

УДК 621.181

**ТЕХНОЛОГИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА В  
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ  
TECHNOLOGIES FOR REDUCING EMISSIONS OF NITROGEN OXIDES  
IN GAS TURBINE INSTALLATIONS**

А.В. Казейка

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Kazeika

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье описаны новейшие технологии по снижению выбросов оксидов азота в ГТУ. Рассмотрены способы сокращения вредных выбросов в окружающую среду в соответствии со строгими экологическими нормами.

**Abstract:** This article describes the latest technologies to reduce emissions of nitrogen oxides in GTU. The ways of reducing harmful emissions into the environment in accordance with strict environmental standards are considered.

**Ключевые слова:** выбросы, переключение топлива, повторное сжигание, впрыск, концентрация, рециркуляция.

**Keywords:** emissions, fuel switching, re-combustion, injection, concentration, recirculation.

### Введение

В современном обществе газовые турбины широко используются в различных областях науки и техники. Поэтому для повышения безопасности эксплуатации газовых турбин, используемых для перекачки топлива на ТЭС, необходим более точный контроль.

Строительство таких ГТУ-ТЭС будет способствовать улучшению экологической обстановки, экономии топлива и достижению оптимальной эффективности его использования за счет целесообразного сочетания производства тепловой и электрической энергии.

Проблема снижения вредного воздействия энергетического комплекса на окружающую среду носит глобальный характер, и ее острота в условиях рыночной экономики напрямую связана с вкладом ГТУ-ТЭС в загрязнение поверхности. [1]

### Основная часть

В соответствии со строгими экологическими нормами отрасль сжигания топлива добилась важных успехов в сокращении выбросов  $\text{NO}_x$ , связанных с сжиганием, одновременно повышая энергоэффективность. Эти шаги включают в себя множество новых технологий и практических, проверенных тактик эксплуатации, таких как следующие:

- Переключение топлива.

Одним из простых методов сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  в топливе

является переход с топлива с высоким содержанием азота на топливо с пониженным содержанием азота, такое как другое дистиллятное масло, природный газ или газообразный водород, которые по сути являются безазотистым топливом.

- Повторное сжигание природного газа.  
Доказано, что повторное сжигание природного газа обеспечивает снижение выбросов  $\text{NO}_x$  до 75% по сравнению со стандартными горелками. Повторное сжигание предполагает создание «зоны дожигания газа» поверх зоны первичного сжигания, куда впрыскивается природный газ. Создается область, богатая топливом, где  $\text{NO}_x$  реагирует с углеводородными радикалами и образуется молекулярный азот. Этот метод может быть встроен в некоторые конструкции горелок в качестве неотъемлемого эксплуатационного свойства. Горелки, использующие этот метод снижения содержания  $\text{NO}_x$ , должны быть тщательно подобраны по размеру и проверены на наличие эксплуатационных затрат, поскольку диапазон их производительности часто ограничен.
- Горелки с низким содержанием  $\text{NO}_x$ .  
Доказано, что горелки с низким и сверхнизким содержанием  $\text{NO}_x$  снижают выбросы до 50% по сравнению со стандартными горелками. Большой эффективности снижения выбросов можно достичь, комбинируя горелку с системой рециркуляции дымовых газов. Горелки с низким содержанием  $\text{NO}_x$  снижают пиковую температуру пламени за счет сочетания зон принудительной рециркуляции, зон ступенчатого или замедленного горения и снижения локальной концентрации кислорода. Недостатки этих механизмов заключаются в том, что такие конструкции, как правило, дороже обычных горелок, часто требуют большей площади и могут потребовать значительных модификаций печи. Эти решения популярны при объемном нагреве воздуха и низкотемпературных процессах горения.
- Пониженная концентрация кислорода.  
При определенных условиях выбросы  $\text{NO}_x$  будут уменьшаться почти линейно по мере уменьшения избытка воздуха. Уменьшение количества доступного постороннего кислорода в зоне горения удлиняет пламя, что приводит к снижению скорости выделения тепла на единицу объема пламени. Это популярный метод контроля выбросов  $\text{NO}_x$  в трубчатых горелках, печах-восстановителях и других областях применения, где воздух для горения полностью изолирован от процесса, что позволяет точно регулировать уровень кислорода.
- Впрыск пара/воды.  
Снижение локальной концентрации кислорода замедляет горение и снижает температуру развивающегося пламени, следовательно, уменьшает образование термических  $\text{NO}_x$ . Одним из способов достижения этого результата является подача небольшого количества воды или пара в непосредственной близости от пламени. Вода будет

поглощать тепло при образовании пара, что снижает температуру пламени. Кроме того, пар вытесняет доступный кислород, что замедляет скорость горения и еще больше снижает температуру пламени. Этот метод эффективен, но, как правило, снижает эффективность сгорания на 2%, поскольку молекулы воды поглощают часть тепловой энергии. Следует также учитывать влияние микроэлементов в воде. [2]

- Селективное каталитическое восстановление.  
Сверхнизкие выбросы  $\text{NO}_x$  (менее пяти частей на миллион по  $\text{NO}_x$ ) достигаются благодаря использованию технологии селективного каталитического восстановления (СКВ). СКВ – это метод дожигания, который включает впрыскивание аммиачного реагента, такого как аммиак, водный раствор аммиака или мочевины, в присутствии катализатора для превращения  $\text{NO}_x$  в безвредные азот и кислород в выхлопных газах. Не содержащие аммиака растворы с использованием мочевины являются вариантом для пользователей, не склонных к обращению с аммиаком и его хранению. Они могут снизить электрическую нагрузку за счет уменьшения требований к вентилятору по сравнению с рециркуляцией дымовых газов. Распространенной проблемой является прорыв аммиака, который может произойти, когда избыток реагента по разным причинам «проскальзывает» мимо катализатора непрореагировавшим. В некоторых юрисдикциях установлены ограничения не только на выбросы  $\text{NO}_x$ , но и на выбросы аммиака, что усложняет использование СКВ в качестве стратегии борьбы с выбросами.
- Селективное каталитическое восстановление с помощью экономайзеров.  
Включение экономайзера с расширенной поверхностью в СКВ обеспечивает низкий уровень выбросов  $\text{NO}_x$  и более высокую эффективность системы, снижая эксплуатационные расходы. СКВ – это первая фаза системы, преобразующая  $\text{NO}_x$  в азот и кислород. Вторая фаза – экономайзер с ребристой трубкой, улавливающий и перенаправляющий потерянное тепло обратно посредством теплопередачи в питательную или подпиточную воду. Повышение эффективности на один или два процентных пункта может привести к ощутимой экономии затрат.
- Система рециркуляции дымовых газов (СРДГ).  
СРДГ – это хорошо зарекомендовавшая себя технология снижения загрязнения окружающей среды, которая снижает тепловые выбросы  $\text{NO}_x$  за счет снижения температуры пламени горелки и замедления реакции горения. В процессе СРДГ часть дымовых газов, образующихся при горении, перенаправляется в горелку вместе со свежим воздухом, что помогает снизить пиковую температуру пламени и замедляет реакции горения, тем самым уменьшая образование  $\text{NO}_x$ . Одним из недостатков СРДГ является то, что для рециркуляции дымовых газов требуется электроэнергия для дополнительной обработки воздуха. Другая

проблема заключается в том, что не во всех термических процессах можно использовать СРДГ, например, если дымовые газы слишком горячие или содержат слишком много кислорода. [3]

### **Заключение**

Для решения экологических проблем, возникающих при эксплуатации газотурбинных установок, целесообразно ориентироваться на ряд режимных мероприятий, приводящих к снижению  $\text{NO}_x$ . Эти мероприятия не требуют значительных финансовых затрат, не ухудшают технико-экономические показатели работы установки и снижают образование оксидов азота.

С экологической точки зрения целесообразно снижать концентрацию кислорода при сжигании топлива, что значительно уменьшает вредные выбросы. [4]

### **Литература**

1. Центр-эко [Электронный ресурс]/ Влияние энергетики на природную среду и климат. – Режим доступа: [https://centez.ru/problemy/vliyanieteplovyhelektrostancijnaokruzhayushchuyusredu.html?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.by%2F](https://centez.ru/problemy/vliyanieteplovyhelektrostancijnaokruzhayushchuyusredu.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.by%2F). – Дата доступа: 03.10.2023.
2. Helpiks [Электронный ресурс]/ Способы снижения содержания окислов азота в продуктах сгорания. – Режим доступа: <https://helpiks.org/4-77479.html>. Дата доступа: 03.10.2023.
3. Молодой ученый [Электронный ресурс]/ Способ снижения оксидов азота с рециркуляцией дымовых газов. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/84/15539/>. – Дата доступа: 03.10.2023.
4. Studentopedia [Электронный ресурс]/ Мероприятия, направленные на уменьшение выбросов  $\text{NO}_x$ . – Режим доступа: [https://studentopedia.ru/matematika\\_himiya\\_fizika/meropriyatiya--napravlennie-na-umenshenie-vibrosov-nox--snizhenie-vibrosa-soedinenij-seri-v.html](https://studentopedia.ru/matematika_himiya_fizika/meropriyatiya--napravlennie-na-umenshenie-vibrosov-nox--snizhenie-vibrosa-soedinenij-seri-v.html). – Дата доступа: 03.10.2023.