

УДК 621.311.22:181.7

## УПРАВЛЕНИЕ ТОКСИЧНОСТЬЮ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ КОТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ С ПРОДУКТАМИ СГОРАНИЯ ТОПЛИВ

Докт. техн. наук, чл.-кор. Международной академии  
экологии СТРИХА И. И.

*Научно-исследовательское государственное предприятие «БелТЭИ»*

Улучшение экологических показателей котельных установок путем снижения выбросов токсичных веществ, выход которых зависит от режимов сжигания топлив, может быть достигнуто за счет повышения эффективности применения рециркуляции дымовых газов и распределения нагрузок между котлами.

Способы автоматического регулирования процессов горения топлива в газомазутных паровых котлах в основном базируются на изменении расходов воздуха и рециркулирующих газов по содержанию кислорода в дымовых газах. Известные способы автоматического регулирования процесса горения в топке газомазутного парового котла ориентированы на снижение выбросов оксидов азота путем корректировки расхода воздуха и рециркулирующих газов по сигналам, поступающим от датчиков концентрации азота и топлива в топке. При значительном снижении концентрации оксидов азота в топке котла, как известно, образуются продукты неполного сгорания топлива (например, окись углерода) и канцерогенные вещества, представленные в основном бенз(а)пиреном. Выход продуктов неполного сгорания топлив и канцерогенных веществ особенно проявляется при применении получившего распространение двухступенчатого сжигания топлив. Поэтому при сжигании топлив для устранения приведенных выше недостатков требуется минимизировать не только концентрацию оксидов азота в дымовых газах, но и суммарную токсичность выбросов загрязняющих веществ, поскольку снижение выхода одних токсичных веществ влечет за собою в ряде случаев повышение содержания других, в частности окиси углерода.

За условную токсичность выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух с продуктами сгорания топлив обычно принимают суммарное значение приведенной массы выброса загрязнений

$$M = \sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n A_i m_i,$$

где  $M_i$  — приведенная масса выброса  $i$ -го токсичного вещества, у. т;

$A_i$  — показатель относительной агрессивности примеси  $i$ -го вида (у. т/т);

$m_i$  — масса выброса примеси  $i$ -го вида (в т) за принятый промежуток времени.

В соответствии с предложенным техническим решением [1] по дополнительно измеренным концентрациям оксидов азота, окиси углерода и бенз(а)пирена находят суммарную токсичность выбросов этих загрязняющих веществ и сравнивают с заранее определенным для заданной тепловой нагрузки значением нормативной токсичности выбросов. Для каждой из нагрузок теплового агрегата при нормативных параметрах режимов работы предполагается заранее определять условную токсичность выбросов, которую принимают за нормативное значение.

По измеренным сигналам разности между фактической и нормативной токсичностью выбросов формируется сигнал, по которому осуществляется регулирование подачи рециркулирующих газов.

Существенным отличием предложенного технического решения является определение суммарной токсичности выбросов загрязняющих веществ с продуктами сгорания топлив и минимизация их уровня по сравнению с заданным значением. При этом количество рециркулирующих газов для заданной тепловой нагрузки котла устанавливается не по содержанию кислорода и топлива в топке, а по разности между фактической и нормативной токсичностью выбросов.

Для реализации технического решения предлагается представленная на рис. 1 система автоматического регулирования процесса горения.

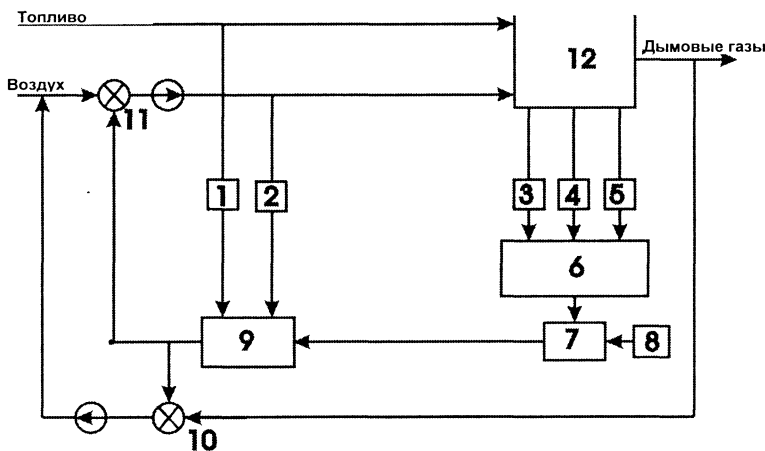


Рис. 1

Система содержит датчики расхода топлива 1 и воздуха 2, газоанализаторы 3–5 для определения содержания в дымовых газах таких токсичных веществ, как оксиды азота, окись углерода и бенз(а)пирена и др. В состав системы входит сумматор условной токсичности выбросов 6, подключенный по входному сигналу к выходам газоанализаторов 3–5, а по выходному сигналу сообщен с входом блока 7 расчета разности превышений условной токсичности выбросов над допустимым ее значением. На вход блока 7 подается сигнал от задатчика нормативной токсичности выбросов 8, а выход блока 7 сообщен с входом регулятора 9, который получает сигналы с датчика топлива и датчика воздуха, а затем

передает управляющий сигнал на направляющие аппараты 10 и 11. Таким образом регулируется подача рециркулирующих газов и воздуха в топку котла 12.

Предложенный способ автоматического регулирования процесса горения осуществляется следующим образом. Для котельного агрегата составляют нормативную характеристику условной токсичности выбросов с учетом режимов работы в пределах маневренности по нагрузке. При этом для всех нагрузок с помощью газоанализаторов измеряют выбросы таких токсичных веществ, как оксиды азота, окись углерода и канцерогенных веществ. По уровню валовых выбросов для каждой нагрузки определяют суммарную допустимую условную токсичность выбросов. Датчик условной токсичности выбросов настраивают по соответствующему уровню выбросов во всем интервале нагрузок теплового агрегата.

При изменении нагрузки котла поступают сигналы от датчиков расхода топлива и воздуха на регулятор, а от газоанализаторов – на сумматор токсичности, выход которого сообщен с блоком расчета разности превышения условной токсичности выбросов над допустимым уровнем. Его значение для соответствующей нагрузки агрегата устанавливают задатчиком. Сформировавшийся в блоке сигнал подается в регулятор, который дает управляющий сигнал на направляющие аппараты, осуществляющие требуемую подачу рециркулирующих газов и воздуха в топку котла. Таким образом обеспечивается минимальный выброс загрязняющих веществ с продуктами сгорания топлива по условной токсичности. В качестве примера для реализации предложенного способа приведены такие токсичные компоненты дымовых газов, как оксиды азота, окись углерода, канцерогенные вещества. В случае изменения состава токсичных выбросов система может быть настроена соответствующим образом на другие вещества.

Основное преимущество предложенного технического решения по сравнению с известными состоит в том, что при его реализации можно существенно снизить суммарную токсичность выбросов с продуктами сгорания топлив за счет одновременного учета токсичности нескольких веществ и управления подачей рециркулирующих газов в зависимости от уровня превышения фактической токсичности выбросов (при заданной нагрузке котла) нормативного ее значения.

В связи с зависимостью выхода некоторых токсичных веществ от нагрузки котлов и других их режимных параметров при частичных нагрузках ТЭС существует возможность сокращать их выбросы путем распределения нагрузок между котельными агрегатами на ТЭС с параллельными связями либо путем распределения нагрузок между энергоблоками на КЭС [2–5].

В [2, 4] показано, что вынужденное снижение нагрузки котлов в периоды неблагоприятных метеоусловий, если это не вызвано производственной необходимостью, не позволяет существенным образом сокращать уровень концентраций загрязняющих веществ в атмосфере. Это связано, в первую очередь, со значительным изменением условий распространения дымового факела. В результате сокращения объема отводимых продуктов сгорания уменьшается эффективная высота выброса, что не способствует снижению концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы. В некоторых условиях преобладающим в формировании наземных концентраций загрязняющих веществ является величина самих выбросов.

Таким образом появляется потребность в создании системы управления нагрузкой каждого из котлоагрегатов или энергоблоков (без снижения суммарной их нагрузки) с учетом экологических ограничений и экономических показателей. При этом должны исходить из того, что нужно соблюдать ограничения по выбросам загрязняющих веществ с минимальными эксплуатационными затратами. Из токсичных веществ, выбрасываемых с продуктами сгорания топлив, изменением нагрузки и другими режимными мероприятиями, в первую очередь, можно снижать выход оксидов азота, окиси углерода и углеводородов.

В [6] рассмотрен метод минимизации выбросов в атмосферу загрязняющих веществ с применением условной цены выбросов. Аналогичные решения приведены в [7]. Применение стоимостных выражений в условиях постоянного изменения масштабов цен не позволяет получить надежных результатов, поскольку уровень экологического ущерба, причиняемого загрязнением атмосферы окружающей среде, а также текущие затраты на пресечение выбросов и затраты на топливо подвергаются постоянным, не согласованным между собой изменениям.

В этих условиях предложено распределять нагрузку между совместно работающими котлоагрегатами не по их относительным приростам расхода топлива, а по относительным приростам условной токсичности выбросов [8]. При таком подходе к решению поставленной задачи снижения валовых выбросов загрязняющих веществ потребление топлива котлами несколько выше, чем при распределении нагрузок между ними по топливным расходным характеристикам. Экономическая целесообразность предложенного способа распределения нагрузок между котлами в обычных условиях их эксплуатации устанавливается при превышении предотвращаемого экологического ущерба, причиняемого окружающей среде, над стоимостью перерасходованного топлива.

Следует иметь в виду, что при работе ТЭС с уровнем выбросов загрязняющих веществ, превышающем предельно допустимые значения и создающем концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы выше допустимых значений, обязательно должна ставиться задача доведения выбросов токсичных веществ до нормативных уровней с учетом ограниченных средств на финансирование мероприятий и текущих затрат на эксплуатацию оборудования и систем контроля.

При распределении нагрузок между котлами по экономическим показателям и экологическим ограничениям нужно обеспечить максимально возможное снижение стоимости тепло- и электроэнергии, а также достигнуть минимального ущерба, причиняемого окружающей среде выбросами загрязняющих веществ. Это может быть получено путем оптимизации взаимодействующих между собой противоречивых целевых функций по двум критериям. При этом не существует решения, при котором достигается минимум затрат на топливо и минимальный экологический ущерб. Для таких условий требуется компромиссное решение. Оно может быть получено путем построения зависимостей затрат на топливо или стоимости вырабатываемой тепло- и электроэнергии, а также экологического ущерба от количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Планирование нагрузок котлов и оперативно-диспетчерское управление ими может базироваться на использовании изложенных выше предпосылок. Поскольку режим работы каждой ТЭС устанавливается диспетчерским графиком энергосистемы, возможности широкого при-

менения приведенного выше способа распределения нагрузок между котлами ограничены степенью автономности работы самой ТЭС. Как показано в [6], путем перераспределения нагрузки между тепловыми электростанциями энергосистемы можно снизить выбросы в атмосферу загрязняющих веществ на 12—14 %. Очевидно, что эти результаты в известной мере могут быть перенесены на ТЭС с распределением нагрузок между котлоагрегатами без снижения суммарной их нагрузки. Как видно, такой метод сокращения выбросов загрязняющих веществ приводит к отклонению от оптимальных экономических показателей работы, поэтому его использование должно быть в первую очередь обосновано для неблагоприятных условий работы, характеризующихся соответствующей экологической обстановкой.

Вопросы оптимального распределения нагрузок между совместно работающими котлами актуальны не только для ТЭС, но и для котельных промышленных предприятий.

В большинстве случаев считается, что распределением нагрузок между совместно работающими котлами можно сократить расход топлива в целом по котельной на 0,2—0,5 %. В зависимости от состава котлов и их состояния уровень экономии топлива может быть более высоким. При распределении нагрузок между совместно работающими котлами обычно выделяют условно-постоянную составляющую годовых эксплуатационных расходов и капиталовложений и находят в составе приведенных затрат минимум топливной составляющей затрат или минимум суммарного расхода топлива. Для совместно работающих котлов на одном виде топлива по условиям его минимального расхода должно соблюдаться условие равенства характеристик относительных приростов расхода топлива

$$\frac{dB_1}{dQ_1} = \frac{dB_2}{dQ_2} = \frac{dB_3}{dQ_3} = \dots = \frac{dB_n}{dQ_n}.$$

Согласно техническому решению, представленному в [8], условие распределения нагрузки между совместно работающими котлами с соответствующим характером изменения экологических показателей, при котором обеспечивается минимум суммарной токсичности выбросов, запишется как

$$\frac{dT_1}{dQ_1} = \frac{dT_2}{dQ_2} = \frac{dT_3}{dQ_3} = \dots = \frac{dT_n}{dQ_n}.$$

Для многокомпонентной смеси продуктов сгорания топлив токсичность отдельных веществ суммируется. Следует отметить, что удельные выбросы оксидов серы для котлов, не оборудованных сероочистными установками, не зависят от режимов их работы, а однозначно определяются серосодержанием топлива. Поэтому в условиях сохранения неизменной структуры топливного баланса котельной ТЭС можно рассматривать токсичность выбросов оксидов азота, заменив относительный прирост токсичности приростом валового выброса оксидов азота, отнесенного к заданному интервалу нагрузки.

В соответствии с поставленной задачей для заданного состава включенных в работу котлоагрегатов находится такой режим их загрузки, который обеспечит выработку заданного количества теплоты при минимальных расходах топлива и выбросов в атмосферу вредных веществ с продуктами его сгорания. Решение задачи осуществляется с составлением функций Лагранжа без учета различий в затратах на собственные нужды котлов и других потерь в котельном цехе.

Уравнение цели:

$$T = \sum_{i=1}^k T_i \Delta\tau_i \rightarrow \min; \quad T = \sum_{i=1}^k B_i^3 C_{ij} A_j \Delta\tau_i \rightarrow \min,$$

где  $T_i$  – условная токсичность выбросов;

$B_i^3$  – потребление топлива котлами при распределении нагрузок по экологическим характеристикам;

$C_{ij}$  – удельный выброс токсичного вещества;

$A_j$  – удельная токсичность вещества;

$\Delta\tau_i$  – интервал времени.

Уравнения связи – экологические характеристики каждого котла (по выбросам –  $M$  и токсичности  $T$ ):

$$M_i = F(Q_i); \quad T_{ij} = f(Q_i).$$

Уравнения ограничений (по тепловой нагрузке  $Q_i$  и затратам):

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max}; \quad \sum_{i=1}^n Q_i < \sum Q_{\text{ном}};$$

$$\Pi_T \sum_{i=1}^n (B_i^3 - B_i^T) \leq \Pi_H,$$

где  $\Pi_T$  – цена топлива;

$B_i^T$  – потребление топлива котлами при распределении нагрузок по расходным характеристикам;

$\Pi_H$  – плата за выбросы (налог).

Суммирование токсичности выбросов с продуктами сгорания топлива в котлах при  $i$ -й нагрузке осуществляется по формуле

$$T_i = \sum_{j=1}^n M_{ij} A_j, \quad \text{у. т/ч,}$$

где  $M$  – выброс рассматриваемых токсичных веществ от каждого из котлов;

$A_j$  – показатель относительной токсичности выбрасываемого вещества.

Для интервала нагрузок котла в пределах его маневренности выброс загрязняющих веществ может быть найден по зависимости

$$M_j = C_{ij} v_i Q_i, \quad \text{кг/ч},$$

где  $C_{ij}$  – удельный выброс загрязняющего вещества при заданной нагрузке котла, кг/т у. т.;

$v_i$  – удельный расход топлива на выработку теплоты, т у. т./ГДж;

$Q_i$  – тепловая нагрузка котла, ГДж/ч.

С учетом удельного расхода топлива на выработку теплоты последнее выражение можно записать в виде

$$M_j = C_{ij} \frac{3,411}{\eta_i} Q_i, \quad \text{кг/ч}.$$

Как видно из последнего выражения, для определения валового выброса загрязняющих веществ нужно иметь сведения об удельных выбросах этих веществ в кг/т у. т. при соответствующей нагрузке котла. Их можно предварительно получить расчетным путем, что не позволяет в достаточной степени учесть особенности генерации оксидов азота при работе каждого из котлов. Поэтому для всех котлов нужно получить экспериментальные зависимости удельных выбросов оксидов азота во всем рабочем интервале рабочих нагрузок.

При распределении нагрузок между котлами с учетом выбросов только одного токсичного компонента его токсичность можно не учитывать. При этом достаточно ограничиться значением валового выброса. В случае учета нескольких однонаправленно действующих компонентов нужно использовать их токсичность.

Уровни удельных выбросов токсичных веществ для каждого из рассматриваемых условий сжигания топлива обычно имеют фиксированные значения и отражают состояние экологических показателей котлов во время проведения испытаний. Для эксплуатационных условий, отличающихся от таковых во время проведения испытаний, вводится уточнение и корректировка значений удельных выбросов этих веществ и, как следствие, уровней загрузки котлов. При отклонении значений удельных выбросов загрязняющих веществ от принятого ранее уровня их величина корректируется по реальному состоянию эксплуатации котлов, а затем соответственно и характеристики относительных приростов выбросов загрязняющих веществ, а следовательно, и режимы загрузки котлов. Корректировка осуществляется с применением поправочных коэффициентов из условий эквидистантности изменения кривых графиков выбросов  $\delta M_i = M_{\phi,i} - M_{н,i}$ .

По результатам выполненных расчетов оптимальное распределение нагрузок между котлами с учетом экологических характеристик позволило снизить, например, выбросы оксидов азота до 10 %.

Предложенный способ определения оптимальных режимов загрузки котлов при многовариантности решения этой задачи может осуществляться как обычным графическим способом, так и с помощью ЭВМ с использованием специально разработанных программ.

Реализация рассмотренных способов улучшения экологических показателей ТЭС и котельных позволит малозатратными мероприятиями снизить экологический ущерб, причиняемый выбросами токсичных веществ, содержащихся в продуктах сгорания топлив.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2027110 РФ, МПК 6F23 N1/04. Способ автоматического регулирования процесса горения в тепловых агрегатах / И. И. Стриха, № 49442289/06; Заявлено 04.06.91. Опубл. 20.01.95 // Изобретения. — 1995. — № 2. — 192 с.
2. Нурмеев Б. К. Выбор способа сокращения выбросов в атмосферу промышленным источником при неблагоприятных метеоусловиях // Теплоэнергетика. — 1988. — № 8. — С. 15–17.
3. Bruns HeinoId. Zu ökonomischen und ökologisch bedingten Zielstellungen für Entscheidungen zur Lastzuordnung parallel betriebener Wärmeerzeuger // Energietechnik. — 1989. — № 5. — Р. 190–194.
4. Шакалова Т. В., Цуканов А. А. Оптимальное распределение нагрузки и топлива между парогенераторами ТЭЦ // Сталь. — 1988. — № 2. — С. 105–117.
5. Волков Э. П., Прохоров В. Б., Роголев Н. Д. Рациональное распределение выбросов от ТЭЦ и их влияние на окружающую среду // Теплоэнергетика. — 1988. — № 8. — С. 5–8.
6. Минимизация выбросов вредных веществ на ТЭС объединенной энергосистемы диспетчерским управлением / А. П. Голованов, Ж. М. Медетов, С. И. Кокасенко и др. — Алма-Ата: КазНИИ НКИ, 1991. — 24 с.
7. Парчевский В. М., Плетьев Г. П. Оптимальные распределения экологической нагрузки между котлами ТЭС с использованием характеристик экологических затрат // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1990. — № 2. — С. 92–96.
8. А.С. 1603478 СССР, МКИ Н 02 J 8/05. Способ распределения нагрузок между совместно работающими котлоагрегатами / И. И. Стриха, Ф. И. Молочко, Н. И. Бартош, Г. Н. Гольдин (СССР), № 4416848, заявлено 21.03.88, опубл. 30.10.90. Бюл. № 40. — 3 с.

Представлена научным  
семинаром лаборатории  
топлива и топочных процессов

Поступила 6.06.2000

УДК 622.691.4

### **СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЗАКОЛЬЦОВАННЫХ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

**Докт. техн. наук, проф. ОСИПОВ С. Н., асп. САВАСТИЕНОК А. Я.**

*Белорусская государственная политехническая академия  
Полоцкий государственный университет*

В Республике Беларусь интенсивно развивается система газоснабжения, вводятся в строй новые сети. Снижение их стоимости при обеспечении одного и того же народнохозяйственного эффекта — одна из актуальных задач. Сравнение существующих методик гидравлического расчета газовых сетей производится для выявления наиболее соответствующей этим условиям. Снижение стоимости строительства газовой сети означает уменьшение срока ее окупаемости, а, значит, способствует удешевлению единицы энергии, полученной при сжигании газа.