органы предъявляют более жесткие требования к источникам выбросов вредных веществ.

Суммируя сказанное, можно констатировать, что, хотя в настоящее время крупные котельные и тепловые электростанции не являются основными источниками поступления БП в атмосферу, все же высокая опасность $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ требует внимания и осторожности при внедрении мероприятий, изменяющих режимы горения в топках котлов, например для снижения выбросов оксидов азота. Любые мероприятия следует прорабатывать так, чтобы выбросы БП оставались в допустимых пределах.

Список литературы к п. 1.4.2

1. Гаврилов А.Ф., Аничков С.Н. Расчет содержания бенз(а)пирена в продуктах сгорания котлов ТЭС // Теплоэнергетика. 1988. № 7. С. 72—73.
2. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Л.: Наука, 1988.
3. Ахмедов Р.Б., Цирульников Л.М. Технология сжигания горючих газов и жидких топлив. Л.: Недра, 1984.