

УДК 338.45

**Уткина Александра Сергеевна,**  
ассистент кафедры товарной экспертизы и таможенного дела,  
РЭУ им. Г.В.Плеханова, г. Москва

**Гамарник Игорь Андреевич,**  
лаборант кафедры экономики промышленности,  
РЭУ им. Г.В.Плеханова, г. Москва

**Съедугина Анастасия Сергеевна,**  
лаборант Базовой кафедры химии  
инновационных материалов и технологий,  
РЭУ им. Г.В.Плеханова, г. Москва

**Игнатова Лариса Николаевна,**  
кандидат экономических наук,  
доцент кафедры экономики промышленности,  
РЭУ им. Г.В.Плеханова, г.Москва

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ВОЗМОЖНОСТЬ И СКОРОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА

**Аннотация:** Уровень температуры воздуха может оказывать значительное воздействие на процессы образования и дисперсии азотных соединений. В статье доказывается, что при повышении температуры происходит ускорение химических реакций, что способствует интенсификации процессов фотохимического образования азотных соединений.

**Ключевые слова:** выбросы оксидов азота, влияние факторов окружающей среды, экологическая безопасность, температура воздуха, котельные установки.

Оксиды азота занимают видное место среди газообразных токсичных компонентов, образующихся при сжигании природного газа. Эти вещества обладают высокой токсичностью и участвуют в образовании опасных атмосферных явлений, пагубно влияя на здоровье населения [1].

Исследование влияния температуры воздуха на возможность и скорость образования оксидов азота важно для понимания факторов, влияющих на качество воздуха. Такие исследования могут помочь разработать эффективные стратегии для снижения загрязнения воздуха и повышения здоровья населения.

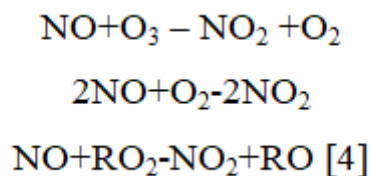
Для минимизации воздействия продуктов горения на окружающую среду важно оптимизировать процесс сжигания, чтобы уменьшить концентрацию оксидов азота в выбросах без ухудшения эффективности работы котла. Для этого используются методы, направленные на снижение уровня окислителя и температуры в зоне пламени, а также технологии рекуперации оксидов азота в печи.

Стоит отметить, что диапазон температур в газовом тракте котлоагрегата достаточно широк. В топках котлов максимальные локальные температуры могут достигать примерно 2000 К [4]. При таких температурах реакция синтеза оксидов азота из азота и кислорода протекает с очень высокой скоростью. Даже после выхода из дымовой трубы при температуре ниже 373 К процесс образования или трансформации оксидов азота продолжается [4].

На скорость термического образования оксидов азота существенное влияние оказывает температура процесса, поскольку для расщепления молекул O<sub>2</sub> требуется преодоление высокого энергетического порога [6]. Равновесные концентрации оксидов азота образуются за



период времени, равный  $10^{-2} \div 10^{-3}$  секундам [4]. Быстрое формирование оксидов азота обусловлено взаимодействием молекул азота с радикалами  $\text{CH}$  и  $\text{C}_2$  в реакциях с низким энергетическим барьером, которые происходят по определённому механизму. Когда  $\text{NO}$  покидает дымовую трубу и попадает в атмосферу, значительная его часть преобразуется в  $\text{NO}_2$  согласно установленным формулам:



Термодинамический анализ реакций, приводящих к образованию оксидов азота при сжигании газовых смесей в котлах, демонстрирует вероятность и направление этих процессов в интервале температур от 25 до 2000 °С.

Термическое производство оксидов азота не приводит к выделению тепла, и согласно современным научным исследованиям свободные изменения реакций Гиббса имеют положительный характер. Таким образом, равновесие изучаемой реакции в диапазоне температур от 25 до 2000 °С будет смещено влево [4]. Из этого следует, что термические оксиды азота не будут образовываться в указанном температурном диапазоне.

Формирование термических оксидов азота при горении природного газа во многом определяется температурой воздуха, который поступает в горелку для создания газозудной смеси. При этом температура окислителя, подаваемого в зону горения, оказывает лишь незначительное влияние на распределение температуры в зоне пламени.

Температура окислителя имеет большое воздействие на распределение концентрации оксидов азота в дыме: уменьшение температуры подаваемого окислителя ведёт к уменьшению концентрации оксидов азота в дыме. Максимальное снижение концентрации достигается при температуре воздуха 20 °С, когда температура в области горения изменяется незначительно.

Тем не менее, чтобы оптимизировать работу котла и разработать действенные методы снижения выбросов оксидов азота, требуется изучить множество факторов, что подразумевает проведение дополнительных исследований.

Для более глубокого анализа авторами на примере выбросов оксидов азота в г. Москва введен феноменологический показатель в виде отношения массы  $m$  выбросов к выработке электроэнергии  $W$  (г/кВт-час), представляющий собой синтез выходной характеристики электрогенерации для потребителя и токсичных объемов оксидов азота. При этом отмечается соотношение феноменологического показателя и температуры воздуха в Москве. Наблюдается слабая связь по коэффициенту Пирсона – 0,28. Такой уровень показателя говорит о том, что связь может перейти в разряд умеренной по шкале Чеддока. Более высокий уровень корреляции наблюдается при вычислении данного коэффициента по тройной скользящей средней. Аппроксимация кривой Перла не дает желаемых результатов по значениям корреляции.

Стоит отметить, что все же наблюдается некая прямая связь между феноменологическим показателем и температурой воздуха. Такая связь представляет интерес, потому как она увязывает рост выбросов и рост температуры воздуха. При этом она увязывает и спад генерации при росте выбросов, при более высокой атмосферной температуре.

Становится очевидна тенденция, которая вносится авторами в качестве гипотезы, а именно гипотеза о точке, после которой становится неэффективным продолжение снижения объемов выбросов. Исходя из анализа динамики коэффициентов роста показателя, можно



прийти к выводу, что данная точка находится между 2025 и 2026 годом.

*Список литературы:*

1. Исследование способов снижения выделений оксидов азота при сжигании топлива в трубчатых печах / А. Ю. Иваненко, М. А. Яблокова, Е. А. Пономаренко, Н. В. Грабская // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2023. – № 64 (90). – С. 96-103.
2. Патент № 2791359 С1 Российская Федерация, МПК F23С 9/06, F23D 17/00. Способ для снижения выбросов оксидов азота и горелка для его осуществления: № 2022115882: заявл. 14.06.2022: опубл. 07.03.2023 / Д. Р. Григорьев.
3. Усенова, А. М. Система очистки выбросов котло-агрегатных котельных от оксидов азота // XXVI Туполевские чтения. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 1917-1920.
4. Balandina O.A., Puring S.M., Vatuzov D.N. and Filatova E B. A study of the effect of air temperature on the possibility and rate of formation of nitrogen oxides in boiler flue gases // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – P. 1-10.
5. Lopatin, O. P. The effect of operational modes of diesel engines to emissions of nitrogen oxides // IOP Conference Series / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 862. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited. – 2020. – P. 62087.

