

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методы защиты окружающей среды

**Лекция №5 Методы очистки дымовых газов от
оксидов азота**

Формула расчета оксидов азота

$$M_{\text{NO}_x} = BK(1 - q_4/100)\beta_1(1 - \varepsilon r)\beta_2 \beta_3$$

где B — расход топлива за рассматриваемый период, г/с.; q_4 -потери теплоты от механической неполноты сгорания, %.; ε - коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий подачи их в топку(определяется из таблицы ниже); r – степень рециркуляции дымовых газов; β_2 - коэффициент, учитывающий конструкцию горелок (для вихревых горелок — 1, для прямоточных — $\leq 0,85$); β_3 - коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления (при твердом шлакоудалении — 1, при жидком шлакоудалении — 1.6)

$$K = \frac{12D_{\phi}}{(200 + D_{\text{II}})}$$

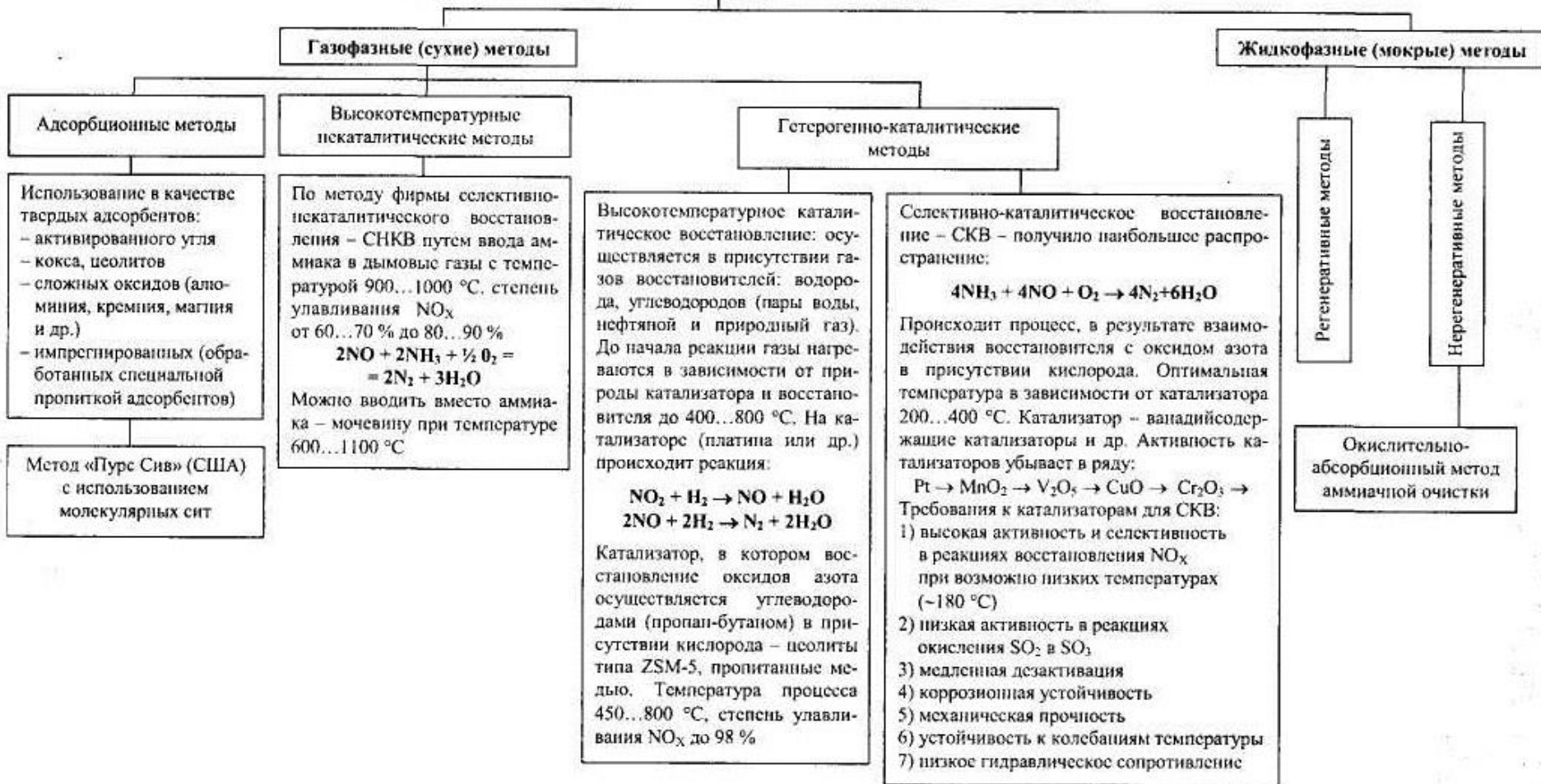
	ε_1
в под топки (при расположении горелок на вертикальных экранах	0,0025
через шлицы перед горелками	0,015
по наружному каналу горелок	0,025
в воздушное дутье	0,035

Исходя из механизма образования оксидов азота при горении органического топлива выбирают принципиальные пути снижения этих выбросов:

- ограничение доли окислителя (ниже стехиометрического) на начальном участке факела выбором соответствующего уровня избытка воздуха на горелки a_r (с учетом уровней газификации, воспламенения, а также и газовой коррозии);
- сведение до технологически возможного минимума доли первичного воздуха – a_1 ;
- ввод в первичный воздух максимально возможного по условиям устойчивого горения количества рециркулирующих газов;
- максимально возможное по условиям устойчивого воспламенения, горения и выгорания топлива снижение температуры в зоне и на выходе из зоны активного горения;
- выбор оптимального с учетом условий воспламенения, горения и шлакования соотношения скоростей вторичного и первичного воздуха в горелочном устройстве.

-
- Сложность в выборе оптимальных технических решений и режимных параметров по указанным принципиальным направлениям состоит в том, что возникают определенные противоречия: достижение максимальных показателей по условиям экономичности и надежности сжигания приводит и к максимальным выбросам NOx. И, наоборот, лучшие показатели по выбросам приходятся на режимы с наихудшей экономичностью и надежностью. В связи с этим оптимум должен находиться с учетом всех ограничительных факторов. Наиболее полно это достигается при наладке топочного режима работы котельного агрегата.
-

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЭС ОЧИСТКА ГАЗОВ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА (ДЕНИТРОФИКАЦИЯ ГАЗОВ)



СНИЖЕНИЕ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Карбамидный метод
(метод ХТУ им. Менделеева,
Цветметэкологии и
Змиевской ГРЭС)

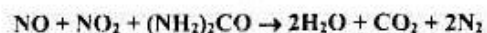
**Методы с применением
комплексов железа**

**Технология совместной
очисти:**
полусухой известковый
и карбамидный методы

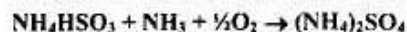
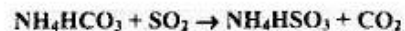
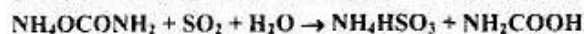
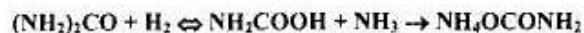
S-H-L метод
с применением комплексных
солей железа и извести
(сочетание химических
и биологических методов)

Методы СОЖ-ТЭЦ
Институт катализа
СО РАН
и Российского научного
центра «Прикладная химия»

I



II

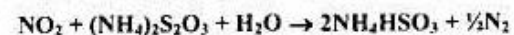
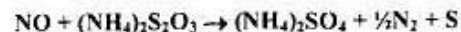


Процесс позволяет очищать газы от оксидов азота более чем на 95 %, а от оксидов серы – практически полностью. Процесс не требует подогрева. В результате образуются: N_2 , CO_2 , H_2O и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. pH абсорбционного раствора 5...9, что не вызывает коррозии арматуры. В растворе накапливается сульфат аммония $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$, который при получении концентрированного раствора выводится из цикла и перерабатывается

По указанной технологии газы очищаются от оксидов азота и серы с получением гипса.

От SO_2 газы вначале очищаются суспензией $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с рециклом последней и от NO_x и SO_2 раствором карбамида с рециклом раствора и возвратом аммиака на стадию очистки

Процесс относится к абсорбционно-восстановительному типу в присутствии гомогенного катализатора ИК-27, отличающегося повышенной стабильностью и селективностью действия. Степень очистки по SO_2 до 99,9 %, по NO_x – 93 %. Температура процесса 50...65 °C, pH = 5...8.



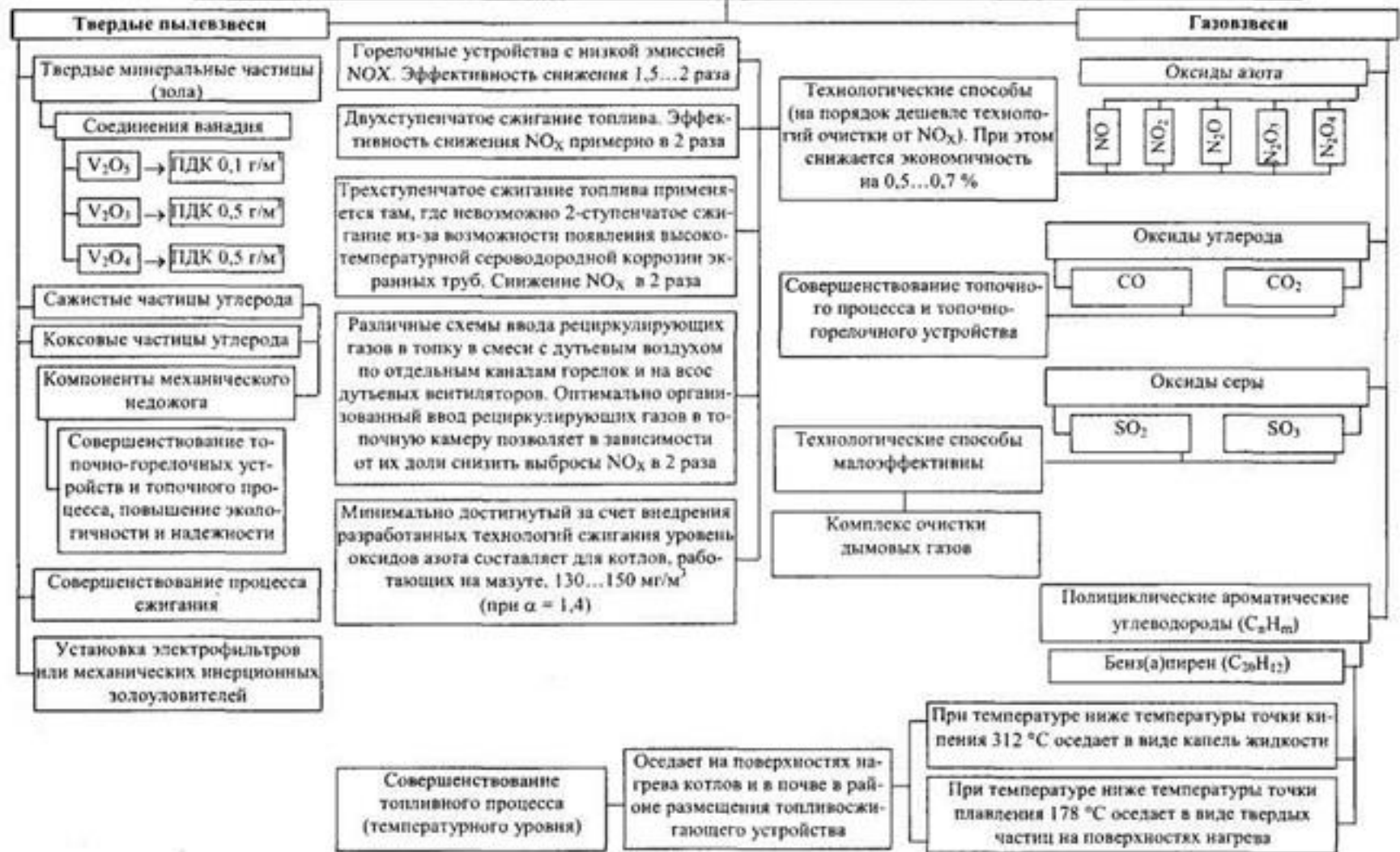
**Технологические способы снижения NO_x
и их эффективность для пылеугольных котлов**

Наименование мероприятия	Снижение выбросов δ , %	Примечание
Снижение коэффициента избытка воздуха в горелках	10...20*	Эффективность ограничена увеличением потерь с недожогом топлива, а также интенсивностью шлакования экранов и высокотемпературной коррозией
Снижение доли первичного воздуха	10...15	Ограничением является рост потерь с недожогом топлива, а на реконструируемых котлах – и нарушение надежности транспорта угольной пыли в топку
Снижение концентрации кислорода в первичной аэро-смеси за счет рециркуляции дымовых газов	5...15	Рекомендуется при сжигании высокореакционных каменных и бурых углей. Предельное снижение NO_x определяется устойчивостью горения, а в топках с ЖШУ и надежностью эвакуации жидкого шлака

Наименование мероприятия	Снижение выбросов δ , %	Примечание
Перераспределение подачи топлива между ярусами горелок или горелками	10...35	Предельное снижение NO_x определяется увеличением недожога топлива и температуры газов на выходе из топки (или высоты топки), опасностью высокотемпературной коррозии экранов, а в топках с ТШУ и увеличением загрязнения экранов
Установка горелок с низким выходом NO_x	20...50	Предельное снижение NO_x определяется увеличением недожога топлива и температуры газов на выходе из топки (или высоты топки)
Двухступенчатое сжигание	20...40	То же. Опасность высокотемпературной газовой коррозии экранов. Рекомендуется в первую очередь для малосернистых углей
Трехступенчатое сжигание	30...50	Наиболее эффективный восстановитель – природный газ, транспортируется дымовыми газами. Предельное снижение NO_x определяется увеличением недожога топлива и температуры газов на выходе из топки (или высоты топки), опасностью высокотемпературной газовой коррозии экранов
Подача в горелки пыли высокой концентрации	15...40*	Наиболее эффективна при сжигании бурых углей
Предварительный подогрев угольной пыли	30...60*	Наиболее эффективна при сжигании каменных и бурых углей в топках с ТШУ. Находится в стадии промышленной проверки

* Большие значения при сжигании бурых углей

ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ИХ УРОВНЯ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ)



Основные виды газа и их состав, используемые в энергетике (в % по объему)

Промышленные газы

Газ доменных печей

CH₄ → 0,30 %

CO → 28 %

CO₂ → 10,5 %

N₂ → 58,5 %

H₂ → 2,7 %

Q_d^г = 1000 ккал/м³

ρ = 1,293 кг/м³

Газ коксовых печей

CH₄ → 25 %

CO → 7 %

CO₂

↓

0,01...1,0%

N₂ → 4 %

H₂ → 58 %

C₂H₆ → 2,0 %

O₂ → 1 %

Q_d^г = 4300 ккал/м³

Природные газы

CH₄ → 86,4...98,9 %

C₂H₆ → 0,12...3,9 %

C₃H₈ → 0,01...1,7 %

C₄H₁₀ → 0,01...0,87 %

C₅H₁₂ → 0...0,30 %

C₆H₁₄ → 0...0,20 %

CO₂ → 0,01...1,0 %

N₂ → 0,8...6,7 %

Q_d^г = 8500...8900 ккал/м³

ρ = 0,771...0,828 кг/м³

Попутные газы

CH₄ → 38...93,0 %

C₂H₆ → 3,4...25,0 %

C₃H₈ → 1,3...12,6 %

C₄H₁₀ → 0,7...5,1 %

C₅H₁₂ → 0,2...2,2 %

H₂S → 0,5...1,1 %

CO₂ → 0...1,0 %

N₂ → 0,1...2,7 %

Q_d^г = 8800...11200 ккал/м³

ρ = 0,8...1,196 кг/м³

Состав газовых выбросов

Оксиды азота

Оксиды углерода

Оксиды серы

Альдегиды (НСНО) и органические кислоты (СН₃СООН)

Циклические ароматические углеводороды

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗА

Двухступенчатое сжигание топлива

(снижение NO_x в 2,5 раза)

Рециркуляция дымовых газов в воздуховоде перед горелками

(снижение NO_x с 220 мг/м^3 до 60 мг/м^3 , т.е. в 3,5 раза)

Впрыск до 10 % воды через горелки в топку

(снижение NO_x на 30 %)

Трехступенчатое сжигание топлива и ввод газов на всос ВД

(снижение NO_x в 3,5 раза)

Рециркуляция газов на всос дутьевого вентилятора

(снижение NO_x в 2,5 раза)

Горелки двухступенчатого смешения (ГДС) и двухступенчатое сжигание

Подовые горелки

(котлы ТГМП - 314)

Совмещенные технологии и их эффективность

(Котел 480 т/ч, ТГМ-96Б, ТЭЦ-8, Мосэнерго).

1. Многоступенчатое сжигание
 2. Рециркуляция газов на всос дутьевых вентиляторов
- Снижение NO_x с 470 мг/м^3 до 30 мг/м^3 , т.е. в 16 раз!

(Котлы ПК-33, 670 т/ч, Щекинская ГРЭС).

1. Трехступенчатое сжигание
 2. Подача газов рециркуляции в горелки
- Снижение NO_x с 300 мг/м^3 до 90 мг/м^3 , т.е. в 4,5 раза

(Котлы ТГМП-344, 950 т/ч, ТЭЦ-26 Мосэнерго).

1. Рециркуляция газов ($\alpha = 27 \%$)
 2. Ступенчатое сжигание
- Снижение NO_x с 1500 мг/м^3 до 100 мг/м^3 , т.е. в 15 раз!

(Котлы ТГМ-204, Сургутская ГРЭС).

1. Двухступенчатое сжигание
 2. Рециркуляция газов
 3. Впрыск через горелки 10 % воды
- Снижение NO_x с 1200 мг/м^3 до 160 мг/м^3 , т.е. в 8 раз

(Котлы ТГМП-314П, 950 т/ч, ТЭЦ-26 Мосэнерго).

1. Подовые горелки
 2. Рециркуляция газов
 2. Ступенчатое сжигание
- Снижение NO_x с 1400 мг/м^3 до 90 мг/м^3 , т.е. в 15 раз!

(Котлы ТГМП-114, 475 т/ч, СУ ГРЭС).

1. Горелки с пониженным выходом NO_x
 2. Рециркуляция дымовых газов
 2. Ступенчатое сжигание
- Снижение NO_x с 950 мг/м^3 до 85 мг/м^3 , т.е. в 12 раз!

**Технологические способы снижения NO_x
и их эффективность для газомазутных котлов**

Наименование мероприятия	Снижение выбросов δ , %	Примечание
Снижение коэффициента избытка воздуха в горелках	30...40	При уменьшении избытка воздуха с 1.10 до 1,02. наряду с экологическим эффектом позволяет повысить экономичность котла, а при сжигании серосодержащих топлив также уменьшить скорость коррозии и загрязнения конвективных поверхностей нагрева
Рециркуляция дымовых газов в горелки	30...60 30...40	При сжигании газа При сжигании мазута При сжигании мазута. Снижение зависит от количества рециркулирующих газов, конструкции горелок и способа ввода газов рециркуляции, исходной температуры факела в зоне горения
Установка горелок с низким выходом NO_x	20...30	Предельное снижение NO_x ограничивается химическим недожогом топлива и устойчивостью горения
Двухступенчатое сжигание	30...50	Выброс NO_x снижается с увеличением расстояния от горелок до сопел воздушного дутья. Величина снижения ограничивается возрастанием недожога и образованием вредных веществ, в том числе бенз(а)пирена, опасностью коррозии экранов. Имеется тенденция к росту коэффициента избытка воздуха на выходе из топки
Трехступенчатое сжигание	15...25	Восстановитель – газ или мазут, транспортируемые дымовыми газами. Ограничения связаны с ростом температуры на выходе из топки или с увеличением высоты топки, с опасностью коррозии экранов, с ростом недожога и с увеличением образования других вредных соединений

Наименование мероприятия	Снижение выбросов δ , %	Примечание
Впрыск воды или водяного пара в зону горения	15...20	Рекомендуется в качестве дополнительного к другим методам подавления NO_x в случаях повышенных требований к охране атмосферы, например, при неблагоприятных метеоусловиях или в районах с повышенной фоновой концентрацией вредных веществ