

УДК 621.3

**ОБРАЗОВАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ ЖИДКОГО
ТОПЛИВА****FORMATION OF NITROGEN OXIDES DURING THE COMBUSTION
OF LIQUID FUELS**

В.И. Хамицкая

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
leo07@tut.by

V. Khamitskaya

Supervisor – L. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье рассматриваются вопросы снижения концентрации оксидов азота при сжигании жидкого топлива, различные методы и технологии, направленные на уменьшение выбросов оксидов азота в атмосферу.*

***Annotation:** this article discusses the issues of reducing the concentration of nitrogen oxides during the combustion of liquid fuels, various methods and technologies aimed at reducing emissions of nitrogen oxides into the atmosphere.*

***Ключевые слова:** оксиды азота, горение, жидкое топливо, рециркуляция газов, ступенчатое сжигание.*

***Key words:** nitrogen oxides, burning, liquid fuel, gas recirculation, stepwise combustion.*

Введение

Сжигание топлива является важным источником энергии, однако его воздействие на окружающую среду требует серьезного внимания. Выбросы загрязняющих веществ при сжигании топлива зависят от нескольких факторов, в том числе от типа и качества сжигаемого топлива, эффективности процессов сгорания и наличия технологий контроля выбросов. Развитие и внедрение чистых и эффективных технологий, а также переход к более экологически устойчивым источникам энергии являются ключевыми шагами в направлении сохранения окружающей среды и обеспечения устойчивого развития.

Продукты сгорания тепловых электрических станций и котельных являются источниками загрязнения атмосферы. Их выбросы могут содержать оксиды азота (NO_x), оксиды серы (SO_x), углеводороды, тяжелые металлы и твердые частицы (пыль). Оксиды азота являются одним из основных токсичных компонентов при сжигании природного газа и мазута, их выбросы имеют серьезное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

Основная часть

Сжигание жидкого топлива – сложный процесс, включающий ряд физических и химических стадий. Основным принципом сгорания жидкого топлива является быстрая химическая реакция между топливом и окислителем, обычно атмосферным кислородом, с образованием тепла и продуктов сгорания.

Эта реакция сильно экзотермична, что означает выделение значительного количества тепла. При сжигании топлива в топках паровых котлов образуется оксид азота NO_x , который в свою очередь состоит из оксида NO и диоксида NO_2 . Содержание оксида NO на выходе из дымовых труб составляет до 95% общего количества оксидов азота ($NO_x = NO + NO_2$). Доокисление оксида NO до NO_2 происходит в атмосфере [1].

Оксиды азота образуются при сгорании топлива тремя возможными способами:

- 1) топливные – образуются в основном при низких температурах в результате реакций азота, содержащегося в топливе, с кислородом;
- 2) термические – образуются при высоких температурах в результате реакции между кислородом и азотом в воздухе;
- 3) быстрые – образуются в начальной фазе горения топлива в результате быстрых химических реакций между азотом и кислородом.

Высокие температуры в горении, увеличение кислородного числа, более длительное время пребывания при высоких температурах, концентрация азота (N_2) в воздухе и в самих топливах – все это способствует образованию большего количества NO_x .

Существует множество способов снижения выбросов NO_x [2].

1. На стадии подготовки топлива:

- высокотемпературный подогрев мазута;
- получение «чистого» топлива.

2. На стадии сжигания топлива:

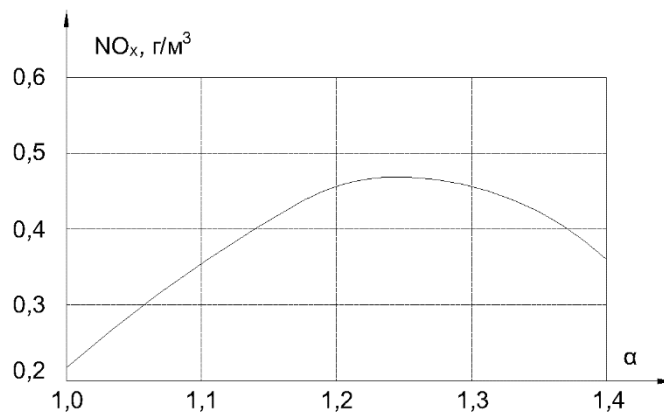
- режимные мероприятия, такие как снижение избытка воздуха, рециркуляция дымовых газов, снижение температуры горячего воздуха, впрыск влаги;
- конструктивные мероприятия, такие как сжигание в кипящем слое, усовершенствование конструкции топок, ступенчатое сжигание, усовершенствование конструкции горелок.

3. На стадии очистки газов:

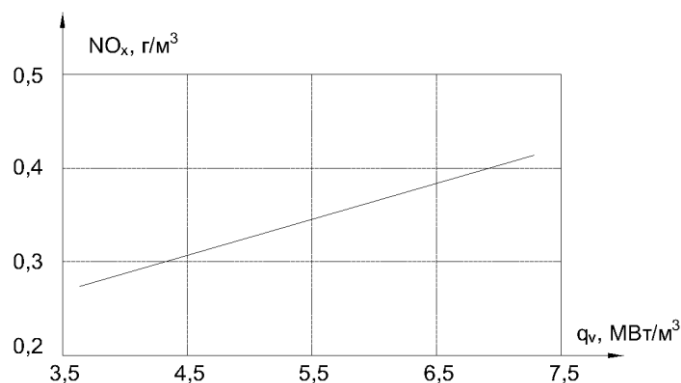
- восстановление NO_x до N_2 ;
- очистка дымовых газов.

Рассмотрим результаты исследования влияния коэффициента избытка воздуха, нагрузки, доли аксиального воздуха, степени рециркуляции газов, ступенчатого сжигания на концентрацию оксидов азота при циклонном сжигании жидкого топлива [1]. Концентрация оксидов азота измерялась в сечении за циклонной камерой.

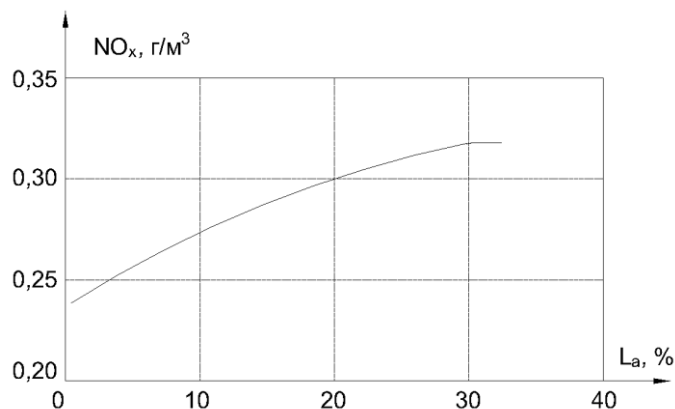
Зависимость NO_x от коэффициента избытка воздуха представлена на рисунке 1. Исходя из полученной зависимости видно, что максимум концентрации NO_x наблюдается при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,23-1,25$.

Рисунок 1 – Зависимость NO_x от коэффициента избытка воздуха

Зависимость NO_x от нагрузки представлена на рисунке 2. Концентрация NO_x возрастает с увеличением теплового напряжения объема циклона.

Рисунок 2 – Зависимость NO_x от нагрузки

Зависимость NO_x от доли аксиального воздуха представлена на рисунке 3. Можно сделать вывод, что аксиальный подвод воздуха способствует увеличению концентрации NO_x .

Рисунок 3 – Зависимость NO_x от доли аксиального воздуха

Зависимость NO_x от степени рециркуляции газов представлена на рисунке 4. При рециркуляции дымовых газов происходит уменьшение концентрации кислорода в зоне горения, что в свою очередь снижает концентрацию NO_x . Данная зависимость хорошо аппроксимируется выражением: $\frac{NO_x^{рец}}{NO_x} = e^{-2,71 \cdot r_{рец}}$.

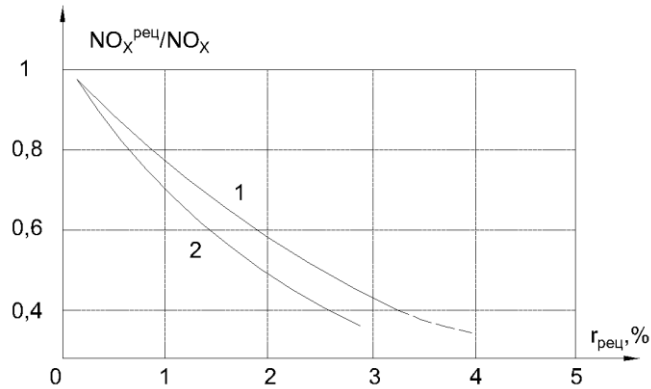


Рисунок 4 – Зависимость NO_x от степени рециркуляции газов (1 – экспериментальная кривая, 2 – расчетная кривая)

Зависимость NO_x от ступенчатого сжигания представлена на рисунке 5. Поскольку образование оксидов азота в основном зависит от высоких температур горения, ступенчатое сжигание позволяет снизить температуру в зоне горения и, следовательно, снизить образование оксидов азота. Чем меньше коэффициент избытка воздуха, тем эффективнее ступенчатое сжигание и как следствие снижение концентрации NO_x .

Данная зависимость хорошо аппроксимируется выражением:

$$\frac{NO_x^{ступ}}{NO_x} = 1 - (7 - 4,8\alpha_{ц})\beta,$$

где $\beta = \frac{V_{втор}}{V_{общ}}$.

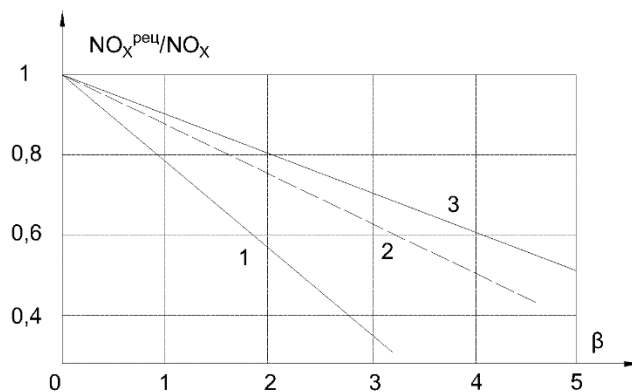


Рисунок 5 – Зависимость NO_x от доли вторичного воздуха (1 – $\alpha = 1,04$; 2 – $\alpha = 1,21$; 3 – $\alpha = 1,25$)

В результате исследования влияния различных факторов на снижение оксидов азота при сжигании жидкого топлива можно сделать вывод, что данные методы могут быть использованы для снижения концентрации NO_x . Выбор оптимального метода требует комплексного подхода и учета специфических условий каждой конкретной ситуации.

Заключение

Крупнейшим источником выбросов оксида азота являются котельные агрегаты. Уменьшить концентрацию оксидов азота можно режимными и конструктивными мероприятиями. Кроме того, постоянное исследование и разработка новых технологий позволят улучшить процессы сжигания и снизить их воздействие на окружающую среду.

Литература

5. Жихар, Г.И. Физико-химические процессы в газомазутных котлах / Г.И. Жихар. – Минск: Тэхналогія, 2002. – 326 с.
6. Методы снижения NO_x [Электронный ресурс] / Оксиды азота. – Режим доступа: <https://raadmanburner.com/ru/academy/nox-reduction-methods/>. – Дата доступа: 07.04.2024.