**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА**

**(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

**имени И.М. ГУБКИНА»**

**На правах рукописи**

**ЗАПОРОЖСКИЙ**

**Константин Игоревич**

**Минимизация образования вторичных загрязнителей в двухстадийном**

**процессе селективного некаталитического восстановления оксидов азота**

**1.5.15. Экология**

**Диссертация на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**Научный руководитель доктор технических наук, профессор Кулиш Ольга Николаевна**

**Москва - 2021**

**Оглавление**

**Введение 4**

**1 Характеристика оксидов азота как загрязняющих веществ, нормативно-правовое**

**регулирование выбросов оксидов азота, методы предотвращения их образования и очистка отходящих газов от оксидов азота 8**

**1.1 Краткая экотоксикологическая характеристика диоксида и монооксида азота 8**

**1.2 Выбросы оксидов азота и их нормативное регулирование 10**

**1.3 Режимные методы снижения образования оксидов азота 15**

**1.4 Методы очистки выбросов от оксидов азота 24**

**1.4.1 Селективное каталитическое восстановление (СКВ) оксидов азота в отходящих газах**

**тепловых агрегатов 24**

**1.4.2 Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ) оксидов азота в отходящих**

**газах тепловых агрегатов 27**

**1.4.3 Результаты работ по промышленной реализации СНКВ-процессов 49**

**2 Экспериментальное и экономическое обоснования целесообразности использования**

**предлагаемого модифицированного процесса СНКВ с одновременным двухступенчатым вводом восстановителя 56**

**2.1 Описание экспериментальной установки, методика проведения эксперимента, расчет**

**условий проведения эксперимента 56**

**2.2 Определение содержания вторичных загрязнителей в очищенных газах при**

**моделировании одностадийного СНКВ-процесса 66**

**2.3 Результаты исследований двухступенчатого процесса СНКВ 72**

**2.4 Описание системы регулирования подачи восстановителя 75**

**2.5 Сравнительная технико-экономическая оценка эффективности использования**

**одностадийного и двухстадийного процессов СНКВ 84**

**2.5.1 Сравнительный расчет стоимости восстановления оксидов азота 84**

**2.5.2 Сравнительный расчет предотвращенного экологического ущерба 95**

**3 Предложения по использованию технологии двухступенчатого селективного**

**некаталитического восстановления на примере мусоросжигательного котла с колосниковыми обратно-переталкивающими решетками 98**

**3.1 Описание объекта потенциального применения технологии 99**

**3.2 Описание системы очистки на мусоросжигательном заводе 101**

**3.3 Предложения по модернизации системы СНКВ на мусоросжигательных котлах 105**

**Выводы по диссертации 113**

**Список литературы 114**

Выводы по диссертации

1. Экспериментальные исследования модифицированного двухстадийного процесса СНКВ с одновременным вводом восстановителя в каждую стадию показали более высокую и стабильную эффективность очистки в сравнении с традиционным одностадийным процессом (70 - 86% против 49 - 73%) в диапазоне изменения температур от 850 до 1000 0С.

2. Установлено, что в рабочем диапазоне СНКВ-процесса (850 - 10500С) подача восстановителя с коэффициентом расхода <1 обеспечивает снижение содержания аммиака и оксида углерода (II) в очищенных газах до значений менее 5 мг/нм3.

3. Целесообразность использования двухступенчатого процесса очистки дымовых газов от оксидов азота подтверждена технико-экономическими расчетами: стоимость очистки 1 тонны оксидов азота при двухступенчатом вводе восстановителя в 1,5 раза ниже, чем при одноступенчатом.

4. На основании выполненных экспериментальных исследований расчетным путем на примере мусоросжигательного котла показано, что эффективность очистки дымовых газов от оксидов азота с применением двухстадийного СНКВ-процесса при любой калорийности ТКО от 1500 до 1900 ккал/кг и выше составляет более 80 %, а концентрация аммиака в очищенных газах не превышает 5 мг/нм3.

5. Предложенный алгоритм регулирования двухстадийного процесса некаталитического восстановления оксидов азота позволяет оптимизировать расход восстановителя в каждой стадии процесса с тем, чтобы обеспечить необходимую степень восстановления оксидов азота и установленный лимит по содержанию аммиака в очищенных дымовых газах.