



ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
И СОЦИАЛЬНЫЙ СОВЕТ

Distr.  
GENERAL

EB.AIR/WG.6/1998/8/Rev.1  
26 November 1998

RUSSIAN  
Original: ENGLISH

ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН ПО КОНВЕНЦИИ  
О ТРАНСГРАНИЧНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОЗДУХА  
НА БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ

Рабочая группа по методам борьбы с загрязнением воздуха

**МЕТОДЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЫБРОСОВ NO<sub>x</sub> ИЗ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Подготовлено Целевой группой по оценке вариантов/методов  
ограничения выбросов NO<sub>x</sub>, возглавляемой Германией\*

**Введение**

1. В настоящем документе рассматриваются стационарные источники выбросов (NO<sub>x</sub>), перечисленные в таблице 1.

Документы, подготовленные под руководством или по просьбе Исполнительного органа по Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния и предназначенные для ОБЩЕГО распространения, следует рассматривать в качестве предварительных до их УТВЕРЖДЕНИЯ Исполнительным органом.

1/ На пятом совещании Целевой группы, состоявшемся 21-22 октября 1998 года в Карлсруэ (Германия).

GE.98-32808 (R)

2. Цель настоящего документа заключается в предоставлении Сторонам Конвенции рекомендаций относительно определения наилучших имеющихся методов, которые позволили бы Сторонам выполнить их обязательства по Протоколу. Представленные варианты наилучших имеющихся методов (НИМ) могут применяться во всех случаях.

**Таблица 1.** Рассматриваемые категории стационарных источников выбросов NO<sub>x</sub>

Категории источников	
1.	Установки, работающие на основе сжигания топлива
	а) котлоагрегаты
	б) газовые турбины
	с) стационарные двигатели
2.	Нефтеперерабатывающие предприятия
3.	Коксовые печи
4.	Производство и обработка металлов:
	– печи для обжига или спекания металлических руд
	– установки для производства чугуна или стали (первичная или вторичная плавка), включая непрерывное литье
	– установки для обработки черных металлов (горячая прокатка)
5.	Установки для производства цементного клинкера во вращающихся или других печах
6.	Установки для производства стекла, включая стекловолокно
7.	Установки для производства азотной кислоты
8.	Установки для сжигания коммунально-бытовых, опасных и медицинских отходов и осадка, образующегося в результате очистки сточных вод

3. Настоящий документ подготовлен на основе информации о вариантах и методах предупреждения и сокращения выбросов NO<sub>x</sub>, их эффективности и связанных с ними затратах, которая содержится в техническом справочном документе, подготовленном Целевой группой по оценке вариантов/методов борьбы с выбросами NO<sub>x</sub>, включая информацию, предоставленную стране, возглавлявшей работу Целевой группы, операторами установок, производителями оборудования для ограничения выбросов NO<sub>x</sub> и членами Целевой группы. Технический справочный документ включает также информацию, содержащуюся в официальной документации Исполнительного органа и его вспомогательных органов, в частности в документации шестого семинара по технологиям ограничения выбросов из стационарных источников, состоявшегося в Будапеште в 1996 году, и другую опубликованную информацию. Он отражает нынешнее положение (апрель 1998 года) в области развития и применения соответствующих вариантов и методов и сопутствующих затрат по сокращению выбросов NO<sub>x</sub> из стационарных источников в разбивке по основным категориям источников выбросов.

4. "Наилучшие имеющиеся методы" означают наиболее эффективный и продвинутый этап совершенствования деятельности и методов ее осуществления, который свидетельствует о практической пригодности конкретных методов для заложения, в принципе, основы для определения предельных значений объемов выбросов с целью предупредить и, если это невозможно, в общем сократить выбросы и их воздействие на окружающую среду в целом:

- i) "методы" включают как применяемую технологию, так и системы проектирования, сооружения, обслуживания, эксплуатации и вывода из эксплуатации конкретной установки;
- ii) "имеющиеся методы" означают методы, разработанные настолько, что их можно применять в соответствующем секторе промышленности в экономически и технически реальных условиях с учетом соответствующих затрат и преимуществ, вне зависимости от того, применяются ли или созданы ли эти методы в данной Стороне, при том понимании, что они являются реально доступными для оператора;
- iii) "наилучшие методы" означают те методы, которые являются наиболее эффективными для достижения высокого общего уровня защиты окружающей среды в целом.

При определении наилучших имеющихся методов в целом или в отдельных конкретных случаях особое внимание следует уделять нижеследующим факторам с учетом вероятных затрат и выгод, сопряженных с той или иной мерой, и принципов предосторожности и упреждения:

- a) применение малоотходной технологии;
- b) использование менее опасных веществ;
- c) содействие рекуперации и рециркуляции 1/ веществ и, в надлежащих случаях, отходов, образующихся и используемых в ходе технологического процесса;
- d) сопоставимые процессы, установки или методы, которые были с успехом испытаны в промышленных масштабах;
- e) технологические достижения и изменения в сфере научных знаний и понимания;
- f) характер, воздействие и объем соответствующих выбросов;
- g) сроки ввода в эксплуатацию новых или существующих установок;
- h) период времени, который необходим для внедрения наилучшего имеющегося метода;

i) потребление и природа сырьевых материалов (включая воду), используемых в ходе процесса, и их энергоэффективность;

j) необходимость предупреждать или сводить к минимуму общее воздействие выбросов на окружающую среду и риски для нее;

k) необходимость предупреждать аварии и сводить к минимуму последствия для окружающей среды.

5. Темой настоящего документа являются меры по ограничению выбросов  $\text{NO}_x$ , рассматриваемых как совокупность закиси азота ( $\text{NO}$ ) и двуокиси азота ( $\text{NO}_2$ ), выраженная через  $\text{NO}_2$ . Однако при планировании мер или методов ограничения выхода  $\text{NO}_x$  из источников, из которых происходят выбросы других компонентов, в частности окислов серы ( $\text{SO}_x$ ), летучих органических соединений (ЛОС), аммиака ( $\text{NH}_3$ ), парниковых газов (например  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$ ), твердых частиц (включая тяжелые металлы) и стойких органических загрязнителей (СОЗ), их целесообразно рассматривать в сочетании с вариантами ограничения выбросов этих конкретных загрязнителей в целях максимального повышения результативности принимаемых мер и сведения к минимуму воздействия загрязнителей на окружающую среду. Следует принять во внимание соответствующее компенсирующее влияние различных загрязнителей. Это особенно важно в случае применения мер, учитывающих многообразие загрязнителей и видов их воздействия.

## **1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ**

6. Существует несколько возможностей для ограничения или предупреждения выбросов  $\text{NO}_x$  из стационарных источников. Как правило, различают меры первичного, вторичного (доочистка или очистка в конце технологического процесса) и структурного характера. Если не указывается иного, то предлагаемые меры можно применять на существующих и новых установках. Ниже приводится общий перечень имеющихся мер, которые могут также применяться в комбинации:

- a) повышение эффективности существующих технологий ограничения выбросов  $\text{NO}_x$ ;
- b) регулирование энергопотребления (эффективное и рациональное использование энергии);
- c) соответствующая конструкция котлоагрегатов;
- d) совершенствование технологии сжигания;
- e) модификация процессов горения (первичные меры);
- f) новые концепции технологий сжигания;

г) очистка отходящих газов (вторичные меры);

h) рациональные методы ведения домашнего хозяйства (например, регулярное обслуживание, надлежащий контроль).

#### **А. Меры структурного характера**

7. Применение экологически чистого топлива и рациональное использование энергии позволяют сократить выбросы  $\text{NO}_x$ . Как правило, применение определенных видов топлива определяется структурой энергоснабжения страны. Таким образом, возможности использования топлива с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$ , как правило, ограничены. Хотя и существует значительный технический потенциал для сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  за счет перехода к более чистым видам топлива, реализация этого потенциала зависит от конкретных условий страны, в частности от ее инфраструктуры и политики. С другой стороны, можно добиться значительного сокращения потребления энергии в самых различных производственных процессах на основе регулирования энергопотребления, например экономии энергии, перехода к более эффективной технологии и регулирования спроса. Затраты на меры по регулированию энергопотребления могут оказаться ниже, чем расходы на дополнительное энергоснабжение. Регулирование энергопотребления может существенно содействовать уменьшению загрязнения атмосферы. Очистку топлива для удаления из него азота не следует рассматривать в качестве коммерческой альтернативы. В то же время более широкое применение гидроочистки на нефтеперерабатывающих заводах также позволяет сократить содержание азота в конечной продукции.

#### **В. Первичные и вторичные меры**

8. В целях обеспечения наиболее действенного сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ , помимо мер регулирования энергопотребления, следует рассмотреть комбинацию различных технических вариантов (переход на другие виды топлива, другие технологии сжигания, модификация технологического процесса и зоны горения, очистка топочных газов). Кроме того, для выявления наилучших комбинаций, предполагающих модификацию процесса сжигания и очистку топочных газов, необходимо провести оценку этих методов непосредственно на месте, с тем чтобы проверить, насколько они обеспечивают достижение установленных норм выбросов.

9. Модификация технологического процесса и процесса сжигания используется для сокращения количества  $\text{NO}_x$ , образующихся в процессе сжигания топлива. Эти меры включают регулирование количества воздуха, подаваемого в зону горения, температуры пламени, состава топливно-воздушной смеси и т.д. Одни меры можно применять в порядке усовершенствования оборудования, другие – на новых установках, но они могут быть также применимы и для усовершенствования. Могут существовать некоторые ограничения в отношении эффективности и применимости рассматриваемых мер. Эти меры широко используются по отдельности или в комбинации:

- a) сжигание топлива с малой подачей воздуха;
- b) предварительный нагрев воздуха, подаваемого в ограниченном количестве 2/;
- c) автоматически отключаемые горелки 2/;
- d) сжигание в пламени со смещенным потоком 2/;
- e) горелки с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$ ;
- f) рециркуляция топочных газов;
- g) сжигание под острым дутьем;
- h) сокращение количества  $\text{NO}_x$  в печи или дожиг;
- i) впрыск воды/пара и сжигание бедной/предварительно подготовленной топливной смеси 3/.

10. Такие технологии ограничений выбросов  $\text{NO}_x$ , как дожиг, хорошо разработаны и могут применяться при использовании любых горючих материалов. Согласно сообщениям, дожиг, применяемый отдельно или в сочетании с другими первичными мерами, позволяет достичь уровня сокращения  $\text{NO}_x$  до 70–80%. Дожиг имеет ряд таких преимуществ, как совместимость с другими первичными мерами по сокращению выбросов  $\text{NO}_x$ , простота внедрения, использование стандартного топлива (нефтяное или газовое) в качестве восстановителя, не нужно никаких добавок и требуется мало дополнительной энергии. Следует упомянуть особенно хорошие результаты применения дожига на крупных установках, работающих на нефтяном топливе, а также опыт в использовании угля в качестве восстанавливающего агента. В настоящее время топливо все чаще используется также в качестве восстанавливающего агента.

11. Сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  можно также достичь за счет применения таких традиционных технологий с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$ , как сжигание топлива в псевдоожиженном слое. Эту технологию можно применять в отношении самых различных видов топлива (уголь, биомасса, остаточные нефтепродукты и т.д.). Благодаря довольно низким температурам горения (около 850°C) и обязательной подготовке воздуха эта технология позволяет обеспечить значительное сокращение выбросов  $\text{NO}_x$  и может, как правило, использоваться отдельно без мер вторичного порядка. Сжигание в кислородной среде является еще одним способом сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ ; до последнего времени промышленное применение этого метода ограничивалось сферой производства стекла.

12. Основные модификации зоны горения включаются главным образом в конструкцию котлоагрегата и горелок. Например, конструкция современной печи предусматривает использование оборудования для сжигания топлива под острым дутьем. Самая последняя

конструкция горелок с низким выбросом  $\text{NO}_x$  предполагает как подготовку воздуха, так и подготовку топлива (дожигание на уровне горелок).

13. В отличие от большинства технологий сжигания применение модификаций камер или процессов сгорания в промышленных установках, работающих на основе сжигания топлива, обусловлено целым рядом технологических ограничений. Например, в печах для изготовления цемента или стекловаренных печах для получения требуемого качества продукции необходимо поддерживать определенную высокую температуру или обеспечивать равномерное распределение температуры в печи. Типичными примерами модификации зоны горения являются горелки с поэтапным сжиганием топлива/низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$ , рециркуляция топочных газов и оптимизация процесса (например, предварительный обжиг в цементных печах).

14. Процесс избирательного каталитического восстановления (ИКВ) является наиболее отработанным и широко используемым процессом очистки топочных газов, который характеризуется высокой эффективностью удаления  $\text{NO}_x$  (в некоторых секторах эта эффективность может достигать, в зависимости от конкретного случая, 95%) и общедоступностью. В процессе ИКВ обычно используются аммиак или мочевины в качестве восстановителей, однако наиболее часто для этой цели применяется хранящийся под высоким давлением ангидрид аммония. В Европе, главным образом, в конструкции котлоагрегатов успешно применяются различные установки ИКВ, использующие эти добавки. Применение ИКВ на установках, работающих на газе, может снизить выбросы  $\text{NO}_x$  до очень низкого уровня. Этот процесс применяется на установках, работающих на газе, нефтепродуктах и угле. Срок службы катализатора является гораздо более продолжительным, чем предполагалось первоначально, и достигает 6–10 лет на установках, работающих на угле, и 8–12 лет на установках, работающих на газе и нефти; при этом более низкие значения отмечаются в случае большого выхода пылевидных частиц, а более высокие – при очистке отходящих газов. Процесс ИКВ применяется также в небольших топочных устройствах и представляет собой хорошо отработанную технологию по удалению  $\text{NO}_x$  при сжигании топлива в котлоагрегатах и в отдельных промышленных процессах, в том числе:

- а) на установках по производству азотной кислоты;
- б) в стекловаренных печах;
- с) при производстве цемента (в настоящее время проверка применимости ИКВ проводится в экспериментальном масштабе);
- д) в печах нефтеперерабатывающих заводов;
- е) при сжигании опасных отходов (главным образом в печах роторного типа);
- ф) при сжигании бытовых отходов (главным образом в колосниковых печах);

г) при сжигании больничных и прочих особых отходов на коммунальных или промышленных предприятиях (печи роторного типа, пиролизные установки, при сжигании в псевдоожиженном слое таких промышленных отходов, как осадочные отложения, остаточные нефтепродукты, отходы производства), в том числе в довольно небольших установках ( $<10 \text{ МВт}_T$ ).

15. Процесс избирательного некаталитического восстановления (ИНКВ) применяется на малых и средних установках со средним содержанием  $\text{NO}_x$  в газах, подлежащих очистке. Процесс ИНКВ применяется в самых различных топочных устройствах и технологических печах (для производства стекла и цемента), а также в мусоросжигательных установках. Процесс ИНКВ, как правило, обеспечивает сокращение выбросов  $\text{NO}_x$  на 30–70%. В сочетании с рециркуляцией топочных газов этот процесс представляет собой привлекательную и надежную технологию умеренного сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  (50–80%), главным образом в случае небольших топочных устройств и в промышленных процессах.

16. Другие технологии очистки топочных газов предполагают одновременное удаление  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$ . Процесс, основанный на использовании активированного угля (АУ), является вариантом, используемым лишь в небольшом числе случаев, поскольку он дорогостоящий и обеспечивает лишь ограниченное сокращение выбросов  $\text{NO}_x$  (порядка 60%). Процесс удаления окислов серы и окислов азота дает некоторые преимущества в случае сырья с большим содержанием серы.

### **с. Затраты**

17. При выборе вариантов/методов сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  из целого ряда мер и при разработке макроэкономической стратегии регулирования выбросов  $\text{NO}_x$  на национальном или региональном уровнях важное значение имеет определение инвестиционных и эксплуатационных затрат, связанных с такими вариантами/методами. Подробный анализ данных о затратах (соответствующих инвестиционных и эксплуатационных расходов) приводится в справочном документе Целевой группы по оценке вариантов/методов ограничения выбросов  $\text{NO}_x$ , касающемся наилучших имеющихся методов. Соответствующие данные основываются на результатах практической работы. Были собраны соответствующие данные по существующим и новым установкам: для последней категории установок размер инвестиционных затрат обычно является значительно более низким.

18. В таблице 2 приводятся примеры инвестиционных и эксплуатационных затрат по подборке соответствующих комбинаций мер первичного и вторичного характера, которые применимы в рассматриваемых секторах. Указанные примеры конкретно привязаны к определенным соответствующим параметрам, таким, как время работы в течение года, объем отходящих газов и содержание в них загрязнителей, мощность базовой установки, вид топлива и т.д. Таким образом, эти данные приводятся лишь в качестве примера и их не следует воспринимать как значения, применимые в широком плане. В таблице 3 приводятся наиболее важные параметры для определения эксплуатационных затрат на примере процесса ИКВ. Эти примеры позволяют получить представление о методике,



которая применялась для оценки затрат в техническом справочном докладе Целевой группы по оценке вариантов/методов ограничения выбросов NO<sub>x</sub>.

**Таблица 2.** Инвестиционные и эксплуатационные затраты, связанные с использованием альтернативных вариантов ограничения выбросов NO<sub>x</sub> (модификация существующих установок)

Параметры базовой установки	Альтернативные варианты ограничения выбросов	Инвестиции <u>a</u> / [ЭКЮ]	Эксплуатационные затраты <u>b</u> / [ЭКЮ/год]	Сокращение выбросов [Мг NO <sub>x</sub> /год]
<b>Котлоагрегаты</b>				
Котлоагрегат теплоцентрали;  Топливо: каменный уголь  Мощность: 1 500 МВт  Время работы: 5 500 час/год	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	13 300 000	1 400 000	3 560
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и сжигание под острым дутьем	16 100 000	1 500 000	4 100
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИНКВ	61 300 000	6 400 000	8 110
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> , сжигание под острым дутьем и НКВ	17 500 000	2 200 000	6 770
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> , сжигание под острым дутьем и ИКВ	64 100 000	6 500 000	8 200
Котлоагрегат теплоцентрали;  Мощность: 600 МВт  Топливо: каменный уголь  Время работы: 1 500 час/год	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	7 000 000	430 000	390
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и сжигание под острым дутьем	8 500 000	505 000	450
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИКВ	32 000 000	1 930 000	885
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> , сжигание под острым дутьем и ИНКВ	9 200 000	610 000	740
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> , сжигание под острым дутьем и ИКВ	33 500 000	2 000 000	895

Параметры базовой установки	Альтернативные варианты ограничения выбросов	Инвестиции <u>a</u> / [ЭКЮ]	Эксплуатационные затраты <u>b</u> / [ЭКЮ/год]	Сокращение выбросов [Мг NO <sub>x</sub> /год]
Промышленный котлоагрегат  Топливо: природный газ  Мощность: 160 МВт  Время работы: 6 000 час/год	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	2 800 000	170 000	140
Промышленный котлоагрегат  Топливо: технологический газ  Мощность: 160 МВт  Время работы: 6 000 час/год	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИНКВ	1 500 000	240 000	830
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИКВ	3 400 000	560 000	1 040
	Рециркуляция топочных газов и ИНКВ	1 300 000	210 000	780
	Рециркуляция топочных газов и ИКВ	3 200 000	530 000	1 030
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> , рециркуляция топочных газов и ИНКВ	2 000 000	310 000	920
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> , рециркуляция топочных газов и ИКВ	3 850 000	630 000	1 070
Котлоагрегат теплоцентрали, промышленный котлоагрегат, сжигание топлива в циркулирующем псевдоожиженном слое  Топливо: уголь  Мощность: 160 МВт  Время работы: 6 000 час/год	Каких-либо мер не применяется	10 700 000 <u>с</u> /	830 000 <u>с</u> /	760 <u>с</u> /
	ИНКВ	290 000	74 000	152

Параметры базовой установки	Альтернативные варианты ограничения выбросов	Инвестиции <u>a</u> / [ЭКЮ]	Эксплуатационные затраты <u>b</u> / [ЭКЮ/год]	Сокращение выбросов [Mг NO <sub>x</sub> /год]
Котлоагрегат для отопления коммерческих и общественных зданий  Топливо: тяжелое дизельное топливо  Мощность: 5 МВ <sub>т</sub>  Время работы: 2 000 час/год	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	245 000	13 000	3,1
	Сжигание под острым дутьем	51 000	2 500	0,75
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и сжигание под острым дутьем	295 000	15 700	3,6
	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и рециркуляция топочных газов	295 000	16 500	4,5
<b>Газовые турбины</b>				
Комбинированный цикл  Выходная мощность: 150 МВ <sub>эл</sub>  Топливо: природный газ  Время работы: 6 000 час/год	ПМ	2 050 000	370 000	670
	ИКВ	27 000 000	3 110 000	1 145
Простой цикл  Выходная мощность: 30 МВ <sub>эл</sub>  Топливо: природный газ  Время работы: 2 000 часов/год	ПМ	360 000	36 000	70
	ИКВ	5 400 000	380 000	115
	ПМ и ИКВ	4 000 000	300 000	125
Теплоэлектроцентраль в промышленности  Выходная мощность газовой турбины: 25 МВ <sub>эл</sub>  Топливо: Дизельное топливо  Время работы: 8 000 часов/год	ПМ	550 000	50 000	685
	ИКВ	4 500 000	600 000	1 165
	ПМ и ИКВ	5 050 000	610 000	1 265

Параметры базовой установки	Альтернативные варианты ограничения выбросов	Инвестиции а/ [ЭКЮ]	Эксплуатационные затраты б/ [ЭКЮ/год]	Сокращение выбросов [Мг NO <sub>x</sub> /год]
Комплексный цикл газификации угля и комбинированного производства энергии <u>d/</u> Выходная мощность: 450 МВт <sub>эл</sub> Топливо: тяжелое дизельное топливо Время работы: 8 000 ч/год	ПМ	5 400 000	700 000	4 000
	ИКВ	81 000 000	10 000 000	6 900
<b>Стационарные двигатели</b>				
Традиционное сжигание обогащенной смеси Топливо: природный газ Выходная мощность: 600 кВт <sub>эл</sub> Время работы: 5 000 ч/год	Обедненная смесь	10 000	-3 000	40
	[ИНКВ]	[40 000]	[2 500]	[40]
Усовершенствованное сжигание обедненной смеси Топливо: природный газ Выходная мощность: 600 кВт <sub>эл</sub> Время работы: 5 000 ч/год	ИКВ	50 000 <u>с/</u>	15 000	5
Дизельный двигатель Топливо: тяжелое дизельное топливо Выходная мощность: 20 МВт <sub>эл</sub> Время работы: 5 000 ч/год	ИКВ	230 000	40 000	650
Дизельный двигатель Топливо: дизельное топливо Выходная мощность: 3 МВт <sub>эл</sub> Время работы: 5 000 ч/год	Рециркуляция отходящих газов	15 000	5 000	26
	ИКВ	230 000	40 000	78
	Рециркуляция отходящих газов и ИКВ	245 000	40 000	80
Дизельный двигатель Топливо: тяжелое дизельное топливо Выходная мощность: 20 МВт <sub>эл</sub> Время работы: 5 000 ч/год	ИКВ	60 000	9 000	100
<b>Производство чугуна и стали: агломерационные фабрики</b>				
Самоходная колосниковая агломерационная машина Топливо: коксовая мелочь Производительность: 12 000 Мг агломерата/год Время работы: 8 400 ч/год	Рециркуляция топочных газов	5 000 000	-200 000 <u>f/</u>	2 000
	ИКВ	50 000 000	10 000 000	6 600
	Рециркуляция топочных газов и ИКВ	48 000 000	5 000 000	6 700

Параметры базовой установки	Альтернативные варианты ограничения выбросов	Инвестиции <u>a/</u> [ЭКЮ]	Эксплуатационные затраты <u>b/</u> [ЭКЮ/год]	Сокращение выбросов [Мг NO <sub>x</sub> /год]
<b>Производство цемента</b>				
Сухой процесс с предварительным подогревом/ предварительным обжигом Топливо: уголь	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и поэтапное сжигание в случае печи с предварительным обжигом	3 600 000	240 000	340
Производительность: 2 000 Мг/день Время работы: 5 000 ч/год	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИНКВ	2 175 000	340 000	460
Сухой процесс с предварительным подогревом/ предварительным обжигом Топливо: уголь Производительность: 2 000 Мг/день; Время работы: 8 000 ч/год	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИКВ	6 400 000	820 000	960
<b>Производство стекла: тарное стекло</b>				
Производство бесцветного и цветного стекла Регенеративно нагреваемая поверхность Топливо: природный газ Производительность: 400 Мг/день Время работы: 8 760 ч/год	МЗГ <u>g/</u>	600 000	30 000	300
	Дожиг	250 000	200 000	470
	Плавильная печь с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	2 000 000	100 000	550
	Сжигание в кислородной среде	-1 200 000 <u>h/</u>	1 200 000	630
400 Мг/день Время работы: 8 760 ч/год	ИНКВ	1 000 000	130 000	390
	ИКВ	4 000 000	500 000	550
	МЗГ и ИНКВ	1 580 000	161 000	550
	МЗГ и ИКВ	4 390 000	536 000	650
Производство бесцветного и цветного стекла Регенеративно нагреваемая поверхность Топливо: природный газ Производительность: 400 Мг/день Время работы: 8 760 ч/год	МЗГ <u>g/</u>	360 000	18 000	76
<b>Производство азотной кислоты</b>				
Производство азотной кислоты средней концентрации Установка с большим перепадом давления Производительность: 1 000 Мг/день Время работы: 8 400 ч/год	ИКВ	2 000 000	300 000	950

Производство азотной кислоты высокой концентрации Производительность: 500 Мг/день Время работы: 8 400 ч/год	ИКВ	1 200 000	200 000	800
<b>Сжигание отходов: сжигание бытовых или муниципальных отходов</b>				
Передвижная мусоросжигательная установка	ПМ i/	300 000	30 000	100
Роторная печь	ИНКВ	1 000 000	200 000	350
Производительность: 30 Мг/день	ИКВ	26 000 000	2 000 000	430
Время работы:	ПМ и ИНКВ	1 300 000	230 000	380
8 400 ч/год	ПМ и ИКВ	26 300 000	2 000 000	440
<p><u>a/</u> Зависит, в частности, от скорости потока отходящих газов, производительности, периферийных условий.</p> <p><u>b/</u> Зависит, в частности, от расхода отходящих газов, концентрации NO<sub>x</sub> в отходящих газах на входе, времени работы в течение года, степени сокращения выбросов NO<sub>x</sub> и т.д.</p> <p><u>c/</u> В сравнении с обычным сжиганием распыленного угля.</p> <p><u>d/</u> Ограниченный эксплуатационный опыт.</p> <p><u>e/</u> Включая небольшой катализатор окисления.</p> <p><u>f/</u> В связи с пониженным потреблением коксовой мелочи.</p> <p><u>g/</u> Например, малая подача воздуха, предварительный нагрев воздуха, подаваемого в ограниченном количестве, поэтапное сжигание.</p> <p><u>h/</u> В сравнении с обычным сжиганием воздушной смеси.</p>				

ПМ	=	Первичная мера
МЗГ	=	Модификация зоны горения
ИНКВ	=	Избирательное некаталитическое восстановление
ИКВ	=	Избирательное каталитическое восстановление
НИКВ	=	Неизбирательное каталитическое восстановление (трехкомпонентный каталитический нейтрализатор)

**Таблица 3.** Основные компоненты расходов и соответствующие параметры, которые учитывались при оценке эксплуатационных затрат (ЭКЮ/год), связанных с применением технологии ИКВ (для водного раствора аммиака)

Параметры → Основные компоненты расходов ↓	Расход отходящих газов	К (NO <sub>x</sub> на входе)	Время работы в течение года (часов/год)	Сокращение NO <sub>x</sub>	Доля NO <sub>x</sub> в общем объеме NO <sub>x</sub>	Относительная значимость
Непосредственные эксплуатационные затраты, связанные с потреблением исходных материалов						
Потребление аммиака <u>a/</u>	•	•	•	•	•	++
Потребление электроэнергии <u>a/</u>	•		•			++
Потребление топлива <u>b/</u>	•		•			+
Замена катализатора <u>a/</u>	•		•			+++
Персонал			•			+
Эксплуатационные затраты, связанные с основными фондами						
Обслуживание и ремонт	•	•		•		++
Налоги	•	•		•		+
Страхование	•	•		•		+
<p>К (NO<sub>x</sub> на входе) = концентрация NO<sub>x</sub> в топочных газах на входе в катализатор</p> <p><u>a/</u> Доминирующая позиция вместе с капитальными затратами (не учитываются в таблице 3).</p> <p><u>b/</u> Следует учитывать при низком содержании загрязнителей или пыли.</p>						

Что касается эксплуатационных затрат, связанных с основными фондами, то следует учитывать, что на долю амортизационных отчислений и ссудного процента (капитальные затраты) приходится наибольшая часть расходов (не учитываемых в таблице 3) для технологии и ИКВ.

19. При определении расходов по сокращению выбросов NO<sub>x</sub> в том или ином секторе конкретной страны необходимо принимать во внимание такие параметры, как:

- распределение производственных процессов по мощностям;

- распределение производственных процессов по срокам службы и предельно допустимым срокам эксплуатации;
- переходные периоды/сроки внедрения в случае технологических преобразований;
- технологии производства и методы сокращения выбросов, уже применяющиеся в соответствии с действующим законодательством;
- темпы развития будущей деятельности по секторам;
- характер сырья, технологического проектирования и эксплуатации.

Для получения этой информации необходимо проделать более углубленный анализ, чем тот, который приводится в таблице 2. В справочном документе излагается методика, основанная на концепции "базовой установки", и приводятся необходимые данные (инвестиции, годовые эксплуатационные затраты) с учетом набора соответствующих параметров, упомянутых выше, для оценки этих расходов.

20. Для усовершенствования функций национальных расходов необходимо обеспечить, чтобы они должным образом отражали положение в конкретной стране. Поэтому в рамках многоуровневого подхода определение приоритетности вариантов для конкретной страны по различным секторам следует сочетать с анализом на уровне конкретной деятельности применительно к данной стране. И наконец, функция национальных расходов должна явиться результатом рассмотрения оптимальных способов приспособления системы производства со временем к различным требованиям сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ . Это включает не только принятие мер по сокращению выбросов в конце производственного цикла, но и структурные преобразования секторов.

#### **Д. Побочные последствия**

21. Следует учитывать побочные последствия внедрения вариантов/методов сокращения выбросов. Особое внимание следует уделять тому, как сказываются меры по сокращению выбросов  $\text{NO}_x$  на решение смежных проблем загрязнения атмосферы, например проблем сокращения выбросов аммиака, образующихся на некоторых объектах, где принимаются меры по сокращению выбросов  $\text{NO}_x$ . Кроме того, следует учитывать аспекты воздействия на различные среды с точки зрения возникновения или увеличения загрязнения водных ресурсов и образования отходов, что может явиться результатом применения тех или иных вариантов/методов сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ . В то же время эти побочные последствия можно, как правило, ограничить посредством правильного проектирования и эксплуатации объектов. В частности, побочными последствиями, которые следует учитывать в связи с различными методами сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ , являются:

а) модификация зоны горения: возможными побочными последствиями являются сокращение общей энергоэффективности, более активное образование СО и выбросов



углеводородов, коррозия под влиянием восстановительных процессов, увеличение содержания несгоревшего углерода в зольной пыли;

б) сжигание в псевдоожиженном слое: этот метод позволяет также значительно сократить выбросы  $SO_x$ . Одним из возможных недостатков систем сжигания в псевдоожиженном слое может быть более активное образование  $N_2O$  при определенных технологических условиях. Следует также подумать о том, что делать с образующейся золой в плане ее возможного использования и/или удаления;

с) избирательное каталитическое восстановление: некоторыми возможными побочными последствиями являются появление аммиака в отходящих газах, повышение содержания аммиака в зольной пыли, образование аммиачных солей на заключительных этапах технологического процесса, деактивация катализатора и более активное преобразование  $SO_2$  в  $SO_3$  (коррозия). Однако посредством регулирования работы установки можно обеспечить нужное качество зольной пыли и снизить уровень образования аммиачных солей. Что касается побочных продуктов, то единственным соответствующим продуктом может быть деактивированный катализатор, образующийся в результате процесса ИКВ, хотя это можно считать незначительной проблемой, поскольку срок службы катализатора увеличивается и существуют возможности его переработки;

д) избирательное некаталитическое восстановление: побочными последствиями, которые следует учитывать, являются присутствие аммиака в отходящем газе, образование аммиачных солей на завершающих этапах технологического процесса, формирование  $N_2O$  при использовании, например, мочевины в качестве компонента восстановительной смеси и высвобождение  $CO$ ;

е) производство таких реагентов, как аммиак и мочевина, для процессов очистки топочных газов предполагает принятие ряда отдельных мер, которые требуют затрат энергии и реактивов. Система хранения аммиака требует соблюдения соответствующих правил техники безопасности; они проектируются как полностью замкнутые системы, допускающие минимальное высвобождение паров аммиака. Считается также допустимым использование  $NH_3$ , даже с учетом косвенных выбросов, образующихся в ходе производства и транспортировки этого соединения.

### III. СЕКТОРАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

#### A. Установки, основанные на сжигании топлива

22. В настоящем разделе рассматриваются котлоагрегаты (небольшие: 1–10  $МВт_т$ , средние: 10–50  $МВт_т$  и крупные: >50  $МВт_т$ ), газовые турбины (>1  $МВт_{эл}$ ) и стационарные двигатели (>100  $МВт_{эл}$ ). Под приведенными классами мощности подразумевается номинальная тепловая мощность, основанная на низшей теплоте сгорания (НТС) соответствующего топлива.

23. Новые концепции технологий сжигания топлива с более высоким тепловым КПД и более низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$  включают турбины с камерой сгорания, сжигание топлива в псевдоожиженном слое при атмосферном давлении и под давлением, комплексный процесс газификации угля и выработки энергии по комбинированному циклу, газовые турбины комбинированного цикла, совместное производство тепла и электроэнергии и котлоагрегаты сверхкритического давления:

а) Стационарные турбины с камерой сгорания могут быть также включены в конструкцию существующих обычных электростанций (так называемый газопаротурбинный цикл). Общий КПД можно повысить на 5–6%, но достижимый уровень сокращения  $\text{NO}_x$  будет зависеть от конкретных условий на объекте. Может потребоваться серьезная модификация существующих котлоагрегатов;

б) Сжигание в псевдоожиженном слое представляет собой технологию сжигания каменного угля и лигнита, а также таких низкосортных топлив, как горючие отходы, торф и древесина. Дополнительное сокращение выбросов можно обеспечить за счет комплексного регулирования зоны горения в системе. В секторе преобразования энергии сжигание в псевдоожиженном слое при атмосферном давлении представляет собой хорошо отработанную технологию, применяющуюся в коммерческом масштабе. Топочные устройства для сжигания в циркулирующем псевдоожиженном слое являются более распространенными, чем устройства с кипящим псевдоожиженным слоем. В настоящее время в мире применяется более 200 систем сжигания в циркулирующем псевдоожиженном слое с общей тепловой мощностью порядка 26 000 МВт<sub>т</sub> и 15 систем сжигания в псевдоожиженном слое под давлением (с мощностью порядка 5 000 МВт<sub>т</sub>);

в) Комплексный процесс газификации угля и комбинированного производства энергии предполагает использование в газовых и паровых турбинах газификации угля и комбинированную выработку электроэнергии и тепла. Газифицированный уголь сжигается в камере сгорания газовой турбины. Имеется также технология для сжигания тяжелых фракций нефти. Установленная мощность в настоящее время составляет порядка 1 000 МВт<sub>т</sub> (пять станций). Однако этот процесс еще не доведен до уровня, который в полной мере обеспечивал бы ему коммерческий сбыт;

г) В настоящее время сооружаются газовые электростанции комбинированного цикла, оснащенные современными газовыми турбинами с общим энергетическим КПД, превышающим 55%, и низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$ ;

е) Комбинированная выработка электроэнергии и тепла на так называемых теплоэлектроцентралях представляет собой одну из возможностей экономии топлива (энергопотребление сокращается на 50% по сравнению с отдельным производством электроэнергии и тепла). Хотя электрический КПД снижается вследствие отбора пара, общий КПД на теплоэлектроцентралях составляет порядка 70–90%;

f) Еще одной мерой для повышения кпд обычных электростанций является использование котлоагрегатов, работающих в сверхкритическом режиме. Энергетический кпд всей системы может достигать 43% для установок, работающих на каменном угле, 41% для установок, работающих на лигните, и 56% для установок комбинированного цикла, работающих на газе.

24. В таблице 4 приведены набор применимых методов сокращения выбросов и соответствующие показатели концентраций чистого газа, которые могут быть достигнуты на типичных источниках выбросов.

**Таблица 4.** Источники выбросов NO<sub>x</sub> и отдельные меры по их сокращению с указанием соответствующих концентраций чистого газа для установок, работающих на основе сжигания топлива

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа (мг/Нм <sup>3</sup> )
<b>Небольшие котлы 1-10 МВт<sub>т</sub>, средние котлы 10-50 МВт<sub>т</sub></b>		
Котел с сухим днищем; топливо: каменный уголь (>10 МВт <sub>т</sub> )	Первичные меры (ПМ)	400-600
Котел; топливо: легкое дизельное топливо	ПМ	150-300
Котел; топливо: тяжелое дизельное топливо	ПМ	300-600
Котел; топливо: природный газ	ПМ	50-150
Сжигание в циркулирующем псевдоожиженном слое; топливо: уголь, торф, биомасса и т.д.	никаких дополнительных мер	150-300
Сжигание в кипящем псевдоожиженном слое; топливо: уголь, кора, нефть, осадки, и т.д.	никаких дополнительных мер	200-400
Промышленный котел; топливо: технологический газ	ПМ	100-300
<b>Крупные котлы &gt;50 МВт<sub>т</sub></b>		
Котел с сухим днищем Топливо: каменный уголь	ПМ	300-600
	ПМ и ИКВ (многие виды котлов)	80-150
	ПМ и ИКВ (многие виды котлов)	
Котел Топливо: тяжелое дизельное топливо	ПМ (без дожига)	250-500
	ПМ (включая дожиг)	≤200
	ПМ и ИКВ	60-150
Котел; топливо: природный газ	ПМ	50-200
Котел с влажным днищем	ПМ и ИКВ (остаточный газ)	≤150

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа (мг/Нм³)
Топливо: каменный уголь	ПМ и ИНКВ	≤200
Сжигание в псевдоожиженном слое под давлением	никаких дополнительных мер	150-200
Топливо: каменный уголь	ИКВ и/или НИКВ	≤100
Сжигание в циркулирующем псевдоожиженном слое	никаких дополнительных мер	150-300
Топливо: уголь, торф, биомасса и т.д.	ИНКВ	100-200
Сжигание в кипящем псевдоожиженном слое; топливо: уголь, кора, нефть, осадки, и т.д.	никаких дополнительных мер	200-400
	ИНКВ	130-200
Промышленные котлоагрегаты	ПМ	100-300
Топливо: технологический газ	ПМ и ИКВ	100-200
<b>Газовые турбины</b>		
<b>Простой цикл, комбинированный цикл, совместная выработка тепла и электроэнергии (до дополнительного сжигания), механический привод</b>		
Топливо: природный газ	ПМ	50-150 [400]*
	ИКВ	10-50
Топливо: дизельное топливо или технологический газ	Влажное регулирование	100-200
	ИКВ	20-100
<b>Комплексный цикл газификации угля и комбинированного производства энергии</b>		
Топливо: уголь или тяжелое дизельное топливо	Введение азота и пара	50-100
<b>Стационарные двигатели</b>		
<b>Четырехтактные двигатели с искровым зажиганием (карбюраторные двигатели)</b>		
Сжигание традиционной богатой смеси	НИКВ (трехкомпонентный каталитический нейтрализатор)	350
Сжигание улучшенной объединенной смеси	никаких дополнительных мер	300-550
	ИКВ	100
<b>Двигатели с воспламенением от сжатия (дизельные двигатели)</b>		
Топливо: тяжелое дизельное топливо	ИКВ	[200; 400-1000]
Топливо: дизельное топливо	ИКВ	360-500
	Рециркуляция отходящего газа и ИКВ	180-240

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа (мг/Нм <sup>3</sup> )
<p><b>Котлоагрегаты:</b> твердое топливо: избыток O<sub>2</sub> - 6%; жидкое топливо: избыток O<sub>2</sub> -3%; газообразное топливо: избыток O<sub>2</sub> - 3%,</p> <p><b>Газовые турбины:</b> избыток O<sub>2</sub> - 15%; <b>Стационарные двигатели:</b> избыток O<sub>2</sub> - 5%.</p> <p>Эти значения применяются к различным концентрациям входящего газа и действительны при работе рассматриваемых установок на базовых нагрузках.</p> <p>ПМ: первичные меры                      НИКВ:                      неизбирательное каталитическое восстановление (трехкомпонентный каталитический нейтрализатор)</p>		

\* Для простого цикла

## В. Нефтеперерабатывающие заводы

25. В настоящем разделе рассматриваются процессы сжигания топлива на нефтеперерабатывающих заводах, где отсутствует непосредственный контакт между топочными газами и продуктами. Наиболее важными источниками выбросов NO<sub>x</sub> на нефтеперегонных установках являются технологические нагреватели для подогрева сырой нефти и нефтепродуктов.

26. Значительную часть топлива, используемого в технологических нагревателях, составляет нефтезаводской газ. Нефтезаводской газ состоит из целого ряда компонентов, образующихся в ходе различных процессов, что объясняет различный уровень выбросов NO<sub>x</sub>. В качестве топлива на нефтеперерабатывающих заводах используется также природный газ, нефтяной кокс, тяжелое дизельное топливо и другие отходы, образующиеся в результате перегонки нефти при атмосферном давлении и вакуумной перегонки, каталитического крекинга жидкой фазы и термического каталитического крекинга. В таблице 5 приведены набор применимых методов сокращения выбросов и соответствующие показатели концентраций чистого газа, которые могут быть достигнуты на типичных источниках выбросов.

**Таблица 5.** Источники выбросов NO<sub>x</sub> и отдельные меры по их сокращению с указанием соответствующих концентраций чистого газа для нефтеперегонных установок

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа (мг/Нм <sup>3</sup> )
Технологический нагреватель; топливо: нефтяной кокс	Первичные меры (ПМ)	≤200
Технологический нагреватель; топливо: тяжелое дизельное топливо	ПМ	250–600
Технологический нагреватель; топливо: природный газ	ПМ	50–200
Технологический нагреватель; топливо: технологический газ	ПМ	100–300
Каталитический крекинг жидкой фазы	ИКВ	100–200
Твердое топливо: избыток O <sub>2</sub> – 6%; жидкое топливо: избыток O <sub>2</sub> – 3%; газообразное топливо: избыток O <sub>2</sub> – 3%.		
Эти значения применяются к различным концентрациям входящего газа.		

### С. Коксовые печи

27. В настоящем разделе рассматриваются выбросы, образующиеся из коксовых печей при производстве чугуна и стали. В таблице 6 приведены набор применимых методов сокращения выбросов и соответствующие показатели концентраций чистого газа, которые могут быть достигнуты на типичных источниках выбросов.

**Таблица 6.** Источники выбросов  $\text{NO}_x$  и отдельные меры по их сокращению с указанием соответствующих концентраций чистого газа для коксовых печей при производстве чугуна и стали

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа ( $\text{мг/Нм}^3$ )
Топливо: коксовый газ	Модификация зоны горения* и ИКВ	$\leq 60$
Топливо: доменный газ	ИКВ	$\leq 10$
Газообразное топливо: избыток $\text{O}_2$ – 3%.		
Эти значения применяются к различным концентрациям входящего газа.		
* Рециркуляция отходящих газов, подготовка воздуха, подаваемого в зону горения, снижение температуры коксования.		

#### **Д. Производство и обработка металлов**

28. В настоящем разделе рассматриваются выбросы из агломерационных фабрик, доменных печей и нагревательных печей в черной металлургии. До настоящего времени не применялось никаких методов сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  из доменных печей. В настоящее время разрабатываются методы прямого восстановления и непосредственной плавки, которые могут уменьшить в будущем потребность в агломерационных фабриках и доменных печах. Применение этих технологий зависит от характеристик руды и требует обработки полученной продукции в электродуговой печи. В таблице 7 приведены набор применимых методов сокращения выбросов и соответствующие показатели концентраций чистого газа, которые могут быть достигнуты на типичных источниках выбросов.

**Таблица 7.** Источники выбросов NO<sub>x</sub> и отдельные меры по их сокращению с указанием соответствующих концентраций чистого газа для агломерационных фабрик и нагревательных печей в черной металлургии

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа (мг/Нм <sup>3</sup> )
<b>Агломерационные фабрики</b>		
Движущаяся колосниковая решетка; топливо: кокосовая мелочь	Рециркуляция топочного газа и ИКВ	≤230
<b>Нагревательные печи</b>		
Топливо: доменный газ	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	≤390
Топливо: коксовый газ, тяжелое дизельное топливо	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	≤1 100
Топливо: природный газ, газойль	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	≤250
Твердое топливо: избыток O <sub>2</sub> – 6%; жидкое топливо: избыток O <sub>2</sub> – 3%; газообразное топливо: избыток O <sub>2</sub> – 3%.		
Эти значения применяются к различным концентрациям входящего газа.		

#### **Е. Производство цемента**

29. В цементных печах используются ископаемые, а также такие вторичные виды топлива, как, например, отработанное масло или старые автомобильные шины. При производстве клинкера используется несколько типов печей, которые характеризуются различными уровнями выбросов NO<sub>x</sub>: длинная влажная роторная печь, длинная сухая роторная печь, сухая роторная печь с циклонным/решетчатым подогревателем, сухая роторная печь с циклонным/решетчатым подогревателем и камерой предварительного отжига, шахтная печь. С точки зрения потребления энергии и возможностей ограничения выбросов предпочтительными являются сухие роторные печи с циклонным/решетчатым подогревателем и камерой предварительного отжига. В Европе используется главным образом сухой процесс, особенно на новых заводах. В современных печах с сухим процессом для повышения, в частности, теплового КПД и производительности используется технология предварительного отжига.



30. В таблице 8 приводятся набор применимых методов сокращения выбросов и соответствующие показатели концентраций чистого газа, которые могут быть достигнуты на типичных источниках выбросов. В последние годы на нескольких показательных установках в экспериментальных масштабах применялся процесс избирательного каталитического восстановления. Процесс ИКВ пока еще не является распространенной технологией на предприятиях по производству цемента. Однако с учетом положительного опыта, накопленного в последнее время, он может стать применимым вариантом ограничения выбросов в ближайшем будущем.

**Таблица 8.** Источники выбросов  $\text{NO}_x$  и отдельные меры по их ограничению с указанием соответствующих показателей эффективности сокращения и концентраций чистого газа при производстве цемента

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа ( $\text{мг/Нм}^3$ )
<b>Сухой процесс с подогревателем/камерой предварительного обжига</b>		
Топливо: уголь	Горелка с низким уровнем выбросов $\text{NO}_x$ и поэтапный процесс горения для печи с камерой предварительного обжига	$\leq 1\,000$
	Горелка с низким уровнем выбросов $\text{NO}_x$ и ИНКВ	200 - 800
	Горелка с низким уровнем выбросов $\text{NO}_x$ и ИНКВ	100-200
Твердое топливо: избыток $\text{O}_2$ - 10%.		
Эти значения применяются к различным концентрациям входящего газа.		

## **Г. Производство стекла**

31. В настоящем разделе рассматривается производство листового и тарного стекла, стекловолокна, технического стекла (экраны телевизоров, осветительные приборы) и посуды. При производстве стекла на уровень выбросов  $\text{NO}_x$  значительное влияние оказывают следующие несколько факторов: вид используемого топлива (природный газ, тяжелое дизельное топливо), тип печи (печи с поперечным направлением пламени и подковообразным пламенем; подогреватели с регенерацией тепла и рекуперацией воздуха) и тип производимого стекла (оптическое стекло, прозрачное стекло, окрашенное стекло).

32. В таблице 9 приводятся набор применимых вариантов сокращения выбросов и соответствующие показатели концентраций чистого газа, которые могут быть достигнуты на типичных источниках выбросов. В последние годы появились некоторые перспективные технологии сокращения выбросов: дожиг и сжигание в кислородной среде. При использовании системы сжигания в кислородной среде следует уделять особое внимание энергетическому КПД, чтобы не допустить снижения потенциала для сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ .

**Таблица 9.** Источники выбросов NO<sub>x</sub> и отдельные меры по их ограничению с указанием соответствующих показателей эффективности сокращения и концентраций чистого газа при производстве стекла

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа (мг/Нм <sup>3</sup> )
<b>Листовое стекло</b>		
<b>Прозрачное стекло</b>		
Печь с поперечным направлением пламени и регенеративным прогревом; топливо: природный газ	Модификация зоны горения а/, горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИКВ	≤500
Печь с поперечным направлением пламени и регенеративным подогревом; топливо: природный газ или тяжелое дизельное топливо	Дожиг	≤500
Печь с поперечным направлением пламени и регенеративным прогревом; топливо: тяжелое дизельное топливо	Модификация зоны горения (первичные меры)	≤600
<b>Окрашенное стекло</b>		
Печь с поперечным направлением пламени и регенеративным подогревом; топливо: природный газ	Модификация зоны горения а/, горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИКВ	≤700
Печь с поперечным направлением пламени и регенеративным подогревом; топливо: природный газ или тяжелое дизельное топливо	Дожиг	≤500
<b>Тарное стекло</b>		
Печь с регенеративным подогревом; топливо: природный газ	Горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИКВ	≤350
	Модификация зоны горения а/ и горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИКВ	≤600
	Сжигание в кислородной среде <u>б/</u>	≤400
	Дожиг	≤500
Печь с регенеративным подогревом; топливо: тяжелое дизельное топливо	Модификация зоны горения а/ и горелка с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и ИКВ	≤450
	Сжигание в кислородной среде <u>б/</u>	≤300
	Дожиг	≤500
Печь с регенеративным подогревом; топливо: природный газ	Модификация зоны горения (первичные меры)	≤350
<b>Стекловолокно</b>		
Печь с рекуперативным подогревом; топливо: природный газ	Сжигание в кислородной среде <u>б/</u>	≤300
Печь с регенеративным подогревом; топливо: тяжелое дизельное топливо	Сжигание в кислородной среде <u>б/</u>	≤250
<b>Специальные виды стекла</b>		

Техническое стекло		
Печь с рекуперативным подогревом; топливо: природный газ	Модификация зоны горения <u>a/</u> и горелка с низким уровнем выбросов $\text{NO}_x$ и ИНКВ	$\leq 600$
	Сжигание в кислородной среде <u>b/</u>	$\leq 400$
Печь с рекуперативным подогревом; топливо: тяжелое дизельное топливо	Модификация зоны горения <u>a/</u> и горелка с низким уровнем выбросов $\text{NO}_x$ и ИНКВ	$\leq 450$
	Сжигание в кислородной среде <u>b/</u>	$\leq 300$
<p>Твердое, жидкое и газообразное топливо: избыток <math>\text{O}_2</math> - 8%.</p> <p>Эти значения применяются к различным концентрациям входящего газа.</p> <p><u>a/</u> Например, малая подача воздуха, предварительный подогрев воздуха, подаваемого в ограниченном количестве, поэтапное сжигание.</p> <p><u>b/</u> Относится к общему весу <math>\text{NO}_x</math> в выбросах для сравнения.</p>		

### Г. Производство азотной кислоты

33. При производстве азотной кислоты используются два технологических метода: первый предусматривает производство азотной кислоты средней концентрации (50–75% по весу), а второй – высокой крепости (98% по весу) посредством непосредственного осуществления технологического процесса или же путем экстрактивной дистилляции (на основе использования азотной кислоты средней концентрации). Наиболее важное значение с точки зрения выбросов  $\text{NO}_x$  имеет производство азотной кислоты средней концентрации. Традиционно установки по производству азотной кислоты средней концентрации рассчитаны на процессы, протекающие при низком, среднем или высоком давлении. Современные новые установки выпускаются в качестве установок среднего давления, предусматривающих избирательное каталитическое восстановление, и установок высокого давления.

34. В таблице 10 приводятся соответствующие показатели концентрации чистого воздуха, которые могут быть достигнуты на типичных источниках выбросов путем избирательного каталитического восстановления.

**Таблица 10.** Источники выбросов NO<sub>x</sub> и отдельные меры по их сокращению с указанием соответствующих концентраций чистого газа при производстве азотной кислоты

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа (мг/Нм <sup>3</sup> )
<b>Производство азотной кислоты средней концентрации</b>		
Средний перепад давления	ИКВ	≤400
Высокий перепад давления	ИКВ	≤100
<b>Производство азотной кислоты средней и высокой концентрации (процесс экстрактивной дистилляции)</b>		
Средний перепад давления	ИКВ	≤240
<b>Производство азотной кислоты высокой концентрации</b>		
Прямой процесс или экстрактивная дистилляция	ИКВ	≤180
Указываемые концентрации относятся только к этапу производства (а не к этапу концентрирования) при содержании O <sub>2</sub> в размере 3%		

#### **Н. Сжигание отходов**

35. В настоящем разделе рассматриваются аспекты сжигания муниципальных (или бытовых), опасных и медицинских отходов, а также сжигания осадков, образующихся в результате очистки сточных вод. При использовании различных технологий сжигания образуются разные уровни выбросов NO<sub>x</sub> (например, передвижные печи, печи с вращающейся колосниковой решеткой, печи с сжиганием в псевдоожиженном слое, электрические печи, работающие в инфракрасном диапазоне).

36. Сокращение выбросов NO<sub>x</sub> можно, как правило, обеспечить за счет уменьшения количества сжигаемых отходов. Это достигается благодаря применению различных стратегий переработки и удаления отходов, включая программы рециркуляции и компостирования органических материалов.

37. Наиболее важными технологиями для сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  являются рециркуляция топочных газов, подготовка воздуха, подаваемого в зону горения, ИКВ и ИНКВ. В таблице 11 приводятся набор применимых вариантов сокращения выбросов и соответствующие показатели концентраций чистого газа, которые могут быть достигнуты на типичных источниках выбросов.

**Таблица 11.** Источники выбросов  $\text{NO}_x$  и отдельные меры по их сокращению с указанием соответствующих концентраций чистого газа при сжигании отходов

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа ( $\text{мг/Нм}^3$ )
<b>Сжигание бытовых или муниципальных отходов</b>		
	Первичные меры (подготовка воздуха)	$\leq 250$
Передвижная печь, печь с вращающейся колосниковой решеткой	Рециркуляция топочных газов или предварительная подготовка воздуха, подаваемого в зону горения, и ИНКВ	$\leq 140$
	Рециркуляция топочных газов или предварительная подготовка воздуха, подаваемого в зону горения, и ИКВ	$\leq 70$
Сжигание в псевдоожиженном слое	Рециркуляция топочных газов или предварительная подготовка воздуха, подаваемого в зону горения, и ИНКВ	$\leq 80$
	Рециркуляция топочных газов или предварительная подготовка воздуха, подаваемого в зону горения, и ИКВ	$\leq 40$
<b>Сжигание промышленных отходов</b>		
Колосниковая печь, печь с вращающейся колосниковой решеткой, сжигание в псевдоожиженном слое	Рециркуляция топочных газов или предварительная подготовка воздуха, подаваемого в зону горения, и ИНКВ	$\leq 140$
	Рециркуляция топочных газов или предварительная подготовка воздуха, подаваемого в зону горения, и ИКВ	$\leq 70$
<b>Сжигание осадков, образующихся после очистки сточных вод</b>		
Печь с вращающейся колосниковой решеткой, сжигание в псевдоожиженном слое, многоподовая печь	Рециркуляция топочных газов или предварительная подготовка воздуха, подаваемого в зону горения, и ИНКВ	
	Рециркуляция топочных газов или предварительная подготовка воздуха, подаваемого в зону горения, и ИКВ	
Все виды топлива: избыток $\text{O}_2$ - 11%. Это значение применяется к различным концентрациям входящего газа.		

Примечания

1/ Восстановление и рециркуляцию следует понимать в широком смысле, включая утилизацию вне объекта.

2/ Только для модернизированных установок.

3/ Для турбин с камерой сгорания.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ НИДЕРЛАНДОВ

### Таблица 6:

В данном случае следует также учитывать первичные меры.

### Таблица 7:

Значения, указываемые для агломерационных фабрик, не предусматривают необходимости использования ИКВ.

### Таблица 8:

**Таблица 8.** Источники выбросов  $\text{NO}_x$  и отдельные меры по их ограничению с указанием соответствующих показателей эффективности сокращения и концентрации чистого газа при производстве цемента.

Источник выбросов	Комбинация мер по ограничению выбросов	Концентрация чистого газа ( $\text{мг}/\text{Nm}^3$ )
<b>Сухой процесс с подогревателем/камерой предварительного обжига</b>		
Топливо: уголь	Горелка с низким уровнем выбросов $\text{NO}_x$	600 - 1 000
		400 - 600
	Горелка с низким уровнем выбросов $\text{NO}_x$ и ИНКВ	300 - 500
	Горелка с низким уровнем выбросов $\text{O}_x$ и ИКВ	100 - 200
Твердое топливо: избыток $\text{O}_2$ - 10%.		
Эти значения применяются к различным концентрациям входящего газа.		

-----