

УДК 621.182

А.В. САВИНОВА, студентка гр. 4-3А (ИГЭУ)
Научный руководитель Н.А. ЕРЕМИНА, к.т.н., доцент (ИГЭУ)
г. Иваново

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОДАВЛЕНИЮ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В ПРОЦЕССЕ ГОРЕНИЯ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА ВЫБРОСЫ БЕНЗАПИРЕНА

Выработка энергии, получаемой при сжигании органического ископаемого топлива (нефти, угля и газа), приводит к негативному воздействию на окружающую среду (далее НВОС). В первую очередь НВОС заключается в выбросе в атмосферу огромного количества загрязняющих веществ; кроме того, происходит влияние на гидросферу (перепотребление воды, создание искусственных водохранилищ, сбросы загрязненных и нагретых вод, жидких отходов) и на литосферу (потребление ископаемых топлив, изменение ландшафта, выбросы токсичных веществ). Даже при использовании наиболее экологически безопасного топлива — природного газа, который производит наименьшее количество выбросов вредных веществ, — наблюдается загрязнение атмосферы высокотоксичными веществами: оксидами азота, бенз(а)пиреном, углекислым газом.

Для снижения НВОС при работе ТЭЦ в последние годы могут использоваться наилучшие доступные технологии (далее НДТ), которые в том числе позволяют уменьшить выброс вредных веществ в атмосферу. Для сокращения выбросов оксидов азота рекомендованы следующие меры: рециркуляция дымовых газов, ступенчатое сжигание топлива, использование горелок с низким выбросом. Конкретизируем и опишем подробнее данные способы [1]:

1) Уменьшение пиковой температуры посредством использования следующих основных методов:

- а) достехиометрическое горение (с использованием богатой горючей смеси, в случае с применением которой кислород становится сдерживающим фактором);
- б) супрастехиометрическое горение (с использованием бедной топливовоздушной смеси для рассредоточения теплоты сгорания);
- в) ввод охлажденного топливного газа с кислородным обеднением для рассредоточения теплоты сгорания;
- г) ввод охлажденного топливного газа с кислородным обеднением, а также с добавленным топливом (это необходимо для рассредоточения теплоты сгорания, уменьшения температуры реакции и для того, чтобы кислород стал сдерживающим фактором);
- д) ввод воды или пара для рассредоточения теплоты сгорания и сни-

жения температуры реакции;

2) уменьшение времени нахождения при пиковой температуре посредством использования следующих основных методов:

а) ввод топлива, пара, рециркуляционного дымового газа или воздуха для горения непосредственно после сгорания;

б) уменьшение распространения зоны высокой температуры (это обеспечивает более быстрое удаление дымового газа);

3) химическое восстановление оксидов азота в процессе сгорания посредством использования следующих основных методов:

а) субстехиометрическое сгорание, т.к. в обогащенной топливной смеси оставшееся топливо может действовать в качестве восстановителя;

б) повторное сжигание дымовых газов с добавлением топлива (с добавленным топливом, действующим в качестве восстановителя); создание условий обеднения топливом и обогащения топливом в зоне сгорания;

4) снижение образования азота и его соединений в процессе сгорания посредством использования следующих основных методов:

а) сгорание с ограниченным доступом подаваемого воздуха;

б) применение рециркуляции дымовых газов;

в) ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха, предусматривающее создание двух зон: одна зона с избытком горючего, где происходит первоначальное сгорание; вторая — та, где происходит добавление воздуха для обеспечения полного сгорания;

г) ступенчатое сжигание топлива (аналогично 4в (ступенчатому сжиганию с вдуванием воздуха));

д) повторное сжигание топлива: процесс аналогичен рециркуляции дымовых газов (4б), но с добавлением топлива в дымовой газ, что снижает температуру. Если при добавлении на второй стадии сгорания для повторного сжигания топлива в качестве восстановителя используется топливо, процесс аналогичен ступенчатому сжиганию топлива (4г);

е) уменьшение времени предварительного нагрева воздуха;

ж) применение горелок с малым выбросом оксидов азота, обеспечивающих смешивание топлива и воздуха/дымового газа таким образом, что при ступенчатом сжигании создаются различные зоны;

з) нагнетание воды/пара для снижения температуры пламени и для уменьшения образования оксидов азота при тепловой реакции, включая реакцию с импульсным началом истечения воды/пара;

и) сжигание в обогащённой кислородом среде (воздух заменяется кислородом, что нужно для предотвращения образования NO_x при тепловой реакции);

к) оптимизация сгорания посредством применения активного кон-

троля его процесса (например, с помощью специального программного обеспечения);

л) применение каталитического сгорания с использованием катализатора;

м) т.н. вторичные мероприятия или азотоочистка дымовых газов.

5) применение селективного каталитического восстановления (СКВ) после обеспыливания и очистки от кислых газов. При использовании данного способа обычно требуется подогрев дымовых газов после предыдущих стадий газоочистки (температура на выходе из газоочистки составляет 70°C для мокрых систем и 120°C–180°C для большинства рукавных фильтров). Для достижения рабочих температур при использовании системы СКВ необходима температура 230°C–320°C;

б) применение селективного некаталитического восстановления (СНКВ). По аналогии с СКВ восстановитель (обычно аммиак, мочевины или нашатырный спирт) используется для восстановления оксидов азота — но, в отличие от СКВ, без катализатора и при более высокой температуре (от 850°C до 1100°C). Побочные воздействия, которые необходимо учитывать, включают в себя наличие аммиака в отработанном газе, образование аммиачных солей в установках после завода, образование N₂O (в нём мочевины, к примеру, используется в качестве компонента смеси восстановителей) и выброс СО. Проскок аммиака при СНКВ, как правило, гораздо больше, чем при СКВ; это происходит вследствие требуемой дозировки восстановителя выше стехиометрической (т.к. при высокой температуре, требуемой для СНКВ, часть добавляемого аммиака вступает в реакцию и образует дополнительные оксиды азота).

Многие ТЭЦ центрального региона России в качестве методов снижения выбросов оксидов азота используют рециркуляцию дымовых газов и ступенчатое сжигание топлива. Однако стоит помнить, что эти мероприятия по подавлению образования оксидов азота в процессе горения оказывают значительное влияние на выбросы бенз(а)пирена в атмосферу. Установлено, что в зависимости от способа организации и степени подачи газов рециркуляции в топку котла, а также от способа организации и степени подачи вторичного дутья при ступенчатом сжигании топлива, происходит влияние на уровень содержания БП в уходящих газах газомазутных котлов. Это значит, что при выборе ряда мероприятий необходимо провести оптимизацию рециркуляции дымовых газов и ступенчатого сжигания топлива с целью недопущения повышения выбросов бенз(а)пирена.

В качестве примера рассмотрены сочетания мероприятий для котла марки ТГМ-96Б (при его работе на газе в среднем 4340 часов в год). Изначально на котле использовалась только рециркуляция дымовых газов с вводом газов рециркуляции по наружному каналу горелок; при этом выбросы оксидов азота составили: $M_{\text{NO}_2} = 119,5078$ г/с и $M_{\text{бп}} = 0,003150289$ г/с.

Были рассмотрены следующие сочетания мероприятий: применение рециркуляции дымовых газов и ступенчатого сжигания со степенью рециркуляции $r = 0,15; 0,2; 0,3$; с долей воздуха, подаваемого помимо основных горелок $\delta = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2$. Также были исследованы разные способы ввода газов рециркуляции: в подтопки, через щели под горелки, по наружному каналу горелок, в воздушное дутье, в рассечку двух воздушных потоков.

В результате в качестве оптимального сочетания были определены следующие параметры: использование способа ввода газов рециркуляции в рассечку двух воздушных потоков и степени рециркуляции дымовых газов $r = 0,15$, при доле воздуха (подаваемого помимо основных горелок) $\delta = 0,2$. При этих параметрах выброс оксидов азота составил $M_{NO_2} = 75,17664$ г/с, выброс бенз(а)пирена $M_{бп} = 0,002173699$ г/с. Снижение выброса оксидов азота составило 37%, бенз(а)пирена – 31%.

При использовании вышеприведённых методик возможно не только снизить негативное воздействие на атмосферный воздух и улучшить экологическую обстановку в близлежащем районе, но и уменьшить плату за НВОС. Таким образом возможно получить и экологическую, и экономическую выгоды. Снижение платы по оксидам азота составит около 105 тыс. руб/год, по бенз(а)пирену — более 91 тыс. руб/год.

Итак, проводя оптимизацию мероприятий по подавлению образования оксидов азота в процессе горения с учетом образования бенз(а)пирена, возможно получить сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, а также сократить расходы предприятия в виде платы за НВОС по двум выбросам вредных веществ более чем на 195 тыс. руб/год.

Список литературы:

1. ИТС-22-2016. Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200143294>
2. Экологические проблемы энергетического обеспечения человечества // URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/ecol05.htm>
3. Снижение выбросов бенз(а)пирена в атмосферу // URL: https://knowledge.allbest.ru/ecology/2c0a65635b2ad69b4d53a89421316d37_0.html#text