

УДК 621.3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ NO_x

Богдан Е.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Карницкий Н.Б.

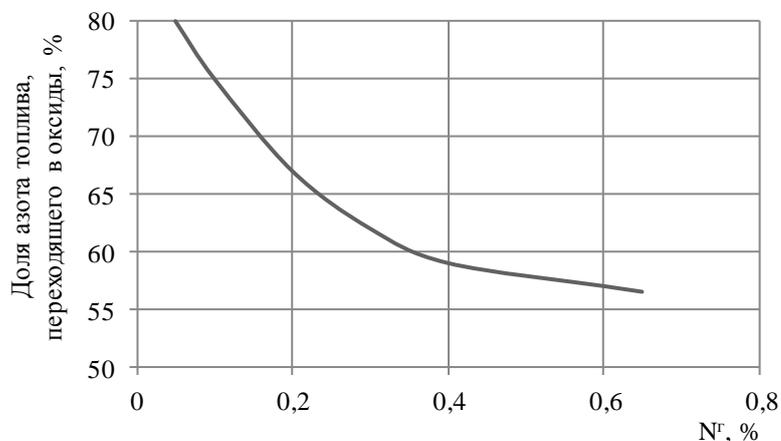
В зарубежной и отечественной энергетике разработано большое количество технических решений, реализующих технологические методы сокращения выбросов оксидов азота. Классификация этих методов приведена в таблице 1.

Таблица 1

Технологические методы снижения выбросов NO _x		
Снижение максимальной температуры	Снижение концентрации окислителя	Специальные методы сжигания
Снижение нагрузки котлов	Применение горелок с регулируемой долей первичного воздуха	
Рециркуляция дымовых газов	Сжигание в предтопке с недостатком окислителя	
Впрыски влаги	Нестехиометрич. сжигание	Сжигание в кипящем слое
Снижение температуры горячего воздуха	Снижение α	Предварительная термическая обработка топлива
Секционирование топки двухсветными экранами	Ступенчатое сжигание	Восстановление NO _x в топке
Рассредоточение факела по высоте топки	Применение горелок с затянутым смесеобразованием	

Одним из основных направлений в реализации технологических методов снижения выбросов оксидов азота энергетическими котлами является разработка соответствующих конструкций топочно-горелочных устройств, и оптимизация режимов их эксплуатации с учётом эколого-экономических показателей. Эффективность внедрения одних и тех же технологических мероприятий на котлах современных конструкций существенно различается.

Снижение образования оксидов азота при сжигании мазута. Наличие связанного азота в мазуте приводит к тому, что в мазутных котлах образуются не только термические, но и топливные оксиды азота.

Рисунок 1 – Зависимость доли азота топлива, переходящей в оксиды от составляющей N^T.

Следует отметить, что при твёрдом топливе наблюдается прямой рост.

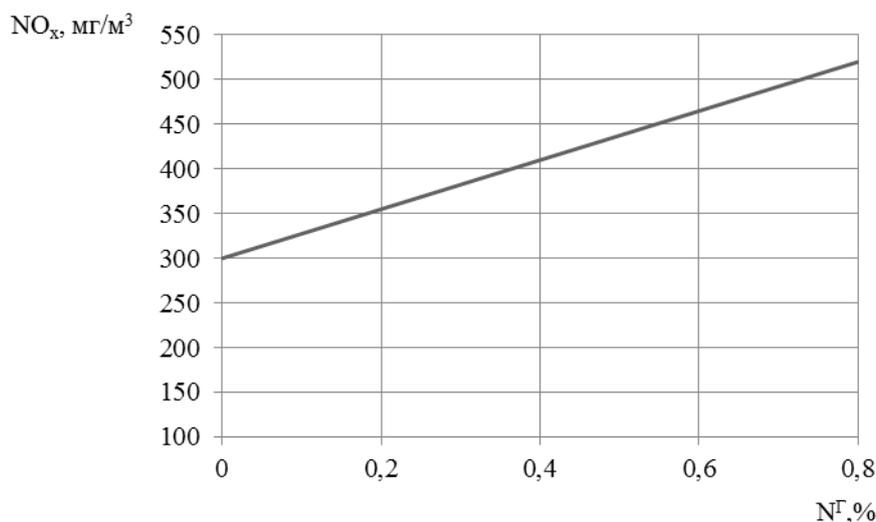


Рисунок 1 – Зависимость количества NO_x от составляющей $N^Г$ топлива.
Блок 175 МВт, фронтальное расположение горелок.

Определённое влияние на образование оксидов азота в мазутных котлах оказывает также температура подогрева мазута перед сжиганием. Снижение вязкости положительно сказывается на уменьшении максимального размера капель и сокращении времени горения, однако в этом случае возможно коксование.

Значительно большие возможности открываются при изменении топочного процесса в направлении снижения температурного уровня или уменьшения концентрации кислорода в зоне интенсивного образования NO_x .

Методы, основанные на снижении температуры. Нагрузка котла. При снижении нагрузки снижается теплонепряжение, соответственно, температура. Так, снижение нагрузки котла блока 300 МВт до 58% позволило снизить выбросы NO_x в 2 раза.

- Рециркуляция дымовых газов. Этот метод проверен в 60-х годах. На отдельных установках при $r = 30\%$ достигалось снижение NO_x на 80%. Многочисленные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Рециркуляция дымовых газов является эффективным средством подавления NO_x только при высокой температуре в ядре горения, так как она воздействует на термические NO_x . При низких температурах в топке рециркуляция газов практически не влияет на уровень выбросов NO_x .

2. Степень снижения NO_x зависит не только от количества и температуры рециркулирующих дымовых газов, но и от организации их ввода в топку. В случае, когда газы рециркуляции смешивались с продуктами сгорания за зоной максимальных температур, этот метод не приводил к снижению выбросов оксидов азота (например, ввод газов в топку через шлицы). Максимальный эффект газовая рециркуляция даёт при вводе дымовых газов вместе с воздухом или по кольцевому соплу, разделяющему поток воздуха на центральный и периферийный. Следует отметить, что по мере роста степени рециркуляции, эффективность воздействия её на оксиды азота снижается.

- Подача в камеру горения влаги в виде распыления воды или пара. Этот метод - "экологический впрыск" – успешно используется в ГТУ. На котле ТГМ-94 впрыск воды в количестве 4-6% расхода топлива привёл к снижению NO_x на 20%. К достоинствам этого метода можно отнести небольшие капитальные затраты, а также простоту и лёгкость автоматизации, однако, при этом повышается t_{yx} (около 4 градусов при вводе влаги в количестве 2% паропроизводительности котла).

Методы, основанные на изменении избытка воздуха. Снижение избытка воздуха в горелках. Этот метод можно широко использовать как на котлах, которые работают с высокими коэффициентами избытка воздуха в горелках, так как он одновременно решает

проблему низкотемпературной коррозии и повышает КПД за счёт снижения q_2 . Ограничивается этот метод тем, что, начиная с определённого избытка воздуха, дальнейшее снижение α_r приводит к резкому росту CO , H_2S , $C_{20}H_{12}$.

- **Нестехиометрическое сжигание.** Позволяет преодолеть этот предельный α_r : если горелки расположены в несколько ярусов, то удаётся снизить подачу воздуха в нижний ярус горелок до $\alpha_r < 1,0$ при условии подачи недостающего воздуха через горелки верхних ярусов.

- **Ступенчатое сжигание.** В котлах с многоярусным расположением горелок для подачи части воздуха во вторую зону горения можно использовать горелки верхнего яруса, отключив их по топливу. Однако, нужно обратить внимание на рост q_3 .

- **Специальные горелки.** Изменение дисперсности мазута, турбулентности потока, интенсивности крутки факела и других параметров горелки влияет на NO_x .

Снижение образования оксидов азота при сжигании природного газа. Природный как энергетическое топливо обладает рядом экологических достоинств по сравнению с твёрдым топливом и мазутом: он не содержит твёрдых примесей, связанного азота и практически не содержит серы. Таким образом, при сжигании природного газа борьба с NO_x является единственным средством, позволяющим обеспечить чистоту атмосферы. Концентрация NO_x (в пересчёте на NO_2):

котлы 210-420 т/ч дают 0,4-0,8 г/м³

более крупные котлы - 1,5 г/м³.

Нужно учесть, что при некоторых режимах сжигания газа могут образовываться канцерогенные вещества.

Мероприятия, основанные на снижении температуры. Снижение нагрузки котла. Простейшее мероприятие, снижающее максимальный уровень температур в топке за счёт уменьшения объёмного тепловыделения и температуры подогрева воздуха. Снижение выходных скоростей в горелках также оказывает влияние на образование NO_x .

- **Рециркуляция дымовых газов.** Эффективность данного мероприятия при сжигании природного газа весьма велика. При рециркуляции дымовых газов через горелки уменьшается также концентрация кислорода, что приводит к дополнительному снижению образования оксидов азота. Ограничение этого метода связано со снижением КПД котла за счёт роста α_{yx} , возрастают расходы электроэнергии на собственные нужды. Кроме того, возрастает концентрация канцерогенных выбросов.

- **Уменьшение температуры горячего воздуха.** Применимо только при сжигании природного газа (но не твёрдого топлива и мазута). Так, на блоках 300 МВт снижение $t_{гв}$ с 315 до 200 градусов уменьшило NO_x на 40%. Уменьшение $t_{гв}$ с 315 до 30 (отключение калориферов) – на 65%. Следует иметь в виду, что существенное снижение $t_{гв}$ приводит к повышению t_{yx} и снижению КПД котла.

- **Ввод влаги в зону горения.** На котле ПК-41 расход вводимого пара составил 10%, снижение NO_x – с 15 до 7%. При вводе воды эффект большой.

Совместное использование рециркуляции газов ($r = 14\%$), впрыск воды (5% от расхода топлива) и снижение α с 1,06 до 1,03 позволило снизить концентрацию оксидов азота в дымовых газах с 0,85 до 0,35 г/м³.

Методы, основанные на изменении избытка воздуха. Снижение избытка воздуха в горелках. Например, на котле ТГМ-94 снижение α с 1,07 до 1,025 приводило к уменьшению NO_x более чем на 40%. При этом сокращаются q_2 и увеличивается КПД котла.

- **Ступенчатое сжигание.** Пример: блок 215 МВт, 20 горелок в 4 яруса. Максимальный эффект был получен при отключении по топливу 5 горелок (3 из третьего яруса и 2 из четвёртого яруса). При этом, при $\alpha = 1,1$ снижение NO_x произошло с 1,0 до 0,45 г/м³.

- **Специальные горелки.** Воздух подаётся закрученным периферийным каналом и прямоточным – центральным. Газ смешивается с периферийным потоком, продукты неполного сгорания из периферийной зоны инжектируются центральным потоком, в котором образуется зона догорания топлива. Концентрация NO_x снижается на 30-40%.

В таблице 2 приведено сравнение эффективности снижения генерации оксидов азота технологическими методами.

Таблица 2

Метод	Уменьшение выбросов NO _x , %	
	Мазут	Природный газ
Рециркуляция продуктов сгорания	20	60
Уменьшение подогрева воздуха	40	50
Впрыск пара или воды	40	60
Ступенчатое сжигание	40	55
Малый избыток воздуха	20	20
Снижение теплового напряжения топочного объёма	20	20
Комбинация ступенчатого сжигания малого избытка воздуха и сниженного теплового напряжения	35	50
Переход на топливо с малым содержанием химически связанного азота	40	неэффективно

Литература

1. Стриха И. И., Карницкий Н.Б. Экологические аспекты энергетики. –Мн.: УП "Технопринт", 2001. – 375с.
2. Котлер В. Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
3. Рихтер П. А. Тепловые электрические станции и защита атмосферы. –М.: Энергия, 1975. – 312 с.
4. Рихтер Л. А., Чернов С. Л. Защита окружающей среды при сжигании топлива: Экологически чистая ТЭС // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Тепловые электростанции. теплоснабжение. – 1991. –Т. 6. –с. 160.