Вершинин Н.В., Шкорботов А.В., Рязанцева А.В.
Основные пути и методы снижения выбросов оксидов азота

Московский политехнический университет
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-12-2020-89

idsp: lj-12-2020-89

Аннотация

В этой обзорной статье анализируются данные отечественной научной литературы за последние годы об основных путях и методах снижения вредных газообразных выбросов оксидов азота в атмосферу от тепловых электрических станций и котельных.

Ключевые слова: оксиды азота, тепловые электрические станции, котельные, выбросы в атмосферу.

Abstract

This review article analyzes the data of Russian scientific literature in recent years on the main ways and methods of reducing harmful gaseous emissions of nitrogen oxides into the atmosphere from thermal power plants and boilers.

Keywords: nitrogen oxides, thermal power plants, boiler houses, emissions into the atmosphere.

Одна из наиболее актуальных проблем, возникающих при эксплуатации горелочных устройств (на большинстве ТЭС и отопительных котельных) – это образование оксидов азота (NO_x) в топке котлов при высокой температуре. Как известно NO_x основные загрязняющие вещества воздушной среды этих предприятий.

Данная проблема имеет три аспекта. Во-первых, рост числа острых и хронических заболеваний населения (при длительном воздействии даже небольших концентраций NO_x), негативное влияние на растительный мир [1]. Во-вторых, соединение с влагой NO_x приводит к образованию слабых растворов азотистой и азотной кислоты, и как следствие, к формированию «кислотных дождей». Такого рода осадки ведут к обеднению и закислению почв, усилению процессов коррозии и уничтожению строительных конструкций, сооружений, зданий и исторических памятников архитектуры [1]. В-третьих, при охлаждении уходящих дымовых газов ниже температуры точки росы имеет место негативное влияние на газоходы котельного оборудования.

Имеют место два механизма возникновения оксидов азота (рис. 1). Первый заключается в окислении атмосферного (молекулярного) азота N_2 воздуха, который находит применение в качестве окислителя при горении (термические и «быстрые» оксиды азота). Второй заключается в окислении азотсодержащих составляющих, находящихся в топливе (топливные оксиды).

Рис. 1. Главные механизмы образования NO_x

Термические оксиды формируются при сжигании различных топлив в области высоких температур (окисление N_2 воздуха напрямую в зоне горения). Условия течения цепной реакции окисления N_2 свободным кислородом при горении отображается как:

«Быстрые» NO_x формируются собственно во фронте ламинарного пламени (в отсутствие эффектов турбулентности), на участке, который составляет около 10% ширины фронта пламени (у передней границы фронта пламени в области температур $\approx 726^\circ C$). Как правило, их доля в случае энергетических котлов не превышает 10–15%. Причина стремительного образования NO – это связывание молекул азота радикалами в реакциях с очень малыми энергетическими затратами:

Дальнейшее развитие реакции идет с формированием аминов (NH , NH_2 , NH_3). Амины вступают в реакцию с промежуточными радикалами и образуют NO и N_2 .

Значительное количество исследователей осуществляли испытания и пришли к выводу, что резкое образование NO во фронте пламени – это явление, органически связанное с горением и свойственно углеводородам и углесодержащим топливам. Для снижения выхода NO_x , многообещающим топливом можно назвать водород, в факеле которого NO_x формируется на порядок меньше чем с факелами при горении метана [2].

Степень перехода азотсодержащих соединений топлива в NO резко возрастает с ростом коэффициента избытка. Выход топливных NO_x слабо (в отличие от термических) зависит от температуры процесса.

Все мероприятия, которые направлены на уменьшение концентрации NO_x , можно разделить на две основные группы. К первой относятся внутритопочные или технологические методы, то есть подавление формирования NO_x в процессе горения топлива. Ко второй – распад NO_x в системах газоочистки.

Газоочистка отличается с одной стороны высокой эффективностью, с другой стороны – высокими капитальными и эксплуатационными затратами, потребностью в отведении большой площади (для размещения сложного очистного оборудования), что сужает её применение (используется как правило при высоких концентрациях NO_x). Кроме того, использование химических реагентов (каталитические, некаталитические, абсорбционные способы очистки) влечет за собой появление осаждения солей на теплообменных поверхностях и газоходах и опасность проскока этих реагентов и их производных в очищенные от оксидов азота дымовые газы и далее в атмосферу, что снижает технологическую и экологическую эффективность работы котельных агрегатов [3, 4].

Есть газоочистка с применением дезинтегратора-абсорбера с еще более высокой эффективностью и с более низкими капитальными и эксплуатационными затратами, а также с минимальной потребностью в отведении площади [5–7]. Но пока были проведены только лабораторные испытания установки.

К технологическим методам (более дешёвым и чаще применяемым) можно отнести:

- сжигание с малыми избытками воздуха (используется вместе с другими внутритопочными мероприятиями, повышает экономичность котлоагрегата, уменьшает скорость коррозии и загрязнения конвективной поверхности нагрева);
- с контролируемым химическим недожогом (уменьшение содержания кислорода в зоне активного горения до появления умеренного недожога);

- рециркуляция продуктов сгорания (наиболее эффективный метод, при котором газы рециркуляции могут вводиться в под топки, в шлицы под горелками, во вторичный воздух, в воздухопровод горячего воздуха, в топливо) [2];
- подача влаги в зону горения (уменьшение температурного уровня процесса горения);
- уменьшение температуры горячего воздуха (на уменьшение термических NO_x) [2];
- нестехиометрическое сжигание (формирование одной или нескольких восстановительных и окислительных зон с единой областью дожигания в верхней части топочной камеры);
- двухступенчатое сжигание (через основные горелки вместе с топливом подаётся только часть воздуха, а остальной воздух, который необходим для полного выгорания, направляется дальше по факелу через специальные шлицы, сопла или щели при более меньших температурах) [2];
- низкоэмиссионные горелочные устройства (изменение конструкции помогает увеличить интенсивность воспламенения факела, скорость смешения топлива с воздухом, максимальный уровень температур в ядре горения, что может снизить формирование NO_x без больших затрат);
- конфигурация амбразуры горелочного устройства (размеры и тип амбразуры влияет на скорость истечения среды из устья устройства, раскрытие факела, степень перемешивания топлива и окислителя; наилучшей считается амбразура диффузорного типа) [2].

Наиболее перспективным направлением с точки зрения снижения концентрации оксидов азота в уходящих дымовых газах является совершенствование и последующее применение низкоэмиссионных горелочных устройств.

В литературе [2] отмечены положительные эффекты от внедрения разных мероприятий, в результате которых на котельных агрегатах ТГМП-314Ц, КВГМ-50, Е-160-3,9-440 ГМ на территории предприятий ПАО «МОСЭНЕРГО» удалось снизить образования NO_x в диапазоне от 20% до 50%.

В заключение следует выделить, что наибольший эффект достигается при одновременном внедрении нескольких методов, а горелки проектируются с учётом их применения.

1. Рязанцева А.В., Лукашина Г.В. Глобальное изменение климата. Учебно-методическое пособие / Москва, 2008.
2. Верещетин В.А. Совершенствование низкоэмиссионных газогорелочных устройств котлов ТЭС. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. / Москва, 2018.
3. Антонов А.В., Марцияш Д.А. Методы очистки промышленных дымовых газов. В сборнике: Актуальные вопросы современных исследований. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Научно-издательский центр «Мир науки». 2018. С. 13-16.
4. Хачоян М.М. Исследование эффективности очистки дымовых газов от оксидов азота в присутствии озона / М.М. Хачоян, В.А. Туркин // Сб. науч. тр.: в 2 ч. / отв. ред. В.В. Демьянов. – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2011. – Вып. 16. – Ч. 2.
5. Лапшина А.В., Гуюмджян П.П., Лапшин В.Б. Устройство для улавливания пыли и вредных газов. Патент на изобретение RU 2201279 С2, 27.03.2003. Заявка № 2000114626/12 от 08.06.2000.
6. Рязанцева А.В. Использование дезинтеграторной технологии для интенсификации процессов в гетерогенных системах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иваново, 2003.
7. Лапшин В.Б., Колобов М.Ю., Колобова В.В., Рязанцева А.В. Применение дезинтегратора в различных технологиях. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2004. Т. 47. № 8. С. 71-75.