

Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния

45<sup>я</sup> сессия Рабочей группы по стратегиям и обзору - с 31 августа 2009 г. по 4 сентября 2009 г.

Техническое приложение подготовлено Экспертной группой по технико-экономическим вопросам (ЭГТЭВ)

*Translation is performed within the joint EGTEI-EECCA Coordinating Group cooperation effort  
Funding provided by Switzerland*

*Перевод осуществлён в рамках сотрудничества между ЭГТЭВ и Координационной группой ВЕКЦА  
Финансирование предоставлено Швейцарией*

**Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NO<sub>x</sub>,  
летучих органических соединений, пыли из стационарных источников**

## Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Общие вопросы по выбросам 4 загрязнителей</b>	<b>10</b>
2.1	<i>Мониторинг и составление отчетов</i>	10
2.2	<i>Регулирование потребления энергии, энергосбережение, структура энергопотребления</i>	10
<b>3</b>	<b>Общие вопросы, связанные с выбросами серы</b>	<b>11</b>
3.1	<i>Общие вопросы</i>	11
3.2	<i>Содержание серы в топливе</i>	11
3.3	<i>Переход на другие виды топлива</i>	12
3.4	<i>Очистка топлива</i>	12
3.5	<i>Технологии сжигания</i>	12
3.6	<i>Вторичные меры - Процессы десульфуризации дымового газа</i>	13
3.7	<i>Затраты на реализацию технологий уменьшения выбросов SO<sub>2</sub></i>	14
3.8	<i>Побочные продукты и воздействия</i>	14
3.9	<i>Список литературы, использованной в главе 3</i>	15
<b>4</b>	<b>Общие вопросы, связанные с выбросами NOx</b>	<b>15</b>
4.1	<i>Общие вопросы</i>	15
4.2	<i>Переход на другие виды топлива</i>	16
4.3	<i>Очистка топлива</i>	16
4.4	<i>Первичные меры</i>	16
4.5	<i>Вторичные меры</i>	18
4.6	<i>Затраты на реализацию технологий уменьшения выбросов NOx</i>	20
4.7	<i>Побочные воздействия</i>	20
4.8	<i>Список литературы, использованной в главе 4</i>	21
<b>5</b>	<b>Общие вопросы, связанные с выбросами летучих органических соединений</b>	<b>22</b>
5.1	<i>Общие вопросы</i>	22
5.2	<i>Знания о выбросах и план обращения с растворителями</i>	23
5.3	<i>Общий подход к уменьшению выбросов летучих органических соединений</i>	24
5.3.1	<i>Первичные меры</i>	25
5.3.2	<i>Вторичные меры</i>	25
5.4	<i>Затраты</i>	28
5.5	<i>Побочные воздействия</i>	29
5.6	<i>Список литературы, использованной в главе 5</i>	29
<b>6</b>	<b>Общие вопросы, связанные с выбросами пыли</b>	<b>30</b>
6.1	<i>Общие вопросы, связанные с выбросами пыли</i>	30
6.2	<i>Переход на другие виды топлива</i>	33
6.3	<i>Очистка топлива</i>	33

6.4	<i>Первичные меры</i>	33
6.5	<i>Вторичные меры</i>	34
6.6	<i>Затраты на реализацию технологий уменьшения выбросов пыли</i>	38
6.7	<i>Побочные воздействия</i>	38
6.8	<i>Список литературы, использованной в главе 6</i>	39
<b>7</b>	<b>Имеющиеся технологии для различных вариантов деятельности</b>	<b>40</b>
7.1	<i>Установки сжигания мощностью &lt; 1 МВт в комплекте с установкой бытового сжигания</i>	41
7.2	<i>Установки сжигания от 1 до 50 МВт</i>	47
7.3	<i>Установки сжигания &gt; 50 МВт</i>	51
7.4	<i>Установки переработки минерального масла и газа, выбросы SO<sub>2</sub>, NOx и пыли</i>	65
7.5	<i>Установки переработки минерального топлива и газа, выбросы летучих органических соединений</i>	71
7.6	<i>Коксовые печи</i>	75
7.7	<i>Чугуно- и сталелитейное производство</i>	79
7.8	<i>Обработка черных металлов, включая чугунолитейные заводы</i>	87
7.9	<i>Промышленность переработки цветных металлов</i>	95
7.10	<i>Производство цемента</i>	105
7.11	<i>Производство извести</i>	111
7.12	<i>Производство стекла</i>	115
7.13	<i>Производство искусственного волокна</i>	127
7.14	<i>Промышленность по производству керамики</i>	133
7.15	<i>Производство целлюлозы</i>	143
7.16	<i>Производство азотной кислоты</i>	149
7.17	<i>Производство серной кислоты</i>	151
7.18	<i>Сжигание коммунальных, медицинских и опасных отходов</i>	155
7.19	<i>Промышленная деревообработка</i>	161
7.20	<i>Морские операции (нефть)</i>	165
7.21	<i>Распределение бензина - от станций отправки установки переработки минерального масла (бензин) до заправочных станций, включая транспортировку и хранилища (бензин)</i>	167
7.22	<i>Хранение и переработка органических веществ (за исключением бензина, что рассмотрено в главах 7.5 и 7.21)</i>	173
7.23	<i>Производство органических химикатов (исключая производство чистых химикатов)</i>	177
7.24	<i>Производство органических чистых химикатов</i>	181
7.25	<i>Адгезивное покрытие (включая производство обуви) Покрытия общего назначения, обувная промышленность, ламинация</i>	185
7.26	<i>Процессы нанесения покрытия 1: Производство автомобилей, производство кабин для грузовиков, грузовиков, производство автобусов и трейлеров</i>	187
7.27	<i>Процессы нанесения покрытия 2: Нанесение покрытия на обмоточные провода</i>	191
7.28	<i>Процессы нанесения покрытия 3: Рулонное покрытие</i>	193
7.29	<i>Другие процессы нанесения покрытия 4 Другое промышленное покрытие</i>	195
7.30	<i>Содержание растворителя в продукции 1: Бытовые и архитектурные краски</i>	199
7.31	<i>Изготовление покрытий, лаков, красителей и клеящих веществ</i>	201
7.32	<i>Процессы печати</i>	203
7.33	<i>Обработка резины</i>	209
7.34	<i>Химическая чистка</i>	211
7.35	<i>Обезжиривание металла</i>	215
7.36	<i>Экстракция растительного и животного жира и очистка растительного масла</i>	221
7.37	<i>Повторная окраска транспортных средств</i>	225

<i>7.38 Пропитка древесины</i>	<i>227</i>
<i>7.39 Содержание растворителя в продукции 2: Бытовое использование растворителя (кроме красок)</i>	<i>229</i>
<i>7.40 Производство пива</i>	<i>231</i>
<i>7.41 Производство диоксида титана</i>	<i>235</i>
<i>7.42 Новые стационарные двигатели</i>	<i>239</i>

## 1 Введение

Целью настоящего документа является предоставление сторонам согласно Конвенции указаний по определению наилучших вариантов уменьшения выбросов с особым учетом наилучших доступных технологий (НДТ) с тем, чтобы обеспечить выполнение обязательств Протокола по борьбе с подкислением, эвтрофикацией, приземным озоном и твердыми частицами (ТЧ10 и ТЧ2.5).

В данном руководящем документе рассмотрено следующее:

- Варианты регулирования выбросов NO<sub>x</sub>, определяемых как комбинация оксида азота (NO) и диоксида азота (NO<sub>2</sub>), выражаемая в виде NO<sub>2</sub>
- Варианты регулирования выбросов оксидов серы, определяемых как комбинация диоксида серы (SO<sub>2</sub>) и триоксида серы (SO<sub>3</sub>), выражаемая в виде SO<sub>2</sub>
- Варианты регулирования выбросов летучих органических соединений, в качестве которых рассматриваются все органические соединения антропогенной природы, за исключением метана, которые могут производить фотооксиданты при реакции с оксидами азота под воздействием солнечного излучения.
- Варианты регулирования ТЧ10 и ТЧ2.5, определяемые следующим образом:
  - ТЧ2.5: масса твердых частиц, измеряемая после их прохождения через входной канал с выбранным размером с 50% снижением эффективности при аэродинамическом диаметре 2,5 мкм;
  - ТЧ10: масса твердых частиц, измеряемая после их прохождения через входной канал с выбранным размером с 50% снижением эффективности при аэродинамическом диаметре 10 мкм;
  - ОВЧ (общие взвешенные частицы): масса частиц любой формы, структуры или плотности, рассеянных в газовой фазе у точки отбора проб, сбор которых осуществляется при фильтрации в указанных условиях после представительной выборки газа для анализа, и которые оседают до фильтра и на фильтре после высыхания в указанных условиях.

В контексте данного Протокола пыль и ОВЧ имеют одинаковое значение. Согласно главе 6 технологии уменьшения выбросов пыли, в общем случае, обеспечивают высокую эффективность улавливания ТЧ2.5 и ТЧ10.

Поскольку данные по мониторингу конкретных фракций твердых частиц, таких как ТЧ2.5 и ТЧ10, в основном, отсутствуют, уровни выбросов определяются для пыли.

Выражение "наилучшие доступные технологии" означает наиболее эффективную и передовую стадию развития деятельности и методов ее реализации, которая выявляет практическую пригодность конкретных технологий для предотвращения предельной величины выбросов и создания других расчетных разрешенных условий предотвращения выбросов, и, если это нецелесообразно, уменьшения выбросов и их воздействия на окружающую среду в целом:

(а) понятие "технологии" включает в себя как используемую технологию, так и проектирование установки, ее конструкцию, техническое обслуживание, эксплуатацию и вывод из эксплуатации,

(b) понятие "доступные" технологии означает те из них, которые разработаны в масштабе, позволяющем реализовать их в соответствующем секторе промышленности, в конкурентных экономических и технических условиях, с учетом издержек и преимуществ, вне зависимости от того, используются ли или производятся ли рассматриваемые технологии в пределах государства-участника, и до тех пор, пока данные технологии доступны для оператора,

(с) понятие "наилучшие" означает наиболее эффективные для достижения высокого общего уровня защиты окружающей среды в целом.

Критерии определения НДТ:

1. Использование малоотходной технологии;
2. Использование менее вредных веществ;
3. Способствование улавливанию и повторному использованию веществ, вырабатываемых и используемых в ходе процесса, а также отходов, в соответствующих случаях;
4. Сравнимые процессы, технические средства или методы эксплуатации, которые были успешно испытаны в индустриальном масштабе;
5. Технологические нововведения и изменения в имеющемся уровне научных знаний и их интерпретации;
6. Природа, воздействие и объем рассматриваемых выбросов;
7. Даты ввода в эксплуатацию новых или существующих установок;
8. Период времени, необходимый для внедрения наилучшей доступной технологии;

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NO<sub>x</sub>, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

9. Расход и тип сырья (включая воду), используемого в рамках технологического процесса, а также энергосбережение;
10. Необходимость в предотвращении или сведении к минимуму общего воздействия выбросов на окружающую среду и экологических рисков;
11. Необходимость в предотвращении несчастных случаев и минимизации их последствий для окружающей среды;
12. Информация, публикуемая национальными и интернациональными организациями.

В настоящем руководящем документе представлены значения выбросов, связанные с использованием НДТ (СЗВ), которые можно описать следующим образом:

- СЗВ НДТ - это уровни, которые оператор может получить при использовании НДТ, и соответствующие контрольные точки для оценки условий, предусмотренных в разрешении,
- СЗВ НДТ представляют собой средние уровни выбросов, которые можно получить в течение значительного периода времени при нормальных условиях эксплуатации и/или проектирования (зарекомендовавшая себя технология),
- СЗВ НДТ не являются предельными уровнями выбросов или потребления.

Основой для СЗВ НДТ являются нормальные условия эксплуатации, они могут варьироваться по мере смены исходного материала или для различных вариантов выходных условий.

НДТ-СЗВ основаны на диапазоне периодов осреднения и представляют собой ситуацию типовой нагрузки. Следовательно, при рассмотрении НДТ-СЗВ в контексте заданных предельных уровней выбросов всегда следует учитывать базовый период, к которому относятся описанные НДТ-СЗВ. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа, необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

Если уровень описан как "достижимый" с использованием конкретной технологии или сочетания технологий, это означает, что данный уровень можно получать в течение значительного периода времени в установке с надлежащим техническим обслуживанием и эксплуатацией или в ходе процесса с применением указанных технологий.

Если не указано иное, перечисленные мероприятия по уменьшению выбросов на основании опыта эксплуатации, наработанного в течение нескольких лет, в большинстве случаев, считаются наиболее надежными и экономически обоснованными наилучшими доступными технологиями. Величину уровней выбросов, сопутствующих использованию НДТ, как правило, выражают, в мг/м<sup>3</sup> (сухой газ, 273,15K и 101,325 кПа, если не указано иное), как среднесуточное значение. При использовании органических растворителей данные значения можно выразить в % от применяемых растворителей (закупленные растворители + повторно используемые растворители). Постоянно расширяющийся опыт реализации мер и технологий по снижению выбросов на новых установках, а также по модернизации установок, приведет к необходимости периодического пересмотра данного документа.

Хотя в настоящем руководящем документе перечислены некоторые меры и технологии с широким диапазоном расходов и эффективности, не следует считать, что он предоставляет исчерпывающее описание всех вариантов регулирования. Более, выбор средств и технологий регулирования для любого конкретного случая зависит от некоторого количества факторов, включая текущие законодательные и нормативно-технические предписания и, в частности, требования к технологиям регулирования, первичные энергетические схемы, промышленную инфраструктуру, экономические обстоятельства и конкретные условия установки.

В данном руководящем документе представлены варианты и технологии, наряду с оценкой их эксплуатационных показателей, для предотвращения и уменьшения выбросов серы, NO<sub>x</sub>, летучих органических соединений, пыли. Тем не менее, уменьшение выбросов конкретного загрязнителя нельзя рассматривать без учета вероятности появления других загрязнителей и/или повышения энергопотребления. Целесообразно рассматривать их совместно с вариантами регулирования выбросов других загрязнителей для максимального увеличения эффекта снижения выбросов и сведения к минимуму воздействия на окружающую среду. Обязательно следует учитывать соответствующие дополнительные эффекты/изменение показателей одних загрязнителей за счет других. Это особенно важно при использовании подхода с несколькими загрязнителями/воздействиями, при котором возможно положительное/отрицательное влияние на уменьшение выбросов газов, создающих парниковый эффект.

В данном руководящем документе представлены варианты и технологии, наряду с оценкой их эксплуатационных показателей, для предотвращения и уменьшения выбросов серы, NO<sub>x</sub>, летучих органических соединений, пыли. Эксплуатационные показатели и затраты

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

документально зафиксированы в ряде документов Экспертной группы по технико-экономическим вопросам (EGTEI), в проекте справочного документа, переданного Целевой группе по тяжелым металлам (TFHM) Европейской экономической комиссии ООН в 2006 г., в справочнике по наилучшим доступным технологиям (СНДТ) комиссии ЕС и других недавних публикациях, отчетах Ассоциации охраны окружающей среды США, а также в ряде признанных на национальном или международном уровне документов.

В данном руководящем документе рассмотрены стационарные источники выбросов серы, NOx, летучих органических соединений и/или пыли, перечисленные в таблице 1. Другие источники не указаны в данном документе, но могут быть существенными для отдельных стран.

**Таблица 1: Стационарные источники выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли, рассмотренные в настоящем руководящем документе**

		SO <sub>2</sub>	NOx	Пыль	Летучие органические соединения
7-1	Установка сжигания < 1МВт с бытовой установкой сжигания	Y	Y	Y	Y
7-2	Установки сжигания от 1 до 50 МВт (а) Котлы (b) Газовые турбины	Y	Y	Y	Y
7-3	Установки сжигания > 50 МВт (а) Котлы (b) Газовые турбины	Y	Y	Y	Y
7-4	Установки переработки минерального масла и газа Установки сжигания и печи (промышленные нагреватели, флюид-каталитический крекинг, каталитический крекинг-процесс "термофор")	Y	Y	Y	
7-5	Установки переработки минерального масла и газа Процессы и источники летучих органических соединений неметанового ряда				Y
7-6	Коксовые печи	Y	Y	Y	Y
7-7	Производство чугуна и стали (чугуно- и сталелитейное производство на металлургических заводах (агломерационные установки, установки пептизации, доменные печи и основные сталеплавильные печи с подачей кислорода, включая непрерывное литье и отливку слитков) и производство стали в электродуговой печи)	Y	Y	Y	Y
7-8	Обработка черных металлов чугунолитейные заводы с производительностью более 20 т/день, а также установки для "горячего и холодного формования", включая горячую прокатку, холодную прокатку, волочение проволоки, установки для "непрерывного нанесения покрытия", включая горячее покрытие и покрытие проводов, а также установки для "комплектной гальванизации"	Y	Y	Y	Y
7-9	Промышленность переработки цветных металлов (первичное и вторичное производство Al, первичное и вторичное производство Pb, первичное и вторичное производство Zn, первичное и вторичное производство Cu)	Y	Y	Y	
7-10	Производство цемента	Y	Y	Y	
7-11	Производство извести	Y	Y	Y	
7-12	Производство стекла	Y	Y	Y	
7-13	Производство искусственного волокна	Y	Y	Y	Y
7-14	Производство керамики	Y	Y	Y	
7-15	Производство целлюлозы	Y	Y	Y	
7-16	Производство азотной кислоты	Y	Y	Y	
7-17	Производство серной кислоты	Y	Y	Y	
7-18	Мусоросжигание (бытовые и промышленные отходы, сжигание осадков обработки сточных вод)	Y	Y	Y	
7-19	Обработка пиломатериалов			Y	
7-20	Морские операции (нефть)				Y
7-21	Распределение бензина - от станций отправки установки переработки минерального масла (бензин) до заправочных станций, включая транспортировку и хранилища (бензин)				Y
7-22	Хранение и переработка органических веществ (за исключением бензина, что рассмотрено в главах 7.5 и 7.21)				Y



**Таблица 1: Стационарные источники выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли, рассмотренные в настоящем руководящем документе**

		SO <sub>2</sub>	NOx	Пыль	Летучие органические соединения
7-23	Производство органических химикатов (исключая производство чистых химикатов)				Y
7-24	Производство органических чистых химикатов				Y
7-25	Адгезивное покрытие (включая производство обуви) Покрытия общего назначения, обувная промышленность, ламинация				Y
7-26	Процессы нанесения покрытия 1 Производство легковых автомобилей Производство кабин для кабин грузовиков, грузовиков Производство автобусов и трейлеров				Y
7-27	Процессы нанесения покрытия 2 Нанесение покрытия на обмоточные провода				Y
7-28	Процессы нанесения покрытия 3 Рулонное покрытие				Y
7-29	Другие процессы нанесения покрытия 4 Другое промышленное покрытие				Y
7-30	Содержание растворителя в продукции 1: Бытовые и архитектурные краски				Y
7-31	Изготовление покрытий, лаков, красителей и клеящих веществ				Y
7-32	Полиграфическое производство (печать на упаковках, офсетная печать с холодным отверждением краски, печать с термоотверждением краски, сектор публикаций, трафаретная печать)				Y
7-33	Переработка каучука				Y
7-34	Химическая чистка				Y
7-35	Обезжиривание металла				Y
7-36	Экстракция растительного и животного жира и очистка растительного масла				Y
7-37	Повторная окраска транспортных средств				Y
7-38	Пропитка древесины				Y
7-39	Содержание растворителя в продукции 2: Бытовое использование растворителя (кроме красок)				Y
7-40	Производство пива				Y
7-41	Производство диоксида титана	Y	Y	Y	
7-42	Новые стационарные газовые и дизельные двигатели		Y		

### Используемые сокращения

В руководящем документе использованы следующие сокращения:

НДТ	наилучшие доступные технологии
СНДТ	справочник по наилучшим доступным технологиям
ПЗВ	предельные значения выбросов
ЭФ	электрофильтр
ТФ	тканевый фильтр
ДДГ	десульфуризация дымового газа
ОВЧ	общие взвешенные частицы
Пыль	обозначает то же, что и ОВЧ
СКВ	селективное каталитическое восстановление
СНКВ	селективное некаталитическое восстановление

Летучие органические соединения В контексте Гетеборгского протокола все органические соединения антропогенной природы, за исключением метана, которые могут производить фотооксиданты при реакции с оксидами азота под воздействием солнечного излучения

## 2 Общие вопросы по выбросам 4 загрязнителей

### 2.1 Мониторинг и составление отчетов

В наличии имеются несколько систем мониторинга, использующие методы непрерывного и дискретного измерения. Тем не менее, требования к качеству в них различаются. Измерения должны проводить компетентные организации с использованием систем измерения и мониторинга, которые соответствуют международным стандартам. Достижение этой цели с наибольшей степенью уверенности может обеспечить система сертификации.

В современных автоматизированных системах мониторинга и оборудования технологического контроля составление отчетов не представляет трудностей. Сбор данных для последующего использования представляет собой современную технологию. Тем не менее, данные, которые необходимо предоставить компетентным организациям, различаются от случая к случаю. Для обеспечения лучшей совместимости необходимо привести в соответствие массивы данных и заданные инструкции. Приведение в соответствие также необходимо для обеспечения качества систем измерения и мониторинга. Это следует учитывать при сравнении данных.

Во избежание расхождений и несоответствий следует четко определить ключевые вопросы и параметры, включая следующие:

- Определение стандартов, выраженных в виде миллионных долей на единицу объема, мг/Нм<sup>3</sup>, г/ГДж, кг/ч или кг/Мг продукции. Большинство из перечисленных единиц измерения необходимо рассчитать и уточнить в зависимости от температуры газа, влажности, давления, содержания кислорода или поступления тепла;
- Определение периода осреднения стандартов, выражаемого в часах, месяцах или годах, а также периода измерения;
- Определение наработки до отказа и соответствующих аварийных инструкций, касающихся обхода систем мониторинга или останова установки;
- Определение методов восстановления данных, потерянных в результате отказа оборудования;
- Определение параметра для измерения. Необходимая информация может изменяться в зависимости от типа производственного процесса. При этом также предусмотрено расположение точки измерений в системе.

Необходимо обеспечить контроль качества измерений.

### 2.2 Регулирование потребления энергии, энергосбережение, структура энергопотребления

Большая часть выбросов серы, NOx и пыли от стационарных установок возникает в результате сгорания топлива для выработки тепла и электроэнергии. Следовательно, уменьшение потребления топлива за счет эффективного и рационального использования энергии

(регулирование потребления энергии) может стать эффективным мероприятием для уменьшения выбросов не только в атмосферу, но и выбросов других загрязнителей и газов, создающих парниковый эффект. Регулирование потребления энергии также может способствовать повышению надежности энергопотребления и снижению потребления природных ресурсов. На уровне стационарных установок, как и на уровне производственных участков, энергопотребление должно увеличивать общее энергосбережение за счет различных мер, которые можно реализовать отдельно или в следующих сочетаниях:

- внедрение системы управления энергосбережением (ENEMS)
- определение плана систем по энергосбережению
- установление контрольных точек
- проектирование энергосбережения (EED)
- интеграция процессов
- опыт и научно-технические знания по энергосбережению
- эффективное управление, техническое обслуживание и мониторинг установок

НДТ предназначены для оптимизации систем сжигания топлива и паровых систем, а также систем сжатого воздуха, насосных, обогрева, охлаждения, вентиляции, освещения и других физических и химических процессов с использованием большого количества технологий. Особое значение имеют также использование вторичного тепла и производство электрической и тепловой энергии, если это целесообразно [см. [1]].

Помимо регулирования потребления энергии, которое в большей степени ориентировано на спрос, подача энергии также оказывает значительное воздействие на выбросы в атмосферу. Помимо перехода на другие виды топлива, при котором один тип топлива (ископаемого) заменяется другим, следует учитывать также изменение структуры энергопотребления, принимая во внимание условия конкретной страны, такие как инфраструктура, энергетическая политика и наличие запасов ископаемого топлива и возобновляемой энергии, например, энергия ветра, солнечная энергия, геотермальная энергия или биомасса. Сжигание большого количества биомассы, в особенности, в печах, может также увеличить выбросы в атмосферу.

Список литературы, использованной в данной главе:

[1] European Commission (2008): Reference Document on Best Available Techniques, Energy Efficiency]

### **3 Общие вопросы, связанные с выбросами серы**

#### **3.1 Общие вопросы**

Для уменьшения выбросов SOx, возникающих при сжигании или в результате других процессов или из других источников, применяют различные типы измерений. Основные применяемые методики: повышение эффективности энергосбережения, переход на другие виды топлива, очистка топлива, первичные и вторичные меры представлены в данной главе.

SO<sub>2</sub> является основным фактором, способствующим подкислению за счет образования в атмосфере сульфатов и серной кислоты. Время нахождения SO<sub>2</sub> в атмосфере зависит от метеорологических условий. Среднее время нахождения составляет от 3 до 5 дней, следовательно, возможен перенос SO<sub>2</sub> на сотни километров.

Для достижения максимально возможного уменьшения выбросов SOx в дополнение к мерам по регулированию потребления энергии следует учитывать возможность применения сочетания различных мероприятий.

#### **3.2 Содержание серы в топливе**

Присутствующая в топливе сера вступает в реакцию с кислородом, содержащимся в воздухе горения для образования SO<sub>2</sub>. Следовательно, выбросы SO<sub>2</sub>, возникающие при сжигании, непосредственно связаны с содержанием серы в используемых видах топлива. SO<sub>3</sub> получают при окислении SO<sub>2</sub> при сжигании.

Содержание серы в твердых горючих ископаемых находится в пределах от 0,5% до более чем 5%. Твердые горючие ископаемые являются самым крупным источником SO<sub>2</sub> [1]. Содержание серы в природном газе крайне мало, так же, как и содержание серы

в дереве. Содержание серы в жидких горючих ископаемых находится в пределах от 0,001% до более 5%. Для получения жидких горючих ископаемых с низким содержанием серы необходимо убрать серу на установке переработки и выполнить определенные процессы.

В течение последней декады в национальном и европейском законодательстве ужесточены требования к содержанию серы в нефтепродуктах. В таблице 2 представлены типовые предельные значения для жидкого топлива в ЕС [2].

**Таблица 2: типовые предельные значения для жидкого топлива в ЕС**

Топливо	Текущее содержание серы (% от веса)	Директива ЕС
Остаточное масло	< 1% или 10000 частей на миллион	1999/32/ЕС
Газойль	< 0,1% или 1000 частей на миллион	1999/32/ЕС

### **3.3 Переход на другие виды топлива**

Переход на другие виды топлива (например, с угля с высоким содержанием серы на уголь с малым содержанием серы и/или жидкое топливо, или с угля или жидкого топлива на газ) приводит к уменьшению выбросов серы, но при этом возможны определенные ограничения, такие как наличие топлива с низким содержанием серы и способность существующей системы сжигания топлива работать на различных видах топлива. Во многих государствах ЕС некоторые установки сжигания угля или нефти заменяют газовыми установками сжигания. Применение установок может способствовать переходу на другие виды топлива. Переход на другие виды топлива может также оказать положительное воздействие на уровни выбросов диоксида азота или твердых частиц.

### **3.4 Очистка топлива**

Очистка природного газа является передовой технологией и широко применяется при эксплуатации. Очистка технологического газа (высокосернистый нефтяной газ, коксовый газ, биогаз и т.д.) также представляет собой современную технологию. Десульфуризация жидкого топлива (легкие и средние фракции) является передовой технологией. Десульфуризация тяжелых фракций технически целесообразна; Несмотря на это, следует учитывать свойства неочищенной нефти. Тем не менее, десульфуризация продуктов отгонки (остаточные продукты из установок атмосферной дистилляции неочищенной нефти) для производства топлива с низким содержанием серы не является повсеместно используемой практикой; Как правило, предпочтительной технологией является обработка неочищенной нефти с низким содержанием серы. Технология гидрокрекинга и полной конверсии улучшилась и сочетает высокое удержание серы с повышенным выходом легких продуктов. Количество установок переработки с полной конверсией постоянно возрастает. В подобных установках переработки, как правило, происходит извлечение от 80 до 90% поступающей серы и преобразование всех остаточных веществ в легкие продукты или другие легко реализуемые продукты. Данный тип установок переработки потребляет больше энергии и требует больших инвестиций. Содержание серы в продукции установок переработки должно соответствовать определенным значениям, предписанным ЕС и представленным в таблице 2. Современные технологии очистки каменного угля могут удалить примерно 50% неорганической серы (в зависимости от свойств угля), но не органическую серу. Разработаны более эффективные технологии. Тем не менее, для них необходимы особые более высокие инвестиции. Таким образом, эффективность удаления серы при очистке угля ограничена по сравнению с десульфуризацией дымового газа. В отдельных странах может существовать потенциал оптимизации для получения наилучших комбинаций очистки топлива и дымового газа.

### **3.5 Технологии сжигания**

Передовые технологии сжигания могут повысить тепловой КПД и уменьшить выбросы серы. Указанные технологии включают в себя сжигание жидкого топлива в слое (СЖТ), комплексные газовые установки с комбинированным циклом (КУГКЦ); газовые турбины с комбинированным циклом (ГТКЦ). Стационарные турбины внутреннего сгорания могут быть встроены в системы сжигания в имеющихся стандартных энергоустановках. Благодаря этому можно увеличить общую эффективность на 5 - 7%, что, например, приводит к значительному уменьшению выбросов SO<sub>2</sub>. Тем не менее, возникает необходимость во внедрении крупных изменений в существующие системы печей. Поршневой двигатель также может увеличить электрический КПД за счет использования физической теплоты отработавших газов, вырабатываемых, например, при использовании водоподогревателя с комбинированным циклом.

В СЖТ сжигание происходит в дисперсном слое, который может быть стационарным, под давлением, циркулирующим или кипящим. сжигание жидкого топлива в слое представляет собой технологию сжигания для каменного угля и бурого угля, но также может предусматривать сжигание другого твердого топлива, например, нефтяного кокса, и низкосортного топлива, например, отходов, торфа и дерева. В дальнейшем, выбросы можно уменьшить за счет встроенной регулировки процесса сжигания в системе при добавлении извести/известняка к материалу слоя. Использование и/или утилизация побочных продуктов данного процесса может стать проблемой, требующей дополнительной разработки.

В процесс КУГКЦ входит газификация угля и комбинированный цикл выработки электроэнергии в газовой и паровой турбине. Газифицированный уголь сжигают в камере сгорания газовой турбины. Содержание серы регулируется за счет использования передовой технологии для установок очистки сырого газа до газовой турбины. Также существует технология для остатков тяжелой нефти и битумных эмульсий.

Модификации процесса сжигания, сравнимые с мерами, используемыми для регулировки выбросов NOx, не существуют, поскольку при сжигании органически и/или неорганически связанная сера почти полностью окисляется. Определенный процент, зависящий от свойств топлива и технологии сжигания, остается в пепле. На количество серы, остающееся в пепле, могут подействовать добавленные сорбенты (например, известь/известняк) и условия сжигания (например, температура). В данном руководящем документе процессы с добавлением сухих компонентов для стандартных котлов считаются модификациями процесса благодаря введению вещества в камеру сгорания. Тем не менее, опыт показывает, что при применении указанных процессов снижается теплоемкость, соотношение Ca/S относительно высокое, а извлечение серы - незначительное. Несмотря на это, в последние годы характеристики данных процессов оптимизировались до уровня, при котором эффективность извлечения SO<sub>2</sub> достигла 50 - 80%. При этом следует учитывать проблемы с последующим использованием побочных продуктов.

### **3.6 Вторичные меры - Процессы десульфуризации дымового газа**

Данные процессы предназначены для удаления уже сформировавшихся оксидов серы и относятся к вторичным мерам. Удаление серы за счет применения процессов влажной, сухой и полусухой очистки используется при обработке дымовых газов. Удаление серы также можно выполнить извлечением диоксида серы из дымовых газов. Она либо извлекается (регенеративный процесс), либо преобразуется в серную кислоту (установка производства серной кислоты). Очистка дымовых газов с использованием воды или морской воды является другой имеющейся технологией уменьшения выбросов SO<sub>2</sub>.

При применении технологий влажной очистки дымовые газы, в первую очередь, извлекают, а затем очищают атомизированным раствором щелочных соединений. SO<sub>2</sub> вступает в реакцию с указанными щелочными соединениями, образуя побочные продукты, химическая природа которых зависит от используемого щелочного соединения. В случае использования CaCO<sub>3</sub> или CaO список побочных продуктов можно дополнить сульфатом кальция, при условии достижения определенных технических условий. Качество побочных продуктов также можно увеличить с использованием другого чистящего вещества. При влажной ДДГ повышенную эффективность получают при практически стехиометрическом соотношении Ca/S. Данный процесс, по большей части, используется для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> из энергоустановок, работающих на угле.

При использовании технологий сухой очистки известь или известняк в твердой форме вводится в дымовые газы; он вступает в реакцию с SO<sub>2</sub>, образуя сульфиты и сульфаты, которые затем следует отфильтровать для уменьшения выбросов пыли. Эффективность процесса ниже, чем при использовании ДДГ методом влажной очистки, и зависит от конкретных параметров, таких как температура, содержание SO<sub>2</sub> в дымовом газе, соотношение Ca/S и время нахождения.

Процесс полусухой очистки осуществляется сходным образом, в результате также появляется твердый остаток. В ходе данного процесса используется влажная известь или известняк с содержанием воды около 10% для улучшения сцепления.

В регенеративных процессах используется восстановитель, позволяющий восстановить SO<sub>2</sub>. Можно использовать сульфит натрия. Он вступает в реакцию с SO<sub>2</sub>, образуя бисульфит натрия, который затем испаряют с последующей кристаллизацией сульфита натрия и восстановлением SO<sub>2</sub>. При этом можно добиться скорости восстановления более 95%. Указанный тип процесса широко используется на установках производства диоксида титана.

При производстве серной кислоты, прежде всего, происходит окисление SO<sub>2</sub> до SO<sub>3</sub>, который абсорбируется с образованием серной кислоты. Процесс производства серной кислоты может предусматривать этап однократной или двойной абсорбции, в зависимости от необходимой скорости преобразования. Установка производства серной кислоты с применением двойной абсорбции работает более эффективно.

Десульфуризация дымового газа является процессом с высокими капитальными издержками, который является оптимальным для установки с высоким коэффициентом нагрузки.

В следующей таблице представлены общие результаты для отдельных процессов десульфуризации дымовых газов.

**Таблица 3: общее описание и характеристики процессов десульфуризации дымовых газов [3]**

	Влажная очистка	Сухая очистка	Регенеративный процесс	Установка производства серной кислоты (двойная абсорбция)
Эффективность	Уровень десульфуризации 95% (в исключительных случаях, 98%) при соотношении Ca/S 1,05	Уровень десульфуризации от 60% до 80% в зависимости от соотношения Ca/S	Скорость восстановления 95-98%	Скорость преобразования > 99%
Побочные продукты	Сульфат кальция можно получить при определенных условиях, его можно использовать в цементном производстве	Сульфит и сульфат кальция не восстанавливаются		
Предельные значения	Возможная проблема образования отложений	Не рентабельна, большое количество отходов для переработки, соответственно		Концентрация пыли < 30 мг/Нм <sup>3</sup> Концентрация O <sub>2</sub> в 5 раз выше концентрации SO <sub>2</sub> .

Для достижения максимальной эффективности процесса уменьшения выбросов серы, в дополнение к перечисленным выше мерам по регулированию потребления энергии следует учитывать возможность использования комбинации технологических вариантов, указанных в пунктах выше. В некоторых случаях, варианты уменьшения выбросов серы могут также привести к уменьшению выбросов NO<sub>x</sub> и других загрязнителей.

### 3.7 Затраты на реализацию технологий уменьшения выбросов SO<sub>2</sub>

Затраты являются важным фактором при выборе технологий уменьшения выбросов SO<sub>2</sub>. Значимыми считаются следующие затраты:

- условная налоговая скидка на амортизацию и условно начисленный процент,
- трудовые затраты,
- расходы на вспомогательные и эксплуатационные материалы,
- затраты энергии,
- затраты на техническое обслуживание и ремонт, расходы на мониторинг, внешние услуги,
- налоги, налог на загрязнение окружающей среды (например, плата за сброс неочищенных сточных вод), сборы, счета за коммунальные услуги.

В общем случае, затраты повышаются в меньшей степени, чем возможности технологии уменьшения выбросов, при этом более крупные установки или установки с более высоким содержанием серы в дымовом газе часто более рентабельны. Процессы с добавлением сухих веществ являются менее рентабельными для топлива с более высоким содержанием серы по сравнению процессами влажной очистки.

Затраты на реализацию технологий уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> рассмотрены в главе 7.

### 3.8 Побочные продукты и воздействия

Побочные воздействия технологий/вариантов уменьшения выбросов могут быть положительными или отрицательными, и их необходимо учитывать.

Следует выбирать варианты, в результате которых будут получены пригодные к использованию побочные продукты, как и варианты, приводящие к повышению теплового КПД и уменьшению объема отходов, по необходимости. Хотя большинство побочных продуктов, например, сульфат кальция,

аммиачная соль, серная кислота или сера, являются пригодными для использования или подлежащими повторному использованию продуктами, следует учитывать такие факторы, как рыночные условия и стандарты качества.

Побочные воздействия, в большинстве случаев, можно ограничить за счет правильного проектирования и эксплуатации оборудования. Побочные воздействия включают в себя следующее

- воздействие на энергопотребление и, следовательно, выбросы газов, создающих парниковый эффект,
- воздействие на другие атмосферные загрязнители,
- воздействие на использование природных ресурсов, таких как известняк,
- воздействия на другие среды, например, отходы или воду.

В частности, в таблице ниже приведены положительные и отрицательные побочные воздействия для выбранных процессов десульфуризации дымовых газов.

**Таблица 4: положительные и отрицательные побочные воздействия для выбранных процессов десульфуризации дымовых газов.**

Технология уменьшения выбросов	Положительные побочные воздействия	Отрицательные побочные воздействия
Процесс с использованием сухих очистителей или добавления сухих веществ	Уменьшение выбросов пыли и тяжелых металлов	Сульфит и сульфат кальция не восстанавливаются Выделяется большое количество отходов
Процесс с использованием мокрых очистителей	Уменьшение выбросов пыли и тяжелых металлов Возможное улучшение качества побочных продуктов до сульфата кальция	Расход воды Энергопотребление Потребление известняка Образование отходов

### 3.9 Список литературы, использованной в главе 3

[1] DGEMP, direction générale de l'énergie et des matières premières,

<http://www.industrie.gouv.fr/energie/>,

[2] European directive 1999/32/ EC, UEOJ 26<sup>th</sup> April 1999.

[3] Techniques de désulfuration des procédés industriels, ADEME, 1999.

## 4 Общие вопросы, связанные с выбросами NOx

### 4.1 Общие вопросы

Общее обозначение NOx относится к сумме оксида азота (NO) и диоксида азота (NO<sub>2</sub>), выраженной в виде NO<sub>2</sub>. Закись азота (NO<sub>2</sub>), газ, создающий парниковый эффект, не относится к NOx. Основным источником NOx является сжигание, при котором, в первую очередь, образуется NO [1]. NO затем быстро преобразуется в NO<sub>2</sub>.

Выбросы NOx способствуют подкислению за счет образования азотистой кислоты (HNO<sub>2</sub>) и азотной кислоты (HNO<sub>3</sub>), заболачиванию, образованию озона в тропосфере и (в особенности, NO<sub>2</sub>) к раздражению и повреждению органов дыхания. Более того, NOx может вступать в реакцию с аммиаком, образуя вторичные высокодисперсные частицы с отрицательным воздействием на здоровье.

При сжигании различают три основных типа образования NOx:

- **NOx, получаемый при тепловой реакции:** молекулярный азот (N<sub>2</sub>) из атмосферы и молекулярный кислород (O<sub>2</sub>) распадаются при высокой температуре и вступают в реакцию с образованием NOx. Реакция обратима и обычно становится существенной при температурах примерно более 1300°C [1]. Образование NOx увеличивается в зависимости от температуры и времени нахождения.
- **NOx, получаемый при сгорании:** Для NOx, получаемого при сгорании, источником азота для образования NOx является само топливо. Выделяются два пути получения: i) при первоначальном сгорании выделяются летучие вещества, включая окисленный азот и ii) на более поздних этапах, где происходит окисление угля и азот, содержащийся в угле, окисляется до NOx. Образование NOx при сгорании топлива становится существенным при температурах примерно выше 800°C. Количество NOx, получаемого из топлива, зависит от содержания N в топливе и от условий сжигания.

- **Быстрый NOx:** топливные радикалы вступают в реакцию с молекулярным азотом (N<sub>2</sub>) из воздуха с образованием NOx.  
По сравнению с NOx, получаемым при тепловой реакции и при сгорании, быстрый NOx менее существен для источников, рассматриваемых в данном документе.

Для уменьшения образования NOx и выбросов NOx при процессах сжигания применяются различные типы мероприятий, например, улучшение энергосбережения (см. Главу 2), переход на другие виды топлива, а также первичные и вторичные меры. Для достижения максимально возможного уменьшения выбросов NOx в дополнение к мерам по регулированию потребления энергии следует учитывать возможность применения сочетания различных мероприятий. Для выявления наилучшего сочетания мероприятий необходимо произвести оценку на месте.

## 4.2 Переход на другие виды топлива

Переход на топливо с малым количеством получаемого NOx является вариантом уменьшения выбросов NOx, но зависит от условий конкретной страны, таких как инфраструктура и энергетическая политика. Топлива с высоким содержанием азота, например, тяжелое нефтяное топливо и уголь, могут обеспечить образование большего количества NOx из топлива, а богатые водородом топлива, такие как природный газ, вследствие высоких температур сгорания, - образование большего количества NOx за счет тепловой реакции. Выбор вида топлива может также воздействовать на другие выбросы, например, серы, твердых частиц и газов, создающих парниковый эффект, а также на применимость и потребность в мероприятиях по уменьшению выбросов.

## 4.3 Очистка топлива

Очистка топлива для удаления азота не является рентабельным вариантом. Гидрообработка на установках переработки, тем не менее, также уменьшает содержание азота в конечных продуктах.

## 4.4 Первичные меры

Первичные меры позволяют уменьшить образование NOx у источника за счет применения различных принципов или методов, или их сочетания [1]:

- Уменьшение пиковой температуры,
- Уменьшение времени нахождения при пиковой температуре,
- Химическое восстановление NOx в процессе сгорания,
- Снижение содержания азота в процессе сгорания.

В следующих пунктах приведены общие сведения по имеющимся первичным мероприятиям. Их применимость зависит от сектора промышленности и производственного процесса.

**Уменьшение пиковой температуры:** Поскольку образование NOx при тепловой реакции, по большей части, зависит от температуры сжигания, снижение указанной температуры является одним из вариантов для уменьшения образования NOx. Снижение пиковой температуры достигается использованием следующих методов i) рассредоточение тепла, получаемого в процессе сгорания, ii) охлаждение, и iii) уменьшение содержания кислорода для сгорания [1] также применение других технологий сгорания, таких как сжигание жидкого топлива в слое (СЖТ), которое применяется при низких температурах и включает в себя собственное ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха. Основными методами снижения пиковой температуры являются следующие:

- Достехиометрическое горение, т.е. с использованием богатой горючей смеси, в случае с которой кислород становится сдерживающим фактором (топливо также действует в качестве восстановителя),
- Супростехиометрическое горение, т.е. с использованием бедной топливозоудшной смеси для рассредоточения теплоты сгорания,
- Ввод охлажденного топливного газа с кислородным обеднением для рассредоточения теплоты сгорания,
- Ввод охлажденного топливного газа с кислородным обеднением с добавленным топливом для рассредоточения теплоты сгорания, уменьшения температуры реакции и для того, чтобы кислород стал сдерживающим фактором,
- Ввод воды или пара для рассредоточения теплоты сгорания и для снижения температуры реакции.

**Уменьшение времени нахождения при пиковой температуре:** Поскольку образование NOx при тепловой реакции, по большей степени, зависит от времени и оставшегося топливного газа в области высокой температуры, сокращение времени нахождения уменьшает также образование NOx. Способы уменьшения времени нахождения включают в себя следующее [1]:



- Ввод топлива, пара, рециркуляционного дымового газа или воздуха для горения непосредственно после сгорания,
- Уменьшение распространения зоны высокой температуры, что обеспечивает более быстрое удаление дымового газа.

**Химическое восстановление NOx в процессе сгорания:** NOx можно восстановить до N<sub>2</sub> с применением восстановителя, который подвергается окислению. Принцип химического восстановления широко используется при реализации вторичных мер, но, помимо того, может применяться в качестве первичной меры, если восстановление уже происходит в процессе горения. Основные методы включают следующее:

- Субстехиометрическое сгорание, т.е. в обогащенной топливной смеси оставшееся топливо может действовать в качестве восстановителя,
- Повторное сжигание дымовых газов с добавлением топлива (с добавленным топливом, действующим в качестве восстановителя),
- Создание условий обеднения топливом и обогащения топливом в зоне сгорания.

**Снижение содержания азота в процессе сгорания:** Уменьшение образования NOx за счет снижения количества имеющегося азота можно достичь при использовании топлива с низким содержанием азота, например, природного газа (см. переход на другие виды топлива), а также кислорода вместо воздуха в процессе сгорания.

По большей части, используют следующие первичные меры, которые основаны на принципах и методах, каждый из которых имеет свои собственные преимущества и недостатки, см., например, [1], [11]. Некоторые из первичных мер типичны для модернизированных, другие для новых установок, а другие применимы только для новых установок.

- **Сгорание с ограниченным доступом воздуха (СОДВ):** Для обеспечения полного сгорания воздух для горения часто добавляют в больших количествах, что может привести к образованию значительного количества NOx при тепловой реакции, в ходе которой происходит окисление атмосферного азота [2], [3], [4]. Снижение количества подаваемого воздуха приводит также к снижению образования NOx.
- **Рециркуляция дымовых газов (РДГ):** Рециркуляционный охлажденный дымовой газ снижает температуру горения на этапе вторичного горения, а также концентрацию кислорода, уменьшая за счет этого образование NOx при тепловой реакции. Утилизацию тепла дымового газа можно осуществить в теплообменнике [1], [5].
- **Ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха (ССВВ):** Принцип ступенчатого сжигания предусматривает создание двух зон, одна зона с избытком горючего, где происходит первоначальное сгорание, и вторая, где происходит добавление воздуха для обеспечения полного сгорания. Это обеспечивает уменьшение образования NOx при тепловой реакции в первой зоне, где содержание азота ниже, и во второй, где меньше температура. Зону можно создать разными способами. При **Несимметричном розжиге горелки (НРГ)** скорости воздушного и топливного потока изменяются, при использовании метода **Неэксплуатируемых горелок (НГ)** поток топлива к горелке отсекается на короткое время, а при **Остром дутье (ОД)** воздух нагнетается над стандартной зоной сгорания [3], [4], [5]. Ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха часто используется совместно с горелками с малым выбросом NOx.
- **Ступенчатое сжигание топлива (ССТ):** Ступенчатое сжигание топлива аналогично ступенчатому сжиганию с вдуванием топлива, но в данном методе используется топливо вместо воздуха. На первом этапе содержание топлива крайне мало, что позволяет снизить температуру. Топливо, добавленное на втором этапе, выступает в качестве восстановителя образовавшегося NOx. На третьем этапе добавляется воздух для обеспечения полного сгорания [6].
- **Повторное сжигание топлива (ПСТ):** Процесс повторного сжигания топлива аналогичен рециркуляции дымовых газов (РДГ), но с добавлением топлива в дымовой газ, что снижает температуру. Если при добавлении на второй стадии сгорания для повторного сжигания топлива в качестве восстановителя используется топливо, процесс аналогичен ступенчатому сжиганию топлива (ССТ).
- **Уменьшение времени предварительного нагрева воздуха (ВПНВ):** Воздух для сгорания, в общем случае, предварительно нагревается дымовыми газами, причем они охлаждаются, что позволяет повысить эффективность. Уменьшение времени предварительного нагрева также снижает температуру пламени и, следовательно, образование NOx, но при этом также общее энергосбережение [1], [3].
- **Горелки с малым выбросом NOx (ГМВ):** Горелки с малым выбросом NOx обеспечивают смешивание топлива и воздуха/дымового газа таким образом, что при ступенчатом сжигании создаются различные зоны. Разграничение зон обеспечивает более низкую температуру пламени и концентрацию кислорода, а также химическое восстановление NOx за счет использования топлива в некоторых зонах [1], [5]. ГМВ с малым выбросом NOx можно далее подразделять на ГМВ со ступенчатым вдуванием воздуха, ГМВ с рециркуляцией дымовых газов и ГМВ со ступенчатым сжиганием топлива, в зависимости от принципа, используемого для уменьшения выбросов NOx. Дальнейшей модификацией являются горелки с крайне малым выбросом NOx.
- **Нагнетание воды/пара:** Нагнетание воды и пара осуществляется для снижения температуры пламени и для уменьшения образования NOx при тепловой реакции.

- **Сжигание в обогащенной кислородом среде:** При сжигании в обогащенной кислородом среде воздух заменяют кислородом, чтобы предотвратить образование NOx при тепловой реакции. До настоящего времени сжигание в обогащенной кислородом среде, по большей части, применяется только при производстве стекла, но в будущем использование данной технологии может стать более частым, поскольку рассматриваемый метод является одним из возможных вариантов для получения высоких концентраций CO<sub>2</sub> в дымовом газе, что является преимуществом при захвате и удалении CO<sub>2</sub> [7].
- **Оптимизация сгорания:** При оптимизации сгорания осуществляется активный контроль процесса сгорания, например, посредством специального программного обеспечения. Одним из вариантов является небольшое снижение эффективности сгорания для уменьшения выбросов NOx [1].
- **Каталитическое сгорание:** Использование катализатора для снижения температуры сгорания ниже необходимой для образования NOx может в значительной степени уменьшить выбросы NOx. Тем не менее, практическое применение данного метода выполняется достаточно редко [1], хотя его использование для газовых турбин является перспективной областью применения [8].

Технологии, отмеченные в пункте § 4.4, представляют собой комплекс имеющихся технологий уменьшения выбросов NOx, что не означает, что они применимы для каждого промышленного сектора или производственного процесса.

Мероприятия для стационарных газовых и дизельных двигателей см. в документе 7-42.

#### 4.5 Вторичные меры

Вторичные меры (технологии доочистки и природоохранные технологии в конце производственного цикла) уменьшают выбросы уже образовавшегося NOx в окружающую среду.

При этом используются два основных принципа:

- химическое восстановление NOx с применением восстановителя с катализатором или без него,
- поглощение/нейтрализация NOx.

Преимущественно, используются перечисленные ниже вторичные меры, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки [1]:

- **Селективное каталитическое восстановление (СКВ):** При СКВ, NOx восстанавливается до N<sub>2</sub> посредством восстановителя (обычно, аммиак) который вводится непосредственно в дымовой газ на катализатор при достаточном количестве кислорода. Преобразование NOx происходит на поверхности катализатора при температуре от 170 до 510 градусов С (диапазон от 300 до 400 градусов С более типичен, минимальная температура дымовых газов зависит от содержания серы в топливе. При слишком низкой температуре дымовых газов образуется бисульфат аммония, который блокирует элементы СКВ. Имеются ограничения по применимости СКВ [11] для дизельных и двухтактных двигателей, которые часто необходимо эксплуатировать с переменной нагрузкой. Рассматриваемые блоки часто эксплуатируют в автономных системах, которые работают только в течение ограниченного числа часов. В зависимости от потребностей в электроэнергии данные двигатели следует запускать и останавливать несколько раз в день. СКВ - это технология, применяемая для дизельных двигателей, но ее не следует рассматривать в качестве НДТ для двигателей с частыми колебаниями, включая частый запуск и останов по причине технических ограничений. Блок СКВ не будет функционировать эффективно, если эксплуатационные условия и, следовательно, температура катализатора часто изменяются, выходя за пределы необходимого эффективного диапазона температур. В результате, СКВ представляет собой часть НДТ, но, в широком смысле, никакие конкретные уровни выбросов не ассоциируются с НДТ.
- **Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ):** Аналогично СКВ, восстановитель (обычно аммиак, мочевины или нашатырный спирт) используется для восстановления NOx, но в отличие от СКВ, без катализатора и при более высокой температуре от 850 до 1100°С.

Другие технологии регулирования выбросов NOx включают в себя:

- **Процесс NOXSO:** Процесс NOXSO основан на одновременной адсорбции SO<sub>2</sub> и NOx из дымового газа регенерируемым сорбентом, в результате чего получают жидкий SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>. Объявленная эффективность составляет 98% для SO<sub>2</sub> и 75% для NOx [9].
- **SOx-NOx-Rox-Vox:** В данном процессе используется каталитический тканевый фильтр для комплексного удаления SOx (посредством введения сорбента щелочей), NOx (посредством введения аммиака и СКВ), и пыли (см. 10). Проблемы при использовании данной технологии включают в себя образование опасных отходов в качестве побочного продукта и достаточно низкую эффективность уменьшения выбросов.
- **Установка для многоэтапного сжигания с вводом извести (МСВИ):** У МСВИ снижена надежность и эффективность уменьшения выбросов NOx.

При использовании комплексных установок газификации с комбинированным циклом (КУГКЦ) газификация топлива происходит в условиях восстановления до синтетического газа. Затем происходит очистка синтетического газа и сжигание в воздухе или кислороде. Это позволяет получить очень низкий уровень выбросов NOx. КУГКЦ рассматривается как одна из нескольких ключевых технологий захвата и хранения продуктов сгорания (ЗХПС). До настоящего времени применение данной технологии ограничивалось несколькими, по большей части демонстрационными установками. При применении ЗХПС КУГКЦ может появиться на рынке примерно в 2020 г. Выбор наиболее подходящих мероприятий зависит от многих факторов, связанных, например, со следующим [11]:

- типы используемого топлива,
- применяемые технологии сгорания,
- режим работы установки,
- характеристики промышленных процессов,
- новая или модернизированная установка,
- характеристики дымового газа (концентрация NOx, температура, влажность, пыль, другие загрязнители, каталитические яды, и т.д.),
- расход дымового газа,
- требуемые уровни выбросов,
- побочные воздействия и воздействия на другие среды,
- эксплуатационная безопасность и надежность,
- затраты.

В следующей таблице приведены краткие общие сведения по реализации первичных и вторичных мер уменьшения выбросов NOx на крупных установках сжигания; см. более подробную информацию по проблемам, характерным для отдельных секторов, в соответствующих главах.

Таблица 5: средняя эффективность уменьшения выбросов для выбранных первичных и вторичных мероприятий по уменьшению выбросов NOx на крупных установках сжигания для котлов [11]

Технология	Средний процент уменьшения выбросов NOx*	Технические ограничения
Ограниченный доступ воздуха (LEA)	10-44%	неполное сжигание
Топка не применяется (BOOS)	10-70%	неполное сжигание
Нестехиометрическое сжигание (BBF)		
Острое дутье (OFA)		
Рециркуляция топочных газов (FGR)	< 20% (уголь) 30-50% (газ в сочетании с OFA)	нестабильность пламени
Предварительный нагрев редуцированного воздуха (RAP)	20-30%	
Ступенчатое сжигание топлива (FG)	50-60%	
Ступенчатое сжигание LNB	25-35%	неполное сжигание нестабильность пламени
Рециркуляция топочных газов LNB	<20%	нестабильность пламени
Ступенчатое сжигание топлива LNB	50-60%	неполное сжигание нестабильность пламени
Селективное каталитическое восстановление (СКВ)	80-95%	проскок аммиака; загрязнение зольной пылью, неисправность калорифера
Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)	30-50%	проскок аммиака, который обычно выше, чем СКВ
* Если используются различные меры, процент уменьшения будет различным.		

#### 4.6 Затраты на реализацию технологий уменьшения выбросов NOx

Затраты являются важным фактором при выборе технологий уменьшения выбросов NOx. Значимыми считаются следующие затраты [12]:

- условная налоговая скидка на амортизацию и условно начисленный процент,
- трудовые затраты,
- расходы на вспомогательные и эксплуатационные материалы,
- затраты энергии,
- затраты на техническое обслуживание и ремонт, расходы на мониторинг, внешние услуги,
- налоги, налог на загрязнение окружающей среды (например, плата за сброс неочищенных сточных вод), сборы, счета за коммунальные услуги.

В общем, повышение затрат в данном случае меньше, чем возможности, предоставляемые технологиями уменьшения выбросов, благодаря чему более крупные установки часто становятся более рентабельными. Нередко возможна модернизация существующих установок, но при этом повышаются затраты.

При использовании первичных мер затраты, обусловленные инвестициями, как правило, относительно невысоки, а для новых установок часто не требуется дополнительных расходов. Но при этом может возникать значительное увеличение расходов при снижении эффективности, которое необходимо учитывать.

При выполнении СКВ стоимость модернизации может быть достаточно высокой вследствие затруднений, связанных с установкой каталитического реактора рядом с котлом. Кроме того, при СКВ наиболее существенными являются следующие затраты: затраты, обусловленные инвестициями, стоимость аммиака, расходы на электроснабжение, расходы, связанные с заменой катализатора, и трудовые затраты. СНКВ, как правило, предусматривает более низкие расходы, чем СКВ, поскольку отсутствуют затраты на катализаторы и корпуса каталитических реакторов. Тем не менее, расходы на СКВ и СНКВ зависят, например, от типа отработанного газа, его температуры и требуемой эффективности уменьшения выбросов. В результате, дополнительные расходы, связанные с заменой катализатора в случае с СКВ, могут быть компенсированы за счет значительно более низкого расхода аммиака по сравнению с СНКВ.

#### 4.7 Побочные воздействия

Побочные воздействия технологий/вариантов уменьшения выбросов могут быть положительными или отрицательными, и их необходимо учитывать. Побочные воздействия, в большинстве случаев, можно уменьшить за счет правильного проектирования и эксплуатации оборудования. Побочные воздействия включают в себя следующее

- воздействие на энергопотребление и, следовательно, выбросы газов, создающих парниковый эффект,
- воздействие на другие атмосферные загрязнители,
- воздействие на использование природных ресурсов,
- воздействия на другие среды, например, отходы или воду.

Точнее говоря, побочные воздействия, которые следует учитывать при использовании различных технологий уменьшения выбросов, перечислены далее:

- **Первичные меры:** возможными побочными воздействиями являются меньшее энергосбережение, повышенное образование CO и сажи, а также выбросы углеводородов, коррозия вследствие восстановительной атмосферы, увеличение количества несожженного углерода в зольной пыли.
- **СЖТ:** указанная технология также обеспечивает значительное уменьшение выбросов SO<sub>x</sub>. Возможным недостатком применения системы СЖТ может стать повышенное образование N<sub>2</sub>O при определенных технологических условиях. Применение пепла следует рассматривать с учетом его возможного использования и/или утилизации.
- **СКВ:** отдельные возможные побочные воздействия включают в себя проскок аммиака в отработанном газе, содержание аммиака в зольной пыли, образование аммиачных солей в установках после завода, деактивацию катализатора и повышенное преобразование SO<sub>2</sub> в SO<sub>3</sub> (коррозия и засорение). Тем не менее, при контролируемой работе установки можно гарантировать качество зольной пыли, а также уменьшить образование аммиачных солей. Что касается побочных продуктов, деактивированные катализаторы в процессе СКВ могут стать единственными релевантными продуктами, хотя это не представляет серьезной проблемы, поскольку срок годности катализатора увеличен и существуют варианты повторной обработки. Биомасса и сжигание отходов могут уменьшить срок пригодности катализатора к использованию.
- **СНКВ:** побочные воздействия, которые необходимо учитывать, включают в себя аммиак в отработанном газе, образование аммиачных солей в установках после завода, образование N<sub>2</sub>O, где мочевина, например, используется в качестве компонента смеси восстановителей, и выброс CO. Проскок аммиака при СНКВ, как правило, гораздо больше, чем при СКВ, вследствие требуемой дозировки восстановителя выше стехиометрической (при высокой температуре, требуемой для СНКВ, часть добавляемого аммиака вступает в реакцию, образуя дополнительный NOx).

**Производство аммиака и мочевины** для процессов обработки дымовых газов предусматривает некоторое количество отдельных этапов, для которых требуются энергия и реагенты. Для систем хранения аммиака применимы соответствующие нормы безопасности, подобные системы рассчитаны на работу в замкнутом режиме, и, следовательно, характеризуются минимальным выбросом аммиака. Тем не менее, по-прежнему допустимо использование NH<sub>3</sub>, даже при учете побочных выбросов, относящихся к производству и транспортировке NH<sub>3</sub>.

#### **4.8 Список литературы, использованной в главе 4**

- [1] US EPA (1999): Nitrogen Oxides, Why and how they are controlled? U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Technical Bulletin EPA-456/F-99-006R.
- [2] Lim, K.J., C Castaldini, and C.D. Wolbach (1982): A promising NOx-Control Technology. -Environmental Progress 1, 167-177.
- [3] Wallin, S.C. (1986): Abatement systems for SOx, NOx, and Particles - Technical Options. - The Environmentalist 6, 111-124.
- [4] A summary of NOx reduction technologies. - The Texas Institute for Advancement of Chemical Technology Special Report 1, 2000.
- [5] Lani, B.W., T.J. Feeley, J. Murphy, and L. Green (2005): A review of DOE/NETL's advanced NOx control technology R&D program for coal-fired power plants. - DOE/NETL's NOx R&D Program Review, March 2005.
- [6] Zabetta, E.C., M. Hupa and K. Saviharju (2005): Reducing NOx emissions using fuel staging, air staging, and selective non catalytic reduction in synergy. - Ind. Eng. Chem. Res. 44, 4552-4561.
- [7] Results of work of the EGTEI expert sub-group on Emerging Technologies/Techniques. Report by the Chair of the Expert sub-group on Emerging Technologies/Techniques to the Working Group on Strategies and Review - 1 - 5 September 2008.
- [8] Cocchia, S., G. Nutinia, M.J. Spencerb and S.G. Nickola (2006): Catalytic combustion system for a 10 MW class power generation gas turbine. - Catalysis Today 117, 419-426.
- [9] Black, J.B., M.C. Woods, J.J. Friedrich, and J.P. Browning: The NOXSO clean coal project. -NOXSO Corporation, PA, USA.
- [10] Kudlac, G. A., G.A. Farthing, T. Szymanski, and R. Corbett (1992): The SOx-NOx-Rox Box™ (SNRB). - Environmental Progress, 11, 33 - 38.
- [11] LCP BREF (2006): Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. - European Commission, 618 pp.
- [12] VDI 3800, Determination of costs for industrial environmental protection measures. Verein Deutscher Ingenieure, 2001.
- [13] EGTEI: Final background document on the sector "glass industry", DFIU/IFARE 2003.

## 5 Общие вопросы, связанные с выбросами летучих органических соединений

### 5.1 Общие вопросы

#### Определения

Понятие летучие органические соединения, или ЛОС, если не указано иное, объединяет все органические соединения антропогенной природы, **за исключением метана**, которые могут производить фотооксиданты при реакции с оксидами азота на солнечном свете.

Органическое соединение - это любое соединение, содержащее, как минимум, одну часть углерода и одну или более водорода, галогенов, кислорода, серы, фосфора, кремния или азота, за исключением оксидов углерода и неорганических карбонатов и бикарбонатов [1].

В отдельных случаях в главах, посвященных конкретным секторам, могут встречаться другие определения:

Для вариантов использования растворителя, рассмотренных в главах с 7-25 по 7-38 и техническом приложении VI, под летучими органическими соединениями понимают любые органические соединения, а также фракции креозота с давлением паров 0,01 кПа или более при температуре 293,15 К, или с соответствующей летучестью при определенных условиях применения [9].

Относительно содержания растворителя в продукции, согласно главе 7-39 и техническому приложению XI, летучие органические соединения означают любые органические соединения с исходной точкой начала кипения менее или равной 250°C, измеряемой при стандартном давлении 101,3 кПа. Данное определение совместимо с предыдущим, поскольку существует соотношение между точкой кипения и давлением пара.

Программа обнаружения утечек и ремонта (ПОУР) [3], разработанная Управлением по охране окружающей среды США и подлежащая стандартизации в Европе [4], основана на давлении пара летучих органических соединений в 300 Па при 295,15 К.

Летучие органические соединения получают из большого количества источников, как антропогенных, так и природных:

- Тепловые процессы: углеводороды, выделяющиеся при тепловых процессах (стационарные и передвижные источники), входят в общее количество летучих органических соединений,
- Использование органического растворителя: под органическим растворителем понимают любые летучие органические соединения, которые используют отдельно или в сочетании с другими веществами, и которые не претерпевают химические превращения при разведении ими сырья, продуктов или отходов производства, или используются в качестве очистителей для растворения загрязняющих веществ, или в качестве растворителя, диспергента, регулятора вязкости, регулятора поверхностного натяжения, пластификатора или консерванта [1],
- Транспортировка и обращение с жидким топливом и легкими органическими соединениями (например, бензином),
- Нефтеперерабатывающие заводы и промышленность органического синтеза,
- Природные источники.

Летучие органические соединения оказывают важное влияние на химический состав атмосферы. Летучие органические соединения, посредством сложных фотохимических реакций, способствуют образованию токсических окислителей, например, тропосферного озона и других окислителей, которые могут стать причиной многочисленных проблем со здоровьем и оказать вредное воздействие на растения и экосистемы.

Отдельные летучие органические соединения доказали свою высокую токсичность, мутагенность и канцерогенность. Следует обратить особое внимание на указанные летучие органические соединения вследствие их воздействия на здоровье человека. К данным летучим органическим соединениям относятся следующие [7]:

- Н 350: могут вызывать рак;
- Н 340: могут вызывать генетические дефекты;
- Н 350i: могут вызывать рак при вдыхании;
- Н 360F: могут оказать отрицательное влияние на фертильность;
- Н 360D: могут повредить ребенку в утробе матери.

Приоритетом должно стать максимальное уменьшение выбросов рассматриваемых летучих органических соединений. Также следует обратить особое внимание и обеспечить максимальное снижение выбросов летучих органических соединений, которые ассоциируются с кодами риска H351, которые предположительно вызывают рак, и/или H 341, которые предположительно вызывают появление генетических дефектов.

Чтобы эффективно уменьшить выбросы летучих органических соединений, крайне важно учитывать уменьшение выброса дымовых газов наряду с неорганизованными выбросами. Выбросы дымовых газов обозначают выбросы, у которых четко можно определить источник и направление потока газа. Они поступают в атмосферу через дымовые трубы или вентиляционные каналы, рассчитанные на то, чтобы направлять и контролировать их поток. Источники неорганизованных выбросов четко не определены. Они поступают в атмосферу, не проходя через дымовые трубы или вентиляционные каналы, рассчитанные на то, чтобы направлять или контролировать выбросы. К ним относятся неулавливаемые выбросы в окружающую среду через окна, двери, вентиляционные и иные подобные отверстия [2]. В промышленных установках неорганизованные выбросы имеют диффузный характер, поскольку могут поступать из многих пространственно разнесенных источников.

Вместо применения предельных значений выбросов (ПУВ), например, в связи с природоохранными мероприятиями в конце производственного цикла, допускается использовать схемы уменьшения выбросов. Планы обращения с растворителями следует использовать в качестве инструкций для рассматриваемых схем уменьшения выбросов. Схема уменьшения выбросов должна обеспечить оператору установки получение максимального уменьшения выбросов, аналогичного достигаемому в том случае, если предельные значения применялись другим образом. Определения плана обращения с растворителями и схемы уменьшения выбросов приведены ниже. План обращения с растворителями и схема уменьшения выбросов являются ключевым элементом приложения VI к Протоколу по борьбе с подкислением, эвтрофикацией, приземным озоном. Они помогают выявить соответствие имеющимся нормам, определить будущие варианты уменьшения выбросов, а также обеспечить общественности доступ к информации по расходу растворителя, выбросам и соответствию нормам.

В данном руководящем документе варианты/технологии уменьшения выбросов характеризуются следующим:

- Коэффициенты выбросов, выраженные в пересчете на массу выброшенных веществ (летучие органические соединения), или массу общего органического углерода на уровень активности в секторе (например, г/м<sup>2</sup> автомобильного покрытия); или
- Коэффициенты выбросов, выраженные в пересчете на массу выброшенных веществ (летучие органические соединения) или массу общего органического углерода на массу вводимого растворителя (закупленный растворитель + восстановленный и повторно использованный растворитель) в пределах сектора (например, % растворителя, используемого в органической химии); или
- Концентрация в пересчете на массу выброшенных веществ (летучие органические соединения) или массу общего органического углерода на единицу объема отработанных газов; или
- Эффективность уменьшения выбросов (%).

В общем случае, не производится дальнейшее подразделение летучих органических соединений на конкретные вещества. По возможности, приводятся сведения о характеристиках.

## 5.2 Знания о выбросах и план обращения с растворителями

Для того, чтобы свести к минимуму выбросы летучих органических соединений и разработать план уменьшения выбросов, необходимо наличие отличных знаний о выбросах. Эти знания получают на основании мониторинга выбросов летучих органических соединений через дымовые трубы, определяя неорганизованные выбросы с использованием нескольких соответствующих технологий.

План обращения с растворителями является ключевой технологией для понимания расхода, использования и выбросов растворителей, в особенности, неорганизованных выбросов [5].

План обращения с растворителями заключается в оценке количества растворителя на входе и на выходе. Количество растворителя на входе часто можно легко определить. Напротив, количество растворителя на входе невозможно определить быстро. Баланс массы растворителя является инструментом оценки выбросов летучих органических соединений, осуществляемой на основании следующих принципов [1].

Определение количества растворителя на входе и выходе следует рассматривать следующим образом:

Количество органического растворителя на входе (I):

I1 Количество органических растворителей или их количество в закупленных препаратах, используемое на входе процесса в течение периода времени, когда рассчитывается баланс массы.

I2 Количество органических растворителей или их количество в восстановленных и повторно используемых препаратах на входе процесса. (Повторно используемый растворитель считается каждый раз, когда он используется в ходе осуществления какой-либо операции.)

Количество органического растворителя на выходе (O):

O1 Выбросы отработанных газов.

O2 Органические растворители, разошедшиеся в воде, если применимо, учитывая очистку сточных вод при расчете O5.

O3 Количество органических растворителей, остающееся в качестве загрязнителя или остатка в продукции на выходе процесса.

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

O4 Неуловленные выбросы органических растворителей в атмосферу. Сюда входит общая вентиляция комнат, где воздух в окружающую среду попадает через окна, двери, вентиляционные и подобные отверстия.

O5 Органические растворители и/или органические соединения, потерянные в результате химических или физических реакций (включая, например, расщепленные, например, при сжигании или иной обработке отработанного газа или воды, или уловленные, например, адсорбцией, если они не входят в категории O6, O7 или O8).

O6 Органические растворители, содержащиеся в собранных отходах.

O7 Органические растворители, или органические растворители, содержащиеся в препаратах, которые продаются или планируются для продажи в качестве рентабельного продукта.

O8 Органические растворители, содержащиеся в восстановленных для повторного использования препаратах, но не на входе процесса, если они не входят в категорию O7.

O9 Органические растворители, выброс которых осуществляется другими способами.

Определение расхода растворителя и выбросов летучих органических соединений неметанового ряда можно выполнять в соответствии с формулами, представленными далее:

Расход можно рассчитать с применением следующей формулы:

$$C = I1 - O8$$

Общие выбросы летучих органических соединений неметанового ряда определяют следующим образом:

$$E = F + O1$$

Где F - это неорганизованные выбросы, рассчитываемые следующим образом:

$$F = I1 - O1 - O5 - O6 - O7 - O8$$

или

$$F = O2 + O3 + O4 + O9$$

Указанное количество можно определить непосредственным измерением. И наоборот, эквивалентный расчет можно выполнить и за счет других средств, например, использования эффективности захвата, характерной для рассматриваемого процесса.

Величину поступления загрязняющих веществ в атмосферу вне системы дымовых труб, наряду с общей величиной выбросов, можно выразить в виде входной пропорции, которую рассчитывают с применением следующего уравнения:

$$I = I1 + I2$$

План обращения с растворителями можно выполнять на регулярной основе, например, ежегодно, для контроля осуществляемого прогресса, принятия соответствующих мер при наличии каких-либо отклонений, он должен быть пригоден для оценки соответствия установки нормам предельных значений выбросов.

### **5.3 Общий подход к уменьшению выбросов летучих органических соединений**

Практически для всех стационарных источников имеются в наличии меры для контроля или предотвращения выбросов летучих органических соединений. В общем случае, разграничивают первичные, вторичные меры (технологии доочистки и природоохранные технологии в конце производственного цикла), а также мероприятия по структурированию. Если не указано иное, рассмотренные меры применимы к новым и существующим установкам. Уменьшение выбросов летучих органических соединений за пределами стационарных источников сконцентрировано на ограничении содержания летучих органических соединений в продукции.

Следующий список дает общее представление о имеющихся в наличии мерах уменьшения выбросов летучих органических соединений, которые также можно сочетать с вторичными мерами:

(a) Более эффективные технологии регулирования выбросов летучих органических соединений в части эффективного технического обслуживания оборудования, лучшего захвата отработанного газа и общих оптимизированных условий эксплуатации;

(b) Замена летучих органических соединений, например, использование растворителя с малым содержанием органических компонентов, или материалов и процессов без органических растворителей, таких как водные краски, обезжириватели на водной основе, и т.д. и/или технологические модификации;

(c) Уменьшение выбросов за счет применения оптимальных практик регулирования, таких как надлежащие программы эксплуатации, контроля и технического обслуживания, за счет изменений в процессах, таких как установки замкнутого цикла, повышение герметичности резервуаров для хранения, или за счет структурных изменений, таких как перенос осуществляемых операций на места, где достигается более эффективное уменьшение выбросов летучих органических соединений, например, за счет предварительного нанесения покрытия на отдельные виды продуктов;

(d) Повторное использование и/или восстановление летучих органических соединений за счет использования технологий регулирования, таких как конденсация, адсорбция, абсорбция и мембранные процессы (этап предварительной обработки). Еще одним вариантом является использование тепла (регенерация энергии) от летучих органических соединений. Предпочтительно, органические соединения следует повторно использовать на месте;



этого можно добиться за счет использования только нескольких органических соединений вместо сложных смесей. Обработку сложных смесей следует выполнять за пределами предприятия; тем не менее, выбросы могут возникнуть при распределении, обращении, транспортировке и хранении;

(е) Разрушение летучих органических соединений за счет применения технологий регулирования выбросов, например, термическое или каталитическое окисление, или биологическая обработка. При сжигании рекомендуется использовать вторичное тепло для уменьшения эксплуатационных расходов и потребления ресурсов. Другой стандартной процедурой разрушения негалогенизированных летучих органических соединений является использование потоков газа с летучими органическими соединениями в качестве вторичного воздуха или топлива в существующих устройствах преобразования энергии.

### 5.3.1 Первичные меры

Возможные первичные меры для регулирования выбросов при промышленном использовании органических растворителей: предупредительные меры (использование материалов и процессов с низким содержанием органических растворителей или их отсутствием), правильная эксплуатация, технологические и структурные мероприятия. Таким образом, могут использоваться два подхода: подход с ориентацией на продукт, который, например, приводит к изменению состава продукта (краски, красители, обезжириватели, и т.д.); и изменения в рамках подхода с ориентацией на процесс (увеличение эффективности переноса, использование систем с герметичной камерой для обезжиривания...); Более того, в числе прочего, следует предпочесть подход с ориентацией на продукт, по причине его сопутствующих положительных воздействий на выбросы промышленности по обработке органических растворителей. Более того, воздействие выбросов на окружающую среду можно уменьшить за счет изменения состава продукта, заменяя растворители менее вредными вариантами. Использование систем замкнутого цикла может также привести к крайне низкому содержанию в выбросах органических растворителей. В настоящее время осуществляется ускоренная разработка красок с низким содержанием органических растворителей или без них, которые относятся к наиболее рентабельным решениям.

При бытовом использовании красок и другой продукции, содержащей растворители, можно применять только подход с ориентацией на продукт. Это также верно в случае окраски конструкций и зданий, коммерческого применения очищающих веществ, и т.д. Использование водных систем (например, для красок и клеящих веществ) является более эффективным мероприятием, уже используемым в настоящее время, в особенности, для продукции, предназначенной как для коммерческого, так и бытового применения.

### 5.3.2 Вторичные меры

Если первичных мер недостаточно для достижения значительного уменьшения выбросов летучих органических соединений, или они неприменимы с технической точки зрения, можно использовать технологии доочистки, по отдельности или в сочетании друг с другом. Рассматриваемые технологии используют для уменьшения выбросов летучих органических соединений при реализации процессов и применении растворителей.

Различают следующие технологии:

- Технологии, основанные на разрушении летучих органических соединений, имеющихся в отработанных газах:
  - Рекуперативное или регенеративное термическое окисление,
  - Рекуперативное или регенеративное каталитическое окисление,
  - Биологическая деструкция.
  
- Технологии, позволяющие осуществить восстановление летучих органических соединений для повторного использования в процессе после специальной обработки, проводимой на месте или внешними компаниями:
  - Адсорбция активированным углем или цеолитовым субстратом,
  - Абсорбция в переработанных очистительных жидкостях (вода, тяжелое топливо),
  - Конденсация и низкотемпературная конденсация,
  - Мембранная сепарация, связанная с другими процессами, такими как низкотемпературная конденсация и адсорбция.

Процессы с использованием термического окисления могут обеспечить валоризацию энергоемкости летучих органических соединений. Тем не менее, в большинстве случаев валоризация затруднена вследствие наблюдаемой низкой концентрации летучих органических соединений. Необходима первичная регенерация тепловой энергии (например, для подогрева свежего заряда газа), но вторичная регенерация тепловой энергии часто является более сложной для внедрения на существующих установках. Концентрации летучих органических соединений должны быть достаточными для работы установки окисления без дополнительного потребления топлива и, следовательно, должны находиться в автотермальных условиях. При более низких концентрациях необходимо дополнительное потребление топлива, которое может быстро стать чрезмерно высоким.

**Рекуперативное или регенеративное термическое окисление.** При рекуперативном или регенеративном окислении происходит разрушение летучих органических соединений при высокой температуре. Температура окисления зависит от типа используемой системы регенерации энергии. В рекуперативной установке окисления используется теплообменник с подогревом для нагрева свежего заряда газов. Использование вторичного тепла находится в пределах от 60 до 70 %. Температура находится в диапазоне от 650 до 750°C. Система может быть автотермальной только при высоких концентрациях летучих органических соединений от 8 до 10 г/Нм<sup>3</sup>. Регенеративная установка термического окисления состоит из двух или трех керамических теплообменников. Отработанные газы, содержащие летучие органические соединения, проходят через первый керамический теплообменник. Там происходит их подогрев. Затем они поступают в камеру сгорания, где с помощью горелок температура поддерживается в пределах примерно от 800 до 900°C. Перед выбросом в атмосферу они выходят из установки окисления через другой керамический обменник, передавая свою тепловую энергию для повторного использования при предварительном нагреве в следующем цикле. Функция теплообменника, нагрев или охлаждение, периодически меняется. При этом можно получить эффективность использования тепла до 95%. Регенеративные установки термического окисления пригодны для использования в случае большого расхода отработанного газа, они могут быть автотермальными при концентрациях летучих органических соединений от 2 до 3 г/Нм<sup>3</sup>. При этом можно получить выходную концентрацию летучих органических соединений меньше 20 мг/Нм<sup>3</sup>. В концентрациях на выходе в значительном количестве присутствует метан.

**Рекуперативное или регенеративное каталитическое окисление.** При рекуперативном или регенеративном каталитическом окислении использование катализатора позволяет разрушить летучие органические соединения при более низкой температуре, чем необходимая для термического окисления. В список используемых катализаторов входят либо благородные металлы (платина, палладий или родий), либо оксиды металлов (Cr, Fe, Mo, Mn, Co, Cu, Ni). Принцип теплообмена аналогичен принципу, используемому при термическом окислении. Температуры окисления находятся в диапазоне от 200 до 500°C в зависимости от типа используемого катализатора и теплообменника. Рекуперативная каталитическая установка окисления может быть автотермальной при концентрациях в пределах от 3 до 4 г/Нм<sup>3</sup>. Регенеративная каталитическая установка окисления может быть автотермальной при концентрациях в пределах от 1 до 2 г/Нм<sup>3</sup>. Срок годности катализаторов ограничен. Срок годности катализаторов на базе оксидов металлов составляет примерно 12000 ч. Срок годности катализаторов на базе благородных металлов - ориентировочно от 15000 до 25000 ч. Катализаторы чувствительны к ядам, при воздействии некоторых из них может произойти необратимая деактивация катализаторов. Можно получить выходную концентрацию летучих органических соединений меньше 20 мг/Нм. В концентрациях на выходе в значительном количестве присутствует метан.

**Биологическая деструкция:** Процесс биологической деструкции можно выполнить в биофильтрах и биоскруберах. Микроорганизмы могут разрушать биоразлагаемые летучие органические соединения во влажной среде и при низкой температуре. Необходимо обеспечить охлаждение теплых отработанных газов (> 35°C). В биофильтрах микроорганизмы собирают на поверхности влажного органического субстрата, в качестве которого может использоваться торф, вереск или компост. В биоскруберах выполняется очистка влажного газа и биохимическое разложение. Микроорганизмы взвешены в воде для очистки. В биофильтрах время нахождения должно быть достаточным для обеспечения биологических реакций. Приемлемые концентрации летучих органических соединений являются достаточно низкими. Биологическое окисление, прежде всего, используется при низких концентрациях. При этом можно получить выходную концентрацию летучих органических соединений от 100 до 150 мг/Нм<sup>3</sup>. Тем не менее, гораздо сложнее добиться более низких концентраций.

**Адсорбция с использованием активированного угля или цеолитов.** В процессе адсорбции летучие органические соединения физически привязаны к поверхности среды, в качестве которой может использоваться активированный уголь или цеолиты. Адсорбционная способность активированного угля или цеолитов ограничена, и, следовательно, их необходимо реактивировать для восстановления их первоначальной способности адсорбировать и восстанавливать летучие органические соединения. Существуют некоторые конфигурации, но в большинстве случаев, адсорбционные устройства с неподвижным слоем используют с 2 или 3 слоями. Один слой находится в фазе адсорбции, а второй - десорбции. Десорбция проходит при высокой температуре с применением пара или инертного газа. Температура адсорбции должна быть менее 40°C, поскольку эффективность адсорбции увеличивается при низкой температуре. Свежий заряд газа следует впоследствии довести до кондиционного состояния. Летучие органические соединения восстанавливают после специальной обработки, предусматривающей конденсацию, сепарацию и дистилляцию при наличии нескольких летучих органических соединений. Эффективность снижения выбросов летучих органических соединений зависит от многих параметров, таких как температура адсорбции, тип и количество извлекаемых летучих органических соединений, установка периодичности десорбции. При этом можно получить выходную концентрацию летучих органических соединений от 50 до 100 мг/Нм<sup>3</sup>. Достижимая эффективность зависит от многочисленных факторов, например, правильного выбора размеров установки, периодичности и порогового значения десорбции...

**Конденсация и низкотемпературная конденсация:** При конденсации летучие органические соединения охлаждаются ниже температуры конденсации. Конденсация летучих органических соединений выполняется посредством охлаждения и/или создания давления. В качестве хладагента может использоваться холодная и охлажденная вода, охладители и жидкий азот. Можно применять различное оборудование для теплообмена. Конденсацию холодной, охлажденной водой или охладителями часто используют в качестве метода предварительной обработки, но подобные действия недостаточны для обеспечения эффективного уменьшения выбросов. При этом можно получить выходную концентрацию летучих органических соединений от 100 до 150 мг/Нм<sup>3</sup>. Достижимая эффективность зависит от многочисленных факторов, например, правильного выбора размеров установки, периодичности и порогового значения десорбции...

Жидкий азот используется при низкотемпературной конденсации (температура менее  $-160^{\circ}\text{C}$ ). Низкотемпературная конденсация представляет собой многосторонний процесс, нехарактерный для летучих органических соединений. Как правило, конденсация происходит при использовании жидкого азота в качестве охладителя при прямом процессе теплообмена. Конденсат летучих органических соединений в межтрубной зоне теплообменника затем направляется в сборный резервуар, из которого его можно повторно использовать, извлекать, восстанавливать для повторного использования или для утилизации. При конденсации наличие водных паров или летучих органических соединений с высокой температурой плавления может привести к появлению инея на внешней поверхности труб внутри низкотемпературного конденсатора. Предусмотрена особая конфигурация, позволяющая избежать указанной проблемы, и, в частности, использование группы конденсаторов с различными температурными уставками [8]. Низкотемпературную конденсацию наиболее целесообразно использовать при малом расходе отработанного газа и/или высокой концентрации летучих органических соединений. При этом можно получить выходную концентрацию летучих органических соединений от 50 до 100 мг/Нм<sup>3</sup>. Достижимая эффективность зависит от многочисленных факторов, например, правильного выбора размеров установки, летучести растворителей...

**Мембранная сепарация:** Концентрирование летучих органических соединений можно добиться за счет использования органических (ЛОС-проницаемых) избирательных мембран. Воздух и летучие органические соединения проникают через мембрану со скоростью, определяемой их относительной проницаемостью и разностью давлений на мембране. Мембраны, как правило, от 10 до 100 раз более проницаемы для летучих органических соединений, по сравнению с воздухом, в зависимости от конкретных характеристик летучих органических соединений. В зависимости от конструкции системы концентрацию летучих органических соединений на выходе мембраны можно увеличить от пяти до пятидесяти раз по сравнению с концентрацией потока на входе мембраны. Затем потоки концентрированного газа могут сжиматься и конденсироваться с использованием обычной технологии конденсации. Мембранную сепарацию нельзя использовать отдельно. После нее необходимо использование устройства очистки газа.

Выбор технологии регулирования зависит от различных параметров, таких как концентрация летучих органических соединений в неочищенном газе, объем газа, тип и состав летучих органических соединений, и т.д. Тем не менее, возможно пересечение областей применения. В данном случае наиболее подходящие технологии следует выбирать в зависимости от конкретной ситуации. Общие сведения о наиболее значимых параметрах для применения отдельных вторичных мер приведены в таблице 2. Общая эффективность вторичных мер в секторах, где используются растворители, по большей мере зависит от эффективности захвата для потоков отработанного газа с содержанием летучих органических соединений. Для неорганизованных выбросов захват является наиболее существенным фактором, влияющим на общий КПД системы.

**Таблица 6: общие сведения о наиболее значимых параметрах для применения вторичных мер**

	Каталитическое регенеративное окисление	Каталитическое регенеративное окисление	Каталитическое регенеративное окисление	Каталитическое регенеративное окисление
Диапазоны концентрации	Применимо для высоких концентраций от 5 до 20 г/Нм <sup>3</sup>	Применимо для низких концентраций от 2 до 10 г/Нм <sup>3</sup>	Применимо для низких концентраций от 2 до 10 г/Нм <sup>3</sup>	Применимо для очень низких концентраций С < 5 г/Нм <sup>3</sup>
Расход отработанного газа	от 1 000 до 30 000 Нм <sup>3</sup> /ч	от 10 000 до 200 000 Нм <sup>3</sup> /ч	от 1 000 до 30 000 Нм <sup>3</sup> /ч	от 10 000 до 100 000 Нм <sup>3</sup> /ч
Автотермальный порог	от 8 до 10 г/Нм <sup>3</sup>	от 2 до 3 г/Нм <sup>3</sup>	от 3 до 4 г/Нм <sup>3</sup>	от 1 до 2 г/Нм <sup>3</sup>
Характеристики летучих органических соединений (С eq)	< 20 мг/Нм <sup>3</sup>	< 20 мг/Нм <sup>3</sup>	< 20 мг/Нм <sup>3</sup>	< 20 мг/Нм <sup>3</sup>
NOx	< 100 мг/Нм <sup>3</sup>	< 50 мг/Нм <sup>3</sup>	< 50 мг/Нм <sup>3</sup>	< 50 мг/Нм <sup>3</sup>
CO	< 100 мг/Нм <sup>3</sup>	< 50 мг/Нм <sup>3</sup>	< 50 мг/Нм <sup>3</sup>	< 50 мг/Нм <sup>3</sup>
Ограничения при использовании	Низкая концентрация Наличие галогенизированных органических соединений; Энергопотребление в условиях, отличных от автотермальных.	Наличие галогенизированных органических соединений; Наличие твердых частиц;	Наличие галогенизированных органических соединений; Наличие каталитических ядов; Наличие твердых частиц; Риск высокой концентрации	Наличие галогенизированных органических соединений; Наличие каталитических ядов; Наличие твердых частиц; Риск высокой концентрации

	Биологическая деструкция:	Адсорбция с применением активированного угля	Абсорбция в тяжелом топливе	Низкотемпературная конденсация
Диапазоны концентрации	Применимо для очень низких концентраций С < 1-2 г/Нм <sup>3</sup>	С < 15 г/Нм <sup>3</sup>	С < 10-15 г/Нм <sup>3</sup>	С < 10 г/Нм <sup>3</sup>
Расход отработанного газа	от 1 000 до 100 000 Нм <sup>3</sup> /ч	от 1 000 до 100 000 Нм <sup>3</sup> /ч	от 1 000 до 100 000 Нм <sup>3</sup> /ч	от 1 000 до 5 000 Нм <sup>3</sup> /ч
Характеристики (С eq)	100 -150 мг/Нм <sup>3</sup>	от 50 до 100 мг/Нм <sup>3</sup>	от 50 до 100 мг/Нм <sup>3</sup>	от 50 до 100 мг/Нм <sup>3</sup>
Ограничения при использовании	небиоразлагаемые летучие органические соединения, Температура отработанного газа для переработки Непостоянный выброс летучих органических соединений неметанового ряда.	Количество летучих органических соединений Наличие твердых частиц; Наличие полимеризующихся соединений; Переработка восстановленных продуктов	Количество летучих органических соединений Способность к абсорбции летучих органических соединений ; Переработка восстановленных продуктов	Количество летучих органических соединений Высоколетучие соединения Влажность; Переработка восстановленных продуктов

## 5.4 Затраты

Оценка инвестиций и эксплуатационных расходов для вариантов/технологий уменьшения выбросов летучих органических соединений важна при выборе из широкого ассортимента мероприятий и, на макроэкономическом уровне, при разработке национальной и региональной стратегии регулирования выбросов. Следует учитывать, что конкретные цифры во многом зависят от таких факторов, как производительность установки, эффективность очистки, концентрации летучих органических соединений в неочищенном газе, типа технологии и выбора новой установки вместо модернизации. Указанные параметры, и, следовательно, сопутствующие расходы, а также получаемая иерархия мероприятий в зависимости от их стоимости, могут быть в высшей степени специфичными для конкретной ситуации, например, для случаев модернизации, поэтому не следует обобщать приведенные примеры.

Имеются в наличии документы EGTEI, где обобщается методология, используемая для оценки расходов на технологии обработки отработанного газа. Документы по окислению, адсорбции углем и биофильтрации можно найти на сайте: [http://citepa.org/forums/egtei/egtei\\_doc-VOC\\_abatement\\_tech.htm](http://citepa.org/forums/egtei/egtei_doc-VOC_abatement_tech.htm).

Инвестиции и эксплуатационные затраты зависят, в частности, от расхода и концентрации обрабатываемых летучих органических соединений. Расходы описаны в главе 7.

## 5.5 Побочные воздействия

Побочные воздействия технологий/вариантов уменьшения выбросов могут быть положительными или отрицательными, и их необходимо учитывать. Побочные воздействия, в большинстве случаев, можно ограничить за счет правильного проектирования и эксплуатации оборудования. Побочные воздействия включают в себя следующее:

- воздействие на энергопотребление и, следовательно, выбросы газов, создающих парниковый эффект,
- воздействие на другие атмосферные загрязнители,
- воздействие на использование природных ресурсов,
- воздействия на другие среды, например, отходы или воду.

Технология уменьшения выбросов	Положительные побочные воздействия	Отрицательные побочные воздействия
Окисление	Возможное сопутствующее устранение запахов	Энергопотребление и выбросы газов, создающих парниковый эффект, при условиях, отличных от автотермальных
Адсорбция	Возможное сопутствующее устранение запахов	Возможное увеличение энергопотребления при выработке пара
Низкотемпературная конденсация	Возможное сопутствующее устранение запахов	Потребление энергии для производства жидкого азота

## 5.6 Список литературы, использованной в главе 5

[1] Council Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations Official Journal L 085, 29/03/1999 P. 0001 - 0022

[2] Directive 2004/42/CE on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC

[3] US EPA - Protocol for equipment leak - Emission estimates  
EPA 453-95-017-1995

[4] CEN 2005. Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors. Measurement of fugitive emission of vapours generating from equipment and piping leaks - Draft standard № pr EN 15446 - Brussels - European comity of normalisation

[5] European Commission - reference document on BAT in surface treatment with solvent 2007

[6] European Commission - reference document on BAT in common waste water and waste gas treatment / management systems in the chemical sector - february 2003.

[7] REGULATION (EC) No 1272/2008 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006

[8] Joint Service Pollution Prevention and Sustainability Technical Library  
<http://205.153.241.230/topics/airpollution.html>

## 6 Общие вопросы, связанные с выбросами пыли

### 6.1 Общие вопросы, связанные с выбросами пыли

Понятие пыль или твердые частицы (ТЧ) относится к сложной смеси мелких или микроскопических частиц и капелек жидкости, взвешенных в воздухе. Размеры частиц пыли находятся в диапазоне от нескольких нанометров до 100 микрометров (мкм), пыль в зависимости от аэродинамического диаметра можно подразделить на следующие категории:

- очень крупные частицы с аэродинамическим диаметром более 10 мкм,
- крупные частицы с аэродинамическим диаметром от 2,5 до 10 мкм,
- мелкие частицы с аэродинамическим диаметром менее 2,5 мкм,
- ультрамелкие частицы с аэродинамическим диаметром менее 0,1 мкм, а более точно:
- Общее количество взвешенных частиц (ОВЧ) как сумма мелких, очень крупных и крупных частиц,  
ТЧ10: масса твердых частиц, измеряемая после их прохождения через входной канал с выбранным размером с 50% снижением эффективности при аэродинамическом диаметре 10 мкм,  
ТЧ2.5: масса твердых частиц, измеряемая после их прохождения через входной канал с выбранным размером с 50% снижением эффективности при аэродинамическом диаметре 2,5 мкм;
- ТЧ 1: масса твердых частиц, измеряемая после их прохождения через входной канал с выбранным размером с 50% снижением эффективности при аэродинамическом диаметре 1 мкм;

Кроме рассмотренной классификации по размеру осуществляется также разграничение категорий первичной и вторичной пыли в зависимости от ее происхождения. Первичная пыль включает в свой состав, в основном, несгоревшее топливо (углеводороды), элементарный углерод (сажа), сульфаты и минеральные соли, а также щелочи и тяжелые металлы [1]. Вторичные ТЧ формируются в среде веществ-предшественников аммиака, серной кислоты, азотной кислоты и органических продуктов окисления, относящихся к летучим органическим соединениям неметанового ряда [1].

Вдыхание пыли может оказать отрицательное воздействие на здоровье [2], например, вызвать астму, рак легких, сердечно-сосудистые проблемы и преждевременную смерть. Воздействие на здоровье зависит от размера частиц, поскольку крупные частицы могут отфильтровываться в носовой полости и горле. Частицы размером менее 10 мкм могут попадать в бронхи и легкие, частицы диаметром менее 2,5 мкм - в области, отвечающие за газообмен в тканях легкого, а частицы размером менее 0,1 мкм могут попасть через легкие в другие органы. Следовательно, возможное отрицательное воздействие на здоровье увеличивается по мере уменьшения диаметра частицы. Наряду с размером частицы химический состав, например, канцерогенные компоненты и растворимость частиц в легком, могут повлиять на здоровье. Предполагается, что воздействие на здоровье зависит от количества частиц меньшего размера, тогда как в большинстве измерений рассматривается масса частицы, которая, в общем случае, поглощается более крупными частицами в пределах класса крупности.

Более того, пыль образует дымку, которая влияет на дальность видимости и баланс излучения. Сажа и сульфатсодержащие аэрозоли оказывают охлаждающее воздействие на климат.

В случае с ТЧ имеется несколько природных и антропогенных источников с разными размерами и химическим составом выделяемой ими пыли. Причиной пылеобразования может стать следующее:

- механическая обработка твердых веществ (дробление, помол, обработка поверхности, шлифовка абразивом, и т.д.),
- химические и физические реакции (неполное сгорание, преобразование газа в твердые частицы, конденсация, отложение осадка и т.д.),
- воздействия на твердые вещества (ветровая эрозия, и т.д.)
- повторное взвешивание пыли (с дорог, отвалов и т.д.).

Опубликованные данные измерений, касающиеся доли ТЧ2.5 и ТЧ10 в отработанном газе, недостаточны и/или ограниченного качества. Следовательно, в данном документе представлены таблицы, в которых приведены рассчитанные доли, используемые в модели RAINS/GAINS.

Таблица 7: доли ТЧ2.5 и ТЧ10 в ОВЧ согласно модели RAINS (2002) [15]

Наименование сектора	Код (коды) RAINS	Единица измерения	ТЧ2.5	% ТЧ2.5	ТЧ10	%ТЧ10	ОВЧ
Уголь, грохоченый (в промышленности, неочищенный газ)				7%		20%	
Уголь, летучий (в промышленности, неочищенный газ)				5%		26%	
Бурый уголь, пылевидный (в промышленности, неочищенный газ)				10%		35%	
Каменный уголь, пылевидный (в промышленности, неочищенный газ)				6%		23%	
Полученный уголь (в промышленности, неочищенный газ)				45%		79%	
Биомасса (в промышленности, неочищенный газ)				77%		89%	
Отходы (в промышленности, неочищенный газ)				23%		38%	
Уголь, грохоченый (на энергетических станциях, неочищенный газ)				14%		37%	
Уголь, летучий (на энергетических станциях, неочищенный газ)				5%		26%	
Бурый уголь, пылевидный (на энергетических станциях, неочищенный газ)				10%		35%	
Каменный уголь, пылевидный (на энергетических станциях, неочищенный газ)				6%		23%	
Каменный уголь, для топок с жидким шлакоудалением (на энергетических станциях, неочищенный газ)				21%		23%	
Полученный уголь (на энергетических станциях, неочищенный газ)				45%		79%	
Биомасса (на энергетических станциях, неочищенный газ)				77%		89%	
Отходы (на энергетических станциях, неочищенный газ)				23%		38%	
Уголь, для печей и котлов (бытовых)				13%		90%	
Уголь, для крупных котлов (жилые помещения)				7%		20%	
Полученный уголь (жилые помещения)				45%		79%	
Биомасса, для печей и котлов (бытовых)				93%		96%	
Биомасса, для крупных котлов (жилые помещения)				77%		89%	
Отходы (жилые помещения)				60%		90%	
Камины, печи (сжигание дерева в Восточной Европе)	DOM_FPLACE, DOM_STOVE	кг/ГДж	0,279	93%	0,288	96%	0,3
Небольшие бытовые котлы (сжигание дерева в Восточной Европе)	DOM_SHB_M, DOM_SHB_A	кг/ГДж	0,093 - 0,23	37% - 92%	0,096 - 0,24	37% - 96%	0,1 - 0,25
Крупные котлы для жилых помещений (сжигание дерева в Восточной Европе)	DOM_MB_M, DOM_MB_A	кг/ГДж	0,077-0,15	39% - 75%	0,089 - 0,18	45% - 90%	0,1 -0,2
Промышленность (сжигание дерева в Восточной Европе)	PP_, IN_, CONV_COMB	кг/ГДж	0,185	77%	0,214	89%	0,24
Камины, печи (сжигание дерева в Западной Европе)	DOM_FPLACE, DOM_STOVE	кг/ГДж	0,067-0,186	34% - 93%	0,07- 0,192	35% - 96%	0,072 - 0,2
Небольшие бытовые котлы (сжигание дерева в Западной Европе)	DOM_SHB_M, DOM_SHB_A	кг/ГДж	0,06-0,167	33% - 93%	0,062 - 0,17	34% - 94%	0,065 - 0,18
Крупные котлы для жилых помещений (сжигание дерева в Западной Европе)	DOM_MB_M, DOM_MB_A	кг/ГДж	0,05-0,12	33% - 80%	0,06- 0,134	40% - 89%	0,065 - 0,15
Промышленность (сжигание дерева в Западной Европе)	PP_, IN_, CONV_COMB	кг/ГДж	0,185	77%	0,214	89%	0,24

Таблица 7: доли ТЧ2.5 и ТЧ10 в ОВЧ согласно модели RAINS (2002) [15]

Наименование сектора	Код (коды) RAINS	Единица измерения	ТЧ2.5	% ТЧ2.5	ТЧ10	%ТЧ10	ОВЧ
Энергетические станции (стационарное сжигание тяжелого нефтяного топлива)	PP_NEW, PP_EX	кг/ГДж	0,0093	60%	0,0132	85%	0,0155
Преобразование (стационарное сжигание тяжелого нефтяного топлива)	CON_COMB	кг/ГДж	0,0117	60%	0,0166	85%	0,0195
Промышленность (стационарное сжигание тяжелого нефтяного топлива)	IN_BO, IN_OC	кг/ГДж	0,0104	60%	0,0147	85%	0,0173
Жилые помещения (стационарное сжигание тяжелого нефтяного топлива)	DOM	кг/ГДж	0,0095	25%	0,0247	65%	0,038
Энергетические станции (стационарное сжигание легкого дистиллятного топлива), новые	PP_NEW	кг/ГДж	0,0004	18%	0,0011	50%	0,0022
Энергетические станции (стационарное сжигание легкого дистиллятного топлива), существующие	PP_EX	кг/ГДж	0,0007	19%	0,0018	50%	0,0036
Преобразование (стационарное сжигание легкого дистиллятного топлива)	CON_COMB	кг/ГДж	0,0004	11%	0,0018	50%	0,0036
Промышленность (стационарное сжигание легкого дистиллятного топлива)	IN_BO, IN_OC	кг/ГДж	0,0003	14%	0,0011	50%	0,0022
Жилые помещения (стационарное сжигание легкого дистиллятного топлива)	DOM	кг/ГДж	0,0007	41%	0,0009	53%	0,0017
Энергетические станции (стационарное сжигание природного газа)	PP_NEW, PP_EX	кг/ГДж	0,0001	100%	0,0001	100%	0,0001
Преобразование (стационарное сжигание природного газа)	CON_COMB	кг/ГДж	0,0001	100%	0,0001	100%	0,0001
Промышленность (стационарное сжигание природного газа)	IN_BO, IN_OC	кг/ГДж	0,0001	100%	0,0001	100%	0,0001
Жилые помещения (стационарное сжигание природного газа)	DOM	кг/ГДж	0,00003 - 0,0002	100%	0,0000 3- 0,0002	100%	0,0000 3- 0,0002
Производство кокса	PR_COKE	кг/т	1,9971	40%	3,3618	68%	4,976
Процессы получения агломерата	PR_SINT	кг/т агломерата	0,557	7%	1,285	15%	8,563
Производство агломерата, несистематические выбросы в атмосферу	PR_SINT_F	кг/т агломерата	0,104	7%	0,24	15%	1,6
Установка для окомкования	PR_PELL	кг/т гранул	0,03	100%	0,03	100%	0,03
Производство чугуна в чушках	PR_PIGI	кг/т чугуна в чушках	0,15	10%	0,24	16%	1,48
Производство чугуна в чушках (несистематические выбросы в атмосферу)	PR_PIGI_F	кг/т чугуна в чушках	0,15	6%	0,25	10%	2,5
Мартеновская печь	PR_HEARTH	кг/т стали	6,33	60%	8,76	83%	10,55
Основные сталеплавильные печи с подачей кислорода	PR_BAOX	кг/т стали	10,45	50%	14,63	70%	20,9
Электродуговая печь	PR_EARC	кг/т стали	7,55	43%	10,18	58%	17,55
Чугунолитейные заводы	PR_CAST	кг/т железа	10,68	71%	13,55	90%	15,05
Чугунолитейные заводы (несистематические выбросы в атмосферу)	PR_CAST_F	кг/т железа	1,38	24%	2,82	49%	5,75
Производство алюминия (первичное)	PR_ALPRIM	кг/т алюминия	18,5	39%	27,26	58%	47
Производство алюминия (вторичное)	PR_ALSEC	кг/т алюминия	5,195	44%	6,93	58%	11,9
Другие цветные металлы	PR_OT_NFME	кг/т металла	12,3	82%	13,8	92%	15
Производство цемента	PR_CEM	кг/т цемента	23,4	18%	54,6	42%	130
Производство извести	PR_LIME	кг/т извести	1,4	1%	12	12%	100
Переработка нефти (нефтеперерабатывающие заводы)	PR_REF	кг/т неочищенной нефти	0,096	79%	0,12	98%	0,122
Производство удобрений	PR_FERT	кг/т	18	36%	30	60%	50
Производство углеродной сажи	PR_CBLACK	кг/т	1,44	81%	1,6	90%	1,78
Производство стекла	PR_GLASS	кг/т стекла	2,96	91%	3,09	95%	3,25
Другие производства (ПВХ, сульфат кальция, стекловолокно)	PR_OTHER	кг/т продукта	0,5-8	3%-46%	2-15	11%-86%	5-17,5



Следовательно, основными стационарными источниками выбросов пыли являются процессы сгорания, в частности, угля, нефтяного топлива и биомассы, а также черного щелока в бумажной промышленности, промышленные процессы, такие как агломерирование, производство цемента и т.д., а также хранение, обращение и механическая обработка материалов.

Для уменьшения образования пыли и ее выбросов применяют различные типы мероприятий, таких как оптимизация энергосбережения (см. главу 2.2), переход на другие виды топлива, очистка топлива, улучшение обращения с материалами, а также меры сокращения выбросов. Для достижения максимально возможного уменьшения выбросов пыли в дополнение к мерам по регулированию потребления энергии следует учитывать возможность применения сочетания различных мероприятий. Для выявления наилучшего сочетания мероприятий необходимо произвести оценку на месте.

## **6.2 Переход на другие виды топлива**

Переход на другие виды топлива является существенным вариантом уменьшения выбросов пыли при сгорании, но зависит от условий конкретной страны, таких как инфраструктура и энергетическая политика. В общем случае, выбросы пыли уменьшаются, если используемое топливо обеспечивает более равномерное сгорание, содержит меньше серы и пепла, но больше водорода. Следовательно, сжигание природного газа, в общем случае, ассоциируется с низким уровнем выбросов, а значительные выбросы пыли возникают при сжигании нефтяного топлива, биомассы и угля, если не применяются меры по уменьшению выбросов. Выбор вида топлива может также воздействовать на другие выбросы, например, серы, NOx и газов, создающих парниковый эффект, а также на применимость и потребность в мероприятиях по уменьшению выбросов.

## **6.3 Очистка топлива**

Очистку топлива необходимо выполнять для угля и нефтяного топлива.

Типовые технологии очистки угля основаны на гравитационной сепарации пепла и соединений серы с использованием приспособлений, ванн тяжелой среды, циклонов или флотационного обогащения молотого угля. При том, что от 60 до 90% и от 85 до 98% теплоты сгорания угля сохраняется, золоудаление может достигать 60%, а общая десульфуризация от 10 до 40%. Золоудаление и десульфуризация способствуют уменьшению выбросов пыли. Десульфуризация увеличивается в зависимости от содержания серного колчедана в угле [4]. Передовые технологии, главным образом, основаны на следующем:

- современная физическая очистка (современная пенная флотация, электростатическая очистка, циклонирование тяжелых жидкостей),
- предварительная обработка водной фазы (биообработка, гидротермическая обработка, ионный обмен),
- выборочная агломерация (Otisca, LICADO, сферическая агломерация Aglofloat (агломерация/флотационное обогащение),
- предварительная обработка органической фазы (деполимеризация, алкилирование, набухание в растворителе, добавление катализатора (например, карбонил), удаление органической серы).

Рассмотренные передовые технологии очистки угля находятся на стадии разработки или демонстрации [4]. Помимо уменьшения выбросов серы и пыли, отмеченные преимущества включают в себя снижение транспортных расходов, если очистка угля выполняется непосредственно рядом с шахтой, большую доступность котла, меньшее образование шлака и накипи на стенках котла, меньший износ оборудования, меньшее содержание пыли. Недостатками являются потери энергии при очистке (2-15%), затраты энергии для процессов и повышенное количество влаги в угле при использовании процессов на водной основе [4].

Очистка нефтяного топлива является общепринятой практикой получения топлива с низким содержанием серы, которое, например, требуется в ЕС согласно Директиве 1999/32/ЕС (тяжелое нефтяное топливо и легкое дистиллятное топливо менее 1%, соотв. 0,1% веса). Десульфуризация уменьшает выбросы пыли с содержанием серы.

## **6.4 Первичные меры**

### ***Выгрузка, обращение с твердыми веществами и их хранение***

При выгрузке, хранении и обращении, например, погрузке твердых веществ могут возникнуть выбросы пыли. В общем, размер частицы пыли, образующейся при выгрузке, хранении и обращении с твердыми веществами больше, чем пыли, появляющейся, например, при сгорании. Использование замкнутых или закрытых систем, например, закрытые бесперебойные транспортные системы, и уменьшение высоты падения может сократить выбросы пыли при выгрузке и обращении [3]. Подходы для сведения к минимуму выбросов пыли из хранилища можно подразделить на первичные меры, которые снижают выбросы, и вторичные меры, целью которых является ограничение распространения пыли [2]. Первичные меры далее можно подразделить на организационные, конструкционные и технические мероприятия. Технические первичные меры включают в себя защиту от ветровой эрозии, организацию укрытий или предупреждение хранения вне помещения, и обеспечение увлажнения при

хранении вне помещения, например, за счет использования спринклерных систем. Вторичные меры предусматривают распыление, водяные завесы и струйное орошение, а также установку фильтров, например, в бункерах [2]. Распыление воды также представляет собой мероприятие для уменьшения выбросов пыли со строительных площадок.

### **Захват выбросов**

Предпосылкой для последующего уменьшения выбросов пыли является улавливание неорганизованных выбросов пыли, например, в чугуно- и сталелитейной промышленности, и сброс в системы регулирования выбросов пыли.

### **Технология и оптимизация сгорания**

Бесперебойное, постоянное и полное сгорание обеспечивает уменьшение выбросов пыли. Оптимизация подачи воздуха, смешивание топлива и воздуха, а также проектирование горелки/котла уменьшает образование сажи и других веществ, появляющихся в результате неполного сгорания. Следовательно, надлежащая эксплуатация котлов наряду с использованием новых, более эффективных котлов и печей, в особенности в жилом и коммерческом секторах, может сократить выбросы пыли. Благодаря этому можно значительно уменьшить выбросы пыли из деревянных печей. Переход от периодической к постоянной загрузке котлов обеспечивает лучшее регулирование сгорания и уменьшение выбросов пыли. Первичные меры для уменьшения выбросов NOx, тем не менее, могут увеличить образование сажи (см. главу 4). Снижение температуры сгорания уменьшает удаление летучего пепла. Предполагается использовать топливные присадки и сорбенты для уменьшения образования мелких частиц и содержания металла в мелких частицах. При использовании комплексных установок газификации с комбинированным циклом (КУГКЦ) газификация топлива происходит в условиях восстановления до синтетического газа. Затем происходит очистка синтетического газа и сжигание в воздухе или кислороде. Это обеспечивает достижение крайне низких уровней выбросов пыли. КУГКЦ рассматривается как одна из нескольких ключевых технологий захвата и хранения продуктов сгорания (ЗХПС). До настоящего времени применение данной технологии ограничивалось несколькими, по большей части демонстрационными установками. При применении ЗХПС КУГКЦ может появиться на рынке примерно в 2020 г [5].

## **6.5 Вторичные меры**

Вторичные меры (технологии доочистки и природоохранные технологии в конце производственного цикла) уменьшают выбросы твердых частиц, уже содержащихся в дымовом газе. В основе вторичных мер лежат несколько основных принципов:

- инерция частиц,
- просев и адсорбция,
- электростатический заряд частиц и последующее пылеулавливание электрофильтром с использованием электрического поля,
- очистка.

Преимущественно, используются перечисленные ниже вторичные меры<sup>1</sup>, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки:

- **Камера гравитационного осаждения:** В камерах гравитационного осаждения скорость потока воздуха уменьшается до такой степени, что крупные частицы опускаются вниз и осаждаются. Камеры гравитационного осаждения пригодны только для удаления наиболее крупных частиц в рамках "предварительной очистки". Минимальный размер частицы, удаляемой в камерах гравитационного осаждения, составляет >20 мкм [1].
- **Циклоны:** В циклонах инерция частиц используется для удаления пыли. В циклоне дымовой газ принудительно приводится (обычно, посредством конусообразной камеры) в круговое движение, когда частицы за счет инерции прижимаются к стенкам циклона, где и происходит их улавливание. Эффективность улавливания, в большей степени, зависит от размера частицы и увеличивается по мере возрастания нагрузки загрязняющим веществом. Для стандартных отдельных циклонов данная величина ориентировочно равна 70-90% для ОВЧ, 30-90% для ТЧ10 и 0-40% для ТЧ2.5 [6]. Минимальный размер частицы, удаляемой циклонами, составляет 5-25 мкм и 5 мкм в мультициклонах [1]. Следовательно, стандартные циклоны обозначают как "установки предварительной очистки". Стандартные циклоны сами по себе не являются НДТ для промышленных установок, но могут стать приемлемым вариантом уменьшения выбросов пыли из небольших установок сжигания, например, в домашних хозяйствах или в коммерческом секторе. Разработаны циклоны высокой эффективности, удаляющие 60-95% ТЧ10 и 20-70% ТЧ2.5, но за счет значительного падения давления, в результате чего повышаются затраты на энергообеспечение и, следовательно, эксплуатационные расходы [6]. Основной проблемой при достижении высокой эффективности удаления в циклонах является падение давления. Циклоны с высокой производственной мощностью рассчитаны на удаление только фракций более крупных частиц пыли за счет небольшого падения давления. В мультициклонах много небольших циклонов работают параллельно, обеспечивая ту же эффективность удаления, что и циклоны высокой производительности,

<sup>1</sup> Приведенные далее технические данные, в основном, относятся к котельным установкам

или выше (см. [6]). Применение циклонов в качестве установок предварительной очистки для удаления абразивных частиц может увеличить срок эксплуатации другого оборудования для снижения выбросов. Циклоны также используются для восстановления рециркулирующих продуктов, обрабатываемых материалов и т.д. из дымового газа, например, в промышленности черных и цветных металлов. Преимуществами циклонов являются: небольшие инвестиции, низкие эксплуатационные расходы и затраты на техническое обслуживание относительно количества удаляемых ТЧ, температура и диапазон давления ограничены только материалом, сбором сухого материала, относительно небольшого по размеру. К недостаткам относятся малая эффективность удаления мелких ТЧ (либо, значительное падение давления) и невозможность использования липких материалов.

- **Электрофильтр (ЭФ):** Принцип, лежащий в основе использования ЭФ, предусматривает электростатический заряд частиц дымового газа при их прохождении через область газовых ионов (корона), создаваемых электродами при высоком напряжении (примерно от 20 до 100 кВ). Заряженные частицы затем перенаправляются в электрическое поле и оседают на стенках коллектора. Поскольку более крупные частицы поглощают больше ионов, чем частицы меньшего размера, эффективность удаления посредством ЭФ выше для более крупных частиц. Новые ЭФ, как правило, обеспечивают эффективность удаления ТЧ от 99 до более чем 99,99% в диапазоне от 0,01 до >100 мкм, ЭФ старого типа - от 90 до 99,9% [1], [7], [8]. Минимальный размер частицы, удаляемой ЭФ, составляет <1 мкм [1]. Эффективность удаления наименее низкая для частиц диаметром от 0,1 до 1 мкм. Эффективность зависит от размера ЭФ (область сбора), но также от удельного сопротивления пыли, температуры, химического состава пыли и газа, а также распределения частиц по размерам. Пыль в коллекторах можно удалять сухим или влажным методом за счет распыления воды (сухой или мокрый ЭФ). Сухие ЭФ используются наиболее часто, поскольку с пылью, собранной сухим способом, легче работать, чем с жидкой массой, для которой необходима последующая обработка. Для мокрых ЭФ необходимы коррозионно-стойкие материалы. Тем не менее, удаление частиц с крайне низким или высоким удельным сопротивлением сложно осуществлять посредством сухих ЭФ, а мокрые ЭФ также могут собирать частицы с высоким удельным сопротивлением, а также липкие частицы, водяную или взрывоопасную пыль. Мокрые ЭФ обеспечивают также более высокую эффективность удаления частиц меньшего размера. Ввод кондиционирующих газов, жидкостей или твердых веществ, в особенности, воды и SO<sub>3</sub>, может повысить эффективность удаления [1]. Преимуществами применения ЭФ, в общем случае, являются крайне малое падение давления, отличная эффективность удаления пыли (но менее выраженная для мелких частиц), низкие эксплуатационные расходы, а также широкий диапазон вариантов применения (липкие, раскаленные частицы, частицы с высоким удельным сопротивлением (мокрые ЭФ), водяная пыль, кислоты, аммиак, взрывоопасные газы (мокрые ЭФ)) [1], [7], [8]. К недостаткам относятся большие капиталовложения, высокая потребность в площади, образование озона вследствие высокого напряжения, потребность в специализированном персонале, допущенном к высоковольтным работам, и ограниченная применимость в случае изменяющихся условий использования (расход, температура, содержание пыли, состав пыли), а также необходимость в последующей обработке жидкой массы (мокрые ЭФ), но при этом можно получить практически полностью замкнутые водяные контуры [1], [7], [8].
- **Тканевый фильтр (ТФ):** В ТФ дымовые газы проходят через проницаемую ткань, где происходит отсеивание или адсорбция более крупных частиц. Фильтрат из собранных частиц способствует дальнейшему сбору частиц. Поскольку падение давления возрастает по мере увеличения толщины фильтрата, тканевый фильтр необходимо периодически очищать. Применяются три основных механизма очистки: фильтры с импульсной очисткой, очистка которых выполняется импульсной подачей сжатого воздуха с другой стороны, сотрясательными механизмами и обратным потоком газа. Фильтры с импульсной очисткой в настоящее время являются наиболее часто используемым типом, поскольку для них требуется меньше места, они дешевле и применимы при более высоком содержании пыли, а также вызывают постоянное падение давления [1], [9], [10]. Эффективность удаления составляет от 99 до 99,99% для новых и от 95 до 99,9% для старых установок [1], [9], [10] и зависит от скорости фильтрации, характеристик частиц и ткани, а также применяемого механизма очистки. ТФ, в частности, рассчитаны на удаление тонкой и тончайшей пыли. Кондиционирование дымового газа с использованием, в основном, элементарной серы, аммиака и SO<sub>3</sub> применяется для получения более высокой скорости удаления, уменьшения падения давления и снижения вторичного уноса частиц [1]. Новые разработки включают в себя добавление активированного угля или извести для выполнения реакций в фильтрате, а также каталитическом материале фильтра [1]. Температура дымового газа зависит от используемого материала фильтра и температуры конденсации дымового газа, и, в общем случае, находится в пределах 120-180°C [1]. Преимуществами ТФ являются крайне низкие уровни выбросов, вплоть до ультрамелких частиц (в зависимости от типа ткани), не зависящие от содержания пыли, расхода (например, при пуске) и типа пыли (например, удельного сопротивления), относительно малые инвестиции, простота эксплуатации и, в общем случае, отсутствие проблем коррозии. К недостаткам относятся относительно высокая стоимость технического обслуживания и эксплуатационные расходы вследствие замены фильтровальных мешков (срок эксплуатации зависит от температуры и пыли) и падение давления, в частности, существуют ограничения по применимости во влажной среде и для гигроскопичных, раскаленных и липких частиц, а также для кислот, аммиака и взрывоопасных газов [1], [9], [10]. Крупные частицы необходимо предварительно удалить [1]. При отказе необходим сброс по обходной линии.
- **Мокрый очиститель:** При добавлении воды в поток дымового газа образуются капли воды, формирующие вместе с пылью жидкую массу. Очистители, в основном, используют для удаления SO<sub>x</sub>, но они также улавливают пыль. Эффективность удаления составляет до 80% для оросительных колонн, а также динамических и коллизионных очистителей, и вплоть до 99% для скрубберов Вентури [1]. Минимальный размер частицы, удаляемой

оросительными колоннами, составляет >10 мкм, а динамическими и коллизионными очистителями > 2,5 мкм, скрубберами Вентури >0,5 мкм. Преимуществами использования мокрых очистителей является одновременное удаление SOx и пыли (и даже других загрязнителей, таких как хлорид водорода и фторводород), малая необходимость в техническом обслуживании, достаточно высокая эффективность удаления (в особенности, для скрубберов Вентури), небольшие ограничения по применению (колебания расхода, горячие или холодные, влажные и коррозионноактивные газы, водная пыль некритичны) и сниженная опасность взрыва пыли. Недостатками является образование отходов (жидкая масса), высокая стоимость технического обслуживания вследствие потенциально значительного падения давления, проблем коррозии и достаточной высокой эффективности удаления очень мелких частиц [1].

- Другие технологии регулирования выбросов пыли включают в себя:
- **технологии СОНРАС™ и ТОХЕСОН™**: СОНРАС™ (Компактный гибридный коллектор твердых частиц) и ТОХЕСОН™ представляют собой технологии регулирования выбросов нескольких загрязнителей - ртути, диоксинов, но также других загрязнителей, включая мелкие частицы, указанные технологии разработаны и применяются в США. При использовании СОНРАС™ ТФ устанавливают после существующего ЭФ. Поскольку ЭФ удаляют большую часть пыли, скорость фильтрации посредством ТФ можно существенно повысить при сохранении допустимого падения давления [11]. В результате использования ЭФ может возникнуть агломерация очень мелких частиц, которые затем удаляются с помощью ТФ. ТОХЕСОН™ предусматривает ввод сухого сорбента, такого как активированный уголь, между ЭФ и ТФ.
- **Агломератор Indigo**: Агломератор Indigo образует крупные агломерированные частицы за счет присоединения мелких частиц к более крупным. Агломерированные частицы можно легко удалить с использованием стандартных технологий, таких как ЭФ. Указанная технология также позволяет сократить выбросы ртути [12].

Итак, существуют многочисленные меры для уменьшения выбросов пыли. Некоторые из них, например, циклоны, могут уменьшить содержание очень крупных частиц и, в некоторой степени, также крупных частиц, но значительно менее эффективны для мелких фракций пыли. У тканевых пылевых фильтров для мелких и субмикронных частиц эффективность удаления очень высока (до 99,99% и более). Высокоэффективные ЭФ, в частности, мокрые ЭФ, а также скрубберы Вентури, могут также обеспечить относительно высокую эффективность удаления от 95% до 99% для данного класса размеров. Развивающиеся технологии, такие как агломератор Indigo, могут способствовать повышению эффективности ЭФ для мелких частиц за счет увеличения размера частицы.

Тем не менее, при сравнении технологий удаления следует учитывать характеристики пыли и дымового газа, а также другие параметры, такие как содержание пыли, расход, колебания, поскольку данные факторы могут в значительной степени повлиять как на общую эффективность удаления частиц, так и на эффективность в зависимости от их размера. Более того, скорость удаления существенно зависит от конкретной конструкции пылесборника, например, от выбранного материала фильтра и размеров ЭФ, а также от инвестиций и эксплуатационных расходов.

**Таблица 8: Эффективность удаления пыли при применении мероприятий по уменьшению выбросов пыли для частиц различных размеров для котельных установок**

Категория	Тип	Подтип	Эффективность удаления [%]							
			субмикронные <1 мкм	мелкие		крупные		очень крупные >10 мкм		
				0-2,5 мкм	2,5-6 мкм	6-10 мкм	2,5-10 мкм			
				RAINS*	US EPA**	RAINS**	US EPA**		RAINS**	RAINS**
Гравитационный и центробежный коллектор	Гравитационный коллектор	высокая эффективность		3,6		5	6			
		средняя эффективность		2,9		4	4,8			
		низкая эффективность		1,5		3,2	3,7			
	Центробежный коллектор	высокая эффективность		80		95	95			
		средняя эффективность		50		75	85			
		низкая эффективность		10		35	50			
Циклон	Отдельно взятый циклон			10		35	50			
	Составной циклон без повторного ввода зольной пыли			80		95	95			
	Составной циклон с повторным вводом зольной пыли			50		75	85			
	Циклон/составной циклон (не указанный)		11		30			70	90	
	Мокрый циклонный золоуловитель			50		75	85			
Эф	Эф	высокая эффективность	98,6	95	99	99	99,5	99,9	99,95	
		средняя эффективность (не указано)	95,4		96			99	99,9	
	Эф	низкая эффективность (не указано)	91,96		93			95	97	
	Мокрый Эф	Эф: котлы	средняя эффективность		50		80	94		
			низкая эффективность		40		70	90		
	Эф: остальное оборудование, кроме котлов	средняя эффективность		80		90	97			
		низкая эффективность		70		80	90			
	Тканевый фильтр	Тканевый фильтр	высокая температура		99		99,5	99,5		
средняя температура				99		99,5	99,5			
низкая температура			99,99	99	99	99,5	99,5	99,9	99,98	
Очиститель	Оросительная колонна			20		80	90			
	Мокрый очиститель	высокая эффективность	95	90	96	95	99	99	99,5	
		средняя эффективность		25		85	95			
		низкая эффективность		20		80	90			
Скруббер Вентури			90		95	99				
Прочее	Сопутствующий процесс			1,5		3,2	3,7			
	Улавливание пыли за счет распыления воды			40		65	90			
	Улавливание пыли химическим стабилизатором или увлажнителем			40		65	90			
	Водная завеса			10		45	90			
	Правильные методы производства работ: производственные процессы (неорганизованные выбросы)	этап 1	20		10			15	20	
		этап 2	65,33		30			50	75	

\* Kupiainen, K. & Z. Klimont (2004) Primary emissions of submicron and carbonaceous particles in Europe and the potential for their control. - NASA Interim Report IR-04-079, 122 pp.  
 \*\* Klimont, Z. J. Cofala, I. Bertok, M. Amann, C Heyes & F. Gyrfas (2002): Modelling Particulate Emissions in Europe. - NASA Interim Report IR-02-076, 179 pp.  
 \*\*\* US EPA (1996): AP 42, Volume I, Fifth Edition, Appendix B.2 Generalized Particle Size Distributions

Выбор наиболее подходящих мероприятий зависит от многих факторов, связанных, например, со следующим:

- характеристики дымового газа (концентрация и характеристики пыли, такие как распределение частиц по размерам, удельное сопротивление, температура, влажность, наличие других загрязнителей, например, кислот, SOx, и т.д.),
- расход и колебания дымового газа,
- режим работы установки,
- характеристики промышленных процессов,
- новая или модернизированная установка, например, имеющееся пространство,
- требуемые уровни выбросов,
- побочные воздействия и воздействия на другие среды,
- эксплуатационная безопасность и надежность,
- характеристики площадки,
- затраты.

## **6.6 Затраты на реализацию технологий уменьшения выбросов пыли**

Затраты являются важным фактором при выборе технологий уменьшения выбросов ТЧ. Значимыми считаются следующие затраты [13]:

- условная налоговая скидка на амортизацию и условно начисленный процент,
- трудовые затраты,
- расходы на вспомогательные и эксплуатационные материалы,
- затраты энергии,
- затраты на техническое обслуживание и ремонт, расходы на мониторинг, внешние услуги,
- налоги, налог на загрязнение окружающей среды (например, плата за сброс неочищенных сточных вод), сборы, счета за коммунальные услуги.

В общем, повышение затрат в данном случае меньше, чем возможности, предоставляемые технологиями уменьшения выбросов, благодаря чему более крупные установки часто становятся более рентабельными. Нередко возможна модернизация существующих установок, но при этом повышаются затраты.

При использовании ЭФ инвестиции относительно высоки, в то время как расходы на техническое обслуживание и эксплуатационные расходы относительно низкие, в частности, благодаря малому падению давления. К другим расходам относятся потребность в специализированном персонале, допущенном к высоковольтным работам, а для мокрых ЭФ - расходы на переработку жидкой массы.

Для тканевых фильтров инвестиции меньше, но расходы на техническое обслуживание и эксплуатационные расходы выше, чем для тканей, которые необходимо регулярно заменять (в зависимости от характеристик дымового газа и пыли), а падение давления находится в диапазоне от среднего до высокого.

## **6.7 Побочные воздействия**

Побочные воздействия технологий/вариантов уменьшения выбросов могут быть положительными или отрицательными, и их необходимо учитывать. Побочные воздействия, в большинстве случаев, можно ограничить за счет правильного проектирования и эксплуатации технических средств. Побочные воздействия включают в себя следующее:

- воздействие на энергопотребление и, следовательно, выбросы газов, создающих парниковый эффект,
- воздействие на другие атмосферные загрязнители,
- воздействие на использование природных ресурсов,
- воздействия на другие среды, например, отходы или воду.

Основное побочное воздействие уменьшения выбросов пыли включает в себя одновременное уменьшение содержания тяжелых металлов (за исключением ртути) [14]. В зависимости от характеристик и химического состава уловленную пыль можно использовать повторно, например, в чугуно- и сталелитейной промышленности, или утилизировать.

Точнее говоря, побочные воздействия, которые следует учитывать при использовании различных технологий уменьшения выбросов ТЧ, перечислены далее:

**Электростатический фильтр (ЭФ):** При использовании ЭФ основным побочным воздействием является энергопотребление для создания короны и электрического поля. Тем не менее, поскольку при использовании ЭФ падение давления небольшое, суммарное энергопотребление значительно ниже, чем в ТФ, где необходимо компенсировать значительное падение давления. Для мокрых ЭФ необходима переработка жидкой массы, но рециркуляция воды достигает практически 100%, что снижает потребление отходов. Поскольку у ЭФ значительно более низкая эффективность удаления при размере частиц от 0,1 до 1 мкм, ЭФ удаляет гораздо меньше тяжелых металлов, чем ТФ.

**Тканевые фильтры (ТФ):** Ткань следует заменять через каждые 2-4 года (срок эксплуатации зависит от различных факторов), утилизируя ее, если повторная переработка ткани невозможна. Падение давления в ТФ следует компенсировать за счет подкачки, приводящей к дополнительному энергопотреблению. Поскольку ТФ также крайне эффективны при удалении мелких частиц, они тоже надежно уменьшают выбросы тяжелых металлов, которые содержатся в частицах пыли субмикрометрического размера в дымовых газах.

## **6.8 Список литературы, использованной в главе 6**

- [1] Ohlstrom, M., J. Jokiniemi, J. Hokkinen, P. Makkonen, and J. Tissari (2006): Combating particulate emissions in energy generation and industry. Views and conclusions of the FINE Particles - Technology, Environment and Health Technology Programme, VTT Technical Research Centre of Finland.
- [2] Storage BREF (2006): Reference Document on Best Available Techniques for Emissions from Storage. - European Commission, 460 pp.
- [3] LCP BREF (2006): Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. - European Commission, 618 pp.
- [4] Worldbank: Coal Cleaning, <http://www.worldbank.org/html/fpd/em/power/EA/mitigatn/aqsocc.stm>, accessed 27.09.2008.
- [5] Results of work of the EGTEI expert sub-group on Emerging Technologies/Techniques. Report by the Chair of the Expert sub-group on Emerging Technologies/Techniques to the Working Group on Strategies and Review - 1 - 5 September 2008.
- [6] US EPA: EPA-CICA Air Pollution Technology Fact Sheet "Cyclones".
- [7] US EPA: EPA-CICA Air Pollution Technology Fact Sheet "Wet Electrostatic Precipitator (ЭФ) -Wire-Pipe Type".
- [8] US EPA: EPA-CICA Air Pollution Technology Fact Sheet "Dry Electrostatic Precipitator (ЭФ) -Wire-Plate Type".
- [9] US EPA: EPA-CICA Air Pollution Technology Fact Sheet "Fabric Filter, Pulse-Jet Cleaned Type".
- [10] US EPA: EPA-CICA Air Pollution Technology Fact Sheet "Fabric Filter, Mechanical Shaker Cleaned Type".
- [11] Miller, R., R. Chang & C.J. Bustard (2003): Effective use of both COHPACT™ and TOXECON™ technologies as the "Technology of the future" for particulate and mercury control on coal-fired boilers. - Text prepared for 2003 International Power-Gen Conference, Las Vegas, U.S.A.
- [12] Truce, R. (2008): Enhanced fine particle and mercury emission control using the Indigo Agglomerator. - VGB powertech 88, 95-101.
- [13] VDI 3800, Determination of costs for industrial environmental protection measures. Verein Deutscher Ingenieure, 2001.
- [14] Kraus, K., S. Wenzel, G. Howland, U. Kutschera, S. Hlawiczka, A. P. Weem and C French (2006): Assessment of technological developments: Best available techniques (BAT) and limit values. Submitted to the Task Force on Heavy Metals, UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.

## **7 Имеющиеся технологии для различных вариантов деятельности**

---



## **7.1 Установки сжигания мощностью < 1 МВт в комплекте с установкой бытового сжигания**

### **7.1.1 Объем рассматриваемой информации**

Бытовое сжигание может стать важным источником выбросов NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, летучих органических соединений и пыли в зависимости от типа используемого топлива. В данной главе рассмотрены бытовые устройства, используемые для отопления и подогрева воды для коммунально-бытового водоснабжения. Далее рассмотрены установки с эффективной тепловой мощностью < 350 МВт.

### **7.1.2 Технологии сжигания**

В устройствах для бытового сжигания необходимо использовать различные виды топлива, например: природный газ, нефтяное топливо, дерево и уголь. В рассматриваемых устройствах можно использовать сочетание различных технологий для горелок и котлов. При использовании дерева и угля печи, каминные вставки и открытые камины могут применяться в качестве бытовых устройств наряду с котлами с автоматической и ручной подачей топлива.

#### **7.1.2.1 Технологии для горелок**

##### **Газообразное топливо**

Горелки на газообразном топливе относятся к распылительному типу. Атомизация улучшает поверхностный контакт между воздухом сгорания и топливом; таким образом, это улучшает процесс сгорания. Используются атмосферные горелки, а также горелки с нагнетанием воздуха.

Для горелок на газообразном топливе предусмотрены различные режимы эксплуатации: вкл.-выкл., с 2 типами нагрузки, модулированной нагрузкой.

Горелки вкл.-выкл. работают при номинальной нагрузке.

Горелки с 2 типами нагрузки работают при номинальной нагрузке или 40 – 60 % нагрузки, в зависимости от ситуации.

Горелки со ступенчатой нагрузкой работают ступенчато, в зависимости от ситуации, минимум с 30% нагрузкой. Последний режим эксплуатации позволяет лучше регулировать потребление топлива. Следовательно, выбросы уменьшаются, в особенности, при пуске или останове.[1]

В бытовых устройствах используются различные технологии для горелок на газообразном топливе.

**Горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub>** ограничивают образование выбросов NO<sub>x</sub>. Одна из используемых технологий заключается в повторной подаче дымовых газов сгорания в воздухоприемное отверстие горелки. Это позволяет снизить температуру, концентрацию кислорода и, таким образом, обеспечить уменьшение выбросов NO<sub>x</sub>.

**Горелки с предварительным смешиванием** предусматривают смешивание газообразного топлива и воздуха в камере предварительного смешивания. Затем смесь распределяется по поверхности, на которой распределяется пламя. Можно использовать поверхности с различной конструкцией. Подобная технология обеспечивает контроль за смешиванием и его оптимизацию. Она основана на модульном соотношении воздух/топливо. Это предотвращает появление избытков воздуха при сгорании и, следовательно, выбросы NO<sub>x</sub>. Указанную технологию можно использовать при каталитическом сгорании.

**Радиационные горелки** используют исключительно с газообразным топливом. Данная технология обеспечивает уменьшение температуры пламени и, таким образом, уменьшает выбросы NO<sub>x</sub> в процесс сгорания.

##### **Жидкое топливо**

**Горелки на жидком топливе**, по большей части, относятся к распылительному типу, и функционируют в тех же режимах эксплуатации, что и горелки на газообразном топливе: вкл.-выкл.; с 2 типами нагрузки; с модулированной нагрузкой.

В бытовых устройствах используются различные технологии для горелок на жидком топливе.

**Распыляющие горелки** представляют собой устройства, где жидкое топливо распыляется в газообразной форме. Благодаря этому обеспечивается более полное сгорание и, следовательно, ограничение выброса загрязнителей, но данный тип горелок редко используется в котлах.

**Горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub>** используют и для жидкого топлива, ориентируясь на аналогичные технологии для газообразного топлива.

##### **Биотопливо**

**В случае сжигания дерева** горелки используют для сжигания гранул в котлах или печах. Подача гранул к горелке осуществляется автоматически посредством винтового транспортера.

### 7.1.2.2 Технологии для котлов, работающих на газообразном и жидком топливе

**Котел на жидком или газообразном топливе**, как правило, состоит из горелки, камеры сгорания и теплообменника. Он оснащен трубой.

Горелка сжигает топливо в камере сгорания, где горючие газы нагревают воду в теплообменнике перед выходом через трубу. Нагретую воду можно использовать для отопления и/или нагрева воды для коммунально-бытового водоснабжения.

Существуют различные типы используемых технологий для котлов.

В **низкотемпературных котлах** горелки не работают с номинальной нагрузкой, а вода нагревается при более низкой температуре (25-75°C вместо 70-80°C). При использовании данной технологии ожидаемое уменьшение потребления топлива составляет от 12 до 15% по сравнению с использованием традиционных технологий.[1]

**Технология конденсации** используется для газообразного топлива и, все чаще, для жидкого топлива. Она предусматривает утилизацию латентной теплоты воды, содержащейся в дымовом газе.

При использовании теплообменника с водой при низкой температуре можно повторно утилизировать латентную теплоту горючих газов. Горючие газы конденсируются при теплообмене. Таким образом, при использовании технологии конденсации осуществляется лучшая утилизация тепла при меньших затратах энергии по сравнению с традиционной методикой.

Производительность котла можно повысить на 15 - 20% с использованием данной технологии по сравнению с применением стандартных котлов.[1]

Компания Okofen использует технологию конденсации в одной из своих моделей для рассеивания вынесенной пыли в водяном конденсате, содержащемся в горючих газах. Преимуществом данной технологии является повышение энергосбережения и уменьшение выбросов пыли (-10%). Тем не менее, при этом пыль, выбросы которой в атмосферу предотвращены за счет данной технологии, содержится в конденсате. [8]

Дымовые газы при сгорании жидкого топлива содержат меньше конденсируемой воды. Следовательно, конденсационный котел реже используется для жидкого топлива.

Конденсационные котлы, как правило, используются совместно с горелками с малым выбросом NOx.

**Технология микросжигания** предусматривает использование погруженной камеры сгорания и многотрубчатого теплообменника. Сгорание происходит в виде серии отдельных операций по микросжиганию (115 в секунду). Рассматриваемая технология позволяет утилизировать латентную теплоту воды, содержащейся в топливном газе, аналогично технологии конденсации.

В то время как технологию конденсации можно использовать с различными видами топлива, технологию микросжигания можно применять только для газообразного топлива.[5]

### 7.1.2.3 Технологии с использованием биотоплива

#### Котлы

Существуют различные типы котлов, работающих за счет сжигания дерева; в основном, **котлы, работающие за счет сжигания дров, и за счет сжигания гранул**.

Допускается использование котлов, работающих на древесной стружке, но, как правило, их применяют в крупных установках (теплопроизводительность >30 кВт). Та же технология используется для котлов, работающих на гранулах и древесной стружке: топливо автоматически сжигается посредством горелки, и дымовые газы нагревают теплообразующую жидкость (как правило, воду) в теплообменнике. Для котлов, работающих за счет сжигания дров, их складывают на решетку и сжигают с использованием различных технологий: вертикального, горизонтального или инверсного сжигания, и при естественной или принудительной тяге.

В случае применения естественной тяги используются три технологии сжигания:

- Вертикальное сжигание: все дрова, размещенные на решетке, загораются одновременно. Данный тип сжигания очень сложно контролировать; Следовательно, уровень выбросов при этом высок, а энергосбережение находится на низком уровне (10-20%).
- Горизонтальное сжигание: Дрова, размещенные на решетке, не загораются одновременно. Дрова сначала сушат, а потом сжигают. Пламя при этом направлено горизонтально. Рассматриваемый тип сжигания легче контролировать, чем горизонтальное сжигание и, следовательно, получаемые характеристики выше.
- Инверсное сжигание: как и при горизонтальном сжигании, дрова не загораются одновременно, и их высушивают перед сжиганием. Рассматриваемый метод называется инверсным сжиганием, поскольку вместо того, чтобы подниматься вверх, как при вертикальном сжигании, пламя проходит вниз, через решетку. Данный тип является типом сжигания с наилучшей степенью контроля при естественной тяге; следовательно, при этом получают самые высокие характеристики.

Котлы с принудительной тягой (также называемые "турбокотлы") являются недавним нововведением и обеспечивают более высокие характеристики, чем естественная тяга. При этом применяются те же технологии, что и при инверсном сжигании, но в "турбокотлах" воздух для горения подается вентилятором, а дымовые газы вытягивают наружу. В этом случае улучшается контроль за процессом сжигания; следовательно, котлы указанного типа обеспечивают более высокие эксплуатационные характеристики.

При сжигании дров можно использовать тепловой аккумулятор для хранения всей энергии, полученной при сжигании, и ее выдачи, при необходимости. Котел можно эксплуатировать с полной нагрузкой, что позволяет уменьшить выбросы остаточных продуктов сгорания. Для котлов с автоматической загрузкой рекомендуется использовать тепловой аккумулятор, поскольку он способствует сокращению выбросов при неполной загрузке.

Технология, обеспечивающая малые выбросы NO<sub>x</sub>, например, повторное использование дымовых газов, также может применяться для котлов, работающих за счет сжигания дерева. У некоторых котлов предусмотрена самоочистка. Она позволяет обеспечить стабильное энергосбережение.

### **Другие бытовые устройства**

Печи, каминные вставки и открытые камины могут использоваться для сжигания дерева:

- Применение открытых каминов является наихудшей из используемых технологий: сжигание осуществляется в окружающем воздухе. Контроль сжигания отсутствует, энергосбережение неудовлетворительно, а уровни выбросов слишком высоки.
- Для каминных вставок могут использоваться различные технологии: регулирование воздушного потока (воздух для сгорания можно нагреть до подачи в камеру сгорания), катализ (катализатор добавляют для снижения температуры горения).
- Печи: могут применяться различные технологии.
  - Регулирование воздушного потока: воздух для сгорания можно нагреть до подачи в камеру сгорания, данный процесс можно контролировать автоматически с использованием электронного прибора. Данный вариант позволяет уменьшить фактический уровень выбросов.
  - Используемые горючие вещества (гранулы или дрова) изменяются в зависимости от технологии. Изразцовая печь может накапливать энергию при сжигании, а затем рассеивать тепло в течение нескольких часов после сгорания.
  - Герметичная печь: в качестве воздуха для сгорания используется атмосферный воздух. Следовательно, не происходит воздухообмен между воздухом для сгорания и внутренним воздухом. Эксплуатационные характеристики данной технологии лучше, чем у классической печи, она позволяет избежать проблем с качеством внутреннего воздуха.

Энергосбережение устройств во многом зависит от теплообмена. Следовательно, улучшение теплообмена всегда является приоритетной задачей при проектировании. Возможно использование более длинных дымовых труб и вентилятора для поднимающегося вверх воздуха. При этом больше энергии дымовых газов передается во внутренний воздух, и, благодаря этому, улучшается энергосбережение и уменьшаются выбросы.

Характеристики устройств зависят также от интенсивности горения. Если интенсивность горения ниже номинальных значений (неполное сгорание), сгорание осуществляется неудовлетворительно; уровень выбросов высок, а энергосбережение низкое. Это происходит вследствие низкой температуры в камере сгорания.

Автоматические устройства, где сжигаются гранулы или древесная стружка, могут работать при номинальной интенсивности сгорания; следовательно, получаемые характеристики лучше, чем при использовании ручных устройств.

### **7.1.2.4 Технологии с использованием твердых горючих ископаемых**

На данный момент отсутствует информация по технологиям, в которых используется уголь.

### **7.1.3 Имеющиеся технологии, уровни выбросов**

Уменьшение выбросов при бытовом сжигании, в основном, означает увеличение энергосбережения за счет использования передовых технологий. Несмотря на это, для достижения оптимального энергосбережения мероприятия для данных устройств следует дополнить мерами по теплоизоляции зданий и всей теплотсети.

Выбросы загрязнителей зависят от типа используемого топлива:

- Использование газообразного топлива, по большей части, является источником выбросов NO<sub>x</sub>.
- Использование жидкого топлива, как правило, является источником выбросов SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>.
- Твердое топливо: выбросы, возникающие при сжигании дерева, в основном, включают в себя пыль и летучие органические соединения, в то время как к выбросам при сжигании угля, по большей части, относятся SO<sub>2</sub> и пыль.

Технологии сжигания также зависят от типа используемого топлива. Следовательно, имеющиеся технологии уменьшения выбросов из бытовых устройств, в большей степени, также зависят от данного фактора.

### 7.1.3.1 Тип используемого топлива

#### **Газообразное топливо**

Применение конденсационного котла в сочетании с использованием конкретного типа горелки может считаться высокоэффективной технологией с применением газообразного топлива. Горелки конкретного типа обеспечивают дальнейшее уменьшение выбросов NO<sub>x</sub>, в особенности, горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub>. Микросжигание может также считаться высокоэффективной технологией с использованием газообразного топлива. [1] [2].

#### **Жидкое топливо**

Применение низкотемпературных или конденсационных котлов в сочетании с использованием конкретных типов горелок может считаться высокоэффективной технологией с использованием жидкого топлива. Дальнейшего уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> также можно добиться за счет использования конкретных типов горелок.

#### **Биотопливо**

Для котлов, работающих за счет сжигания дров, высокоэффективной технологией может считаться инверсное сжигание с принудительной тягой и повторным использованием дымовых газов. Энергосбережение можно повысить, а выбросы уменьшить за счет использования емкости для воды в качестве гидроаккумулятора.

Использование гранул в качестве топлива для котлов может также считаться высокоэффективной технологией, наряду с использованием технологии конденсации для твердого топлива.

Уровень выбросов пыли и летучих органических соединений, по большей части, зависит от эффективности сжигания; чем более полным получается сгорание, тем ниже уровни выбросов.

Для каминных вставок использование катализатора уменьшает атмосферные выбросы остаточных продуктов сгорания при понижении температуры сгорания. Рассматриваемая технология в настоящее время используется в США и начинает появляться в Европе. В соответствии с отчетами по измерениям [10] и [11] использование катализаторов в каминных вставках может в два раза уменьшить выбросы пыли.

Для печей использование гранул может считаться высокоэффективной технологией энергосбережения.

Израцовые печи рассеивают энергию в течение нескольких часов. Это позволяет поддерживать комфортную температуру в течение нескольких часов без неполного сгорания, при котором образуется много загрязнителей.

Тем не менее, любые технологии, используемые для энергосбережения и повышения эффективности сжигания, вне зависимости от типа используемого топлива, способствуют уменьшению выбросов загрязнителей за счет уменьшения потребления топлива.

#### **Твердые горючие ископаемые**

На данный момент отсутствует информация по технологиям, в которых используется уголь.

### 7.1.3.2 Загрязнители

#### **SO<sub>2</sub>**

Выбросы SO<sub>2</sub> зависят от содержания серы в используемом топливе. Следовательно, основной мерой для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> является использование десульфурованного топлива или топлива с низким содержанием серы. Для бурого угля можно добавить гидроксид кальция для удержания серы в пепле.

#### **NO<sub>x</sub>**

На выбросы NO<sub>x</sub> воздействуют различные параметры, такие как: тип топлива, температура пламени, объем воздуха, время нахождения в камере сгорания и содержание азота в топливе.

Имеющиеся технологии, предназначенные конкретно для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>, включают в себя использование горелок с малыми выбросами NO<sub>x</sub> или горелки с модульным соотношением воздух/топливо с предварительным смешиванием. Горелка с модульным соотношением воздух/топливо с предварительным смешиванием позволяет уменьшить образование NO<sub>x</sub> при контроле содержания воздуха в смеси.

В следующей таблице приведены общие сведения по достигаемым уровням выбросов NO<sub>x</sub> для бытовых устройств сжигания с применением выбранного газа при полной нагрузке.

**Таблица 1: достигаемые уровни выбросов NO<sub>x</sub> для бытовых устройств сжигания с применением выбранного газа при полной нагрузке. [2]**

	Теплопроизводительность (кВт)	NO <sub>x</sub> (г/ГДж)
Конденсационный котел с принудительной тягой + горелка с предварительным смешиванием с модульным соотношением воздух/топливо	24	18
Котел с принудительной тягой + горелка с малым выбросом NO <sub>x</sub> и предварительным смешиванием	24	29
Котел с принудительной тягой + стандартная горелка	24,6	62
Стандартные котел и горелка	24,2	85

### **Летучие органические соединения**

На выбросы летучих органических соединений, главным образом, влияет эффективность сжигания. На данный момент не существует технологии, направленной исключительно на уменьшение выбросов летучих органических соединений. Имеющиеся технологии снижения выбросов летучих органических соединений фактически включают в себя те технологии, которые обеспечивают максимально полное сжигание. Упомянутые технологии подробно рассмотрены в предыдущих пунктах по технологиям для древесного топлива.

### **Пыль**

При бытовом сжигании, как и при сжигании в целом, на выбросы пыли влияет тип используемого топлива. При использовании газообразного или жидкого топлива меры по улучшению энергосбережения являются приоритетными и приведены в главе 2. Только эти меры рассматриваются в данной главе для уменьшения выбросов пыли при использовании газообразного или жидкого топлива.

Твердое топливо является основным источником выбросов пыли. Следовательно, при использовании твердого топлива следует применять и вторичные меры для уменьшения выбросов пыли.

В некоторых государствах, например, Норвегии и Швейцарии, разработаны небольшие электрофильтры, которые можно рассматривать в качестве варианта технологий уменьшения выбросов пыли. ЭФ может улавливать 90 % частиц пыли с диаметром, превосходящим 0,1 мкм. [7]

В результате исследований выявлено, что электрофильтры (ЭФ) или тканевые фильтры (ТФ) рассчитаны на функционирование в диапазоне от 100 кВт до 2 МВт. Для установок < 500 кВт затраты относительно высоки, но существует положительный опыт применения на отдельных установках в данном диапазоне. Уменьшение выбросов до 20 мг/м<sup>3</sup> (13% O<sub>2</sub>) продемонстрировано при использовании оптимизированного ЭФ, в то время как ТФ может снизить выбросы до < 5 мг/м<sup>3</sup>. [8]

В более общем смысле, пыль оседает в печах, котлах, воздуховодах, трубах и т.д. Таким образом, для ограничения выбросов пыли необходимо регулярно выполнять очистку котлов или печей. Опция самоочистки также рассматривается в качестве эффективной технологии уменьшения выбросов пыли.

### **7.1.4 Развивающиеся технологии**

Микро-когенерация является развивающейся технологией уменьшения энергопотребления. Энергия, используемая для отопления или нагрева воды для коммунально-бытового водоснабжения, также используется при производстве электроэнергии.

Использование гранул, разработанное для технологии каминных вставок, улучшает энергосбережение.

### **7.1.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов**

Капитальные затраты для котла с малым выбросом NO<sub>x</sub> примерно на 500 евро больше, чем для стандартного котла. [10]

Капитальные затраты для котла, работающего за счет сжигания дерева, с инверсным сжиганием и принудительной тягой, составляют от 3 000 до 7 650 евро для установок мощностью от 15 кВт до 150 кВт. Затраты на приобретение теплового аккумулятора составляют от 1 500 до 2 750 евро. [10] [12]

Капитальные затраты для пеллетного котла составляют от 7 000 до 15 000 евро для установок мощностью от 15 кВт до нескольких МВт. [12]

Согласно проведенным в Швейцарии исследованиям [13], капитальные затраты на ЭФ, улавливающий 80 – 90% пыли, составят от 1 000 до 1 500 евро.

Дополнительные затраты на добавление катализаторов в каминные вставки - приблизительно 1 000 евро. [14]

**Таблица 2: Затраты на кВт выделяемой теплоты для отопительных систем, работающих по принципу сжигания дерева, и оборудования для уменьшения выбросов пыли [8]<sup>1</sup>**

Мощность [кВт]	Технология (система отопления) [€/кВт]	Сооружение (без склада) [€/кВт]	ЭФ [€/кВт]	ТФ [€/кВт]
100	965	520	660	450
200	800	430	405	240
500	630	340	195	115
1000	420	225	115	70
2000	315	170	75	50

### 7.1.6 Список литературы, использованной в главе 7.1

- [1] L'énergie en region Wallone :<http://energie.wallonie.be>
- [2] Atmospheric emissions from gas fired home heating appliances, Cernushi, Consonni, Lonati, Giugliano, Ozgen, EGTEI report.
- [3] GFCC, groupement des fabricants de chauffage central par l'eau chaude et production d'eau chaude sanitaire.
- [4] ADEME website, les chaudières performantes :  
[http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/chaudiere\\_performante/rub3.htm](http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/chaudiere_performante/rub3.htm)
- [5] ADEME, "fiche OX « chaudière à combustion pulsatoire »", 2002.
- [6] "Emissions characteristics of modern and old-type residential boilers fired with logs and wood pellets", L.S. Johansson and alls. Atmospheric environment, 38 (2004) 4183-4195
- [7] "Petites chaudières du secteur industriel et tertiaire et appareils domestiques de chauffage au bois...", INERIS, CITEPA, 2007.
- [8] "Stand der Technik und Kosten der Feinstaubabscheidung für automatische Holzfeuerungen von 100 кВт bis 2 MW", Verenum, Bundesamt für Umwelt, Abteilung Luftreinhaltung Kanton Thurgau, Amt für Umwelt, Abteilung Luftreinhaltung, Zürich 2006.
- [9] "Estimation de l'impact environnemental du chauffage domestique au bois à l'échelle Locale », ADEME, 2008.
- [10] Bericht über die Erstprüfung eines Kamineinsatzes für feste Brennstoffe vom Typ „JLYSS 700“ nach DIN EN 13 229, Fraunhofer Institut, 17/04/2008.
- [11] Ergebnisse aus der Prüfung der Nennwärmeleistung nach DIN EN 13 229 des Kamineinsatzes „JLYS 700ZE“ der Firma Fondis SA, Fraunhofer Institut, le 13/11/2008.
- [12] Bioenergy institute website, [www.ITEBE.org](http://www.ITEBE.org): "technologies pour les particuliers".
- [13] Volker Schmatloch, EMPA Swiss federal institute for Materials Research and testing, "exhaust gas aftertreatment for small wood fired appliances - recent progress and field test results"
- [14] Interview's report of M. Haas technical director of Fondis, 19/03/2009.

<sup>1</sup> Данные от 2005/2006 пересчитанны в € (1 швейцарский франк = 0,64523 €) и округлены; подробные сведения по расчетам см. в исходном отчете

## **7.2 Установка сжигания от 1 до 50 МВт**

### **7.2.1 Объем рассматриваемой информации**

В данном разделе рассмотрены выбросы котельных установок и газовых турбин с общей эффективной тепловой мощностью от 1 до 50 МВт<sub>тепл.эн.</sub>. Далее термин “котлы” обозначает устройства, отличные от двигателей внутреннего сгорания или турбин, и включает в себя все типы котлов и промышленные нагревательные устройства.

В данной главе не рассмотрены следующие установки:

- Установка, где продукты сгорания используют непосредственно для обогрева, сушки или любой иной обработки объектов или материалов, например, нагревательные печи, печи для тепловой обработки;
- Установка дожигания, т.е. любое техническое устройство для очистки отработанных газов сжиганием, которое не используется в качестве отдельной установки сжигания;
- Оборудование для регенерации катализаторов, используемых при каталитическом крекинге;
- Оборудование для преобразования сероводорода в серу;
- Реакторы, используемые в химической промышленности;
- Батареи коксовых печей;
- Кауперы;
- Мусоросжигатели; и
- Установка с дизельными, бензиновыми или газовыми двигателями, независимо от типа используемого топлива (Информацию о стационарных двигателях см. в документе "Стационарные двигатели" 7-42)

### **7.2.2 Технологии сжигания**

В пределах сектора технологии, используемые для сжигания жидкого и газообразного топлива, аналогичны применяемым для производства тепловой энергии при промышленном сжигании.

Для сжигания твердого топлива и биомассы, в основном, применяют технологию сжигания в стационарном слое, т.е. слоевое сжигание.

Технологии сжигания жидкого топлива в слое также используют в данном секторе. Указанная технология наиболее оптимальна для совместного сжигания угля с биомассой и/или с отходами, используемыми в качестве топлива, сжигания биомассы.[1]

Газовые турбины применяют для трансформации тепловой энергии в механическую. В них используется постоянный поток газа (по большей части, воздуха), сжатого и воспламеняемого с газообразным или жидким топливом.

### **7.2.3 Имеющиеся технологии, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

Выбросы в пределах сектора во многом зависят от типа топлива, технологии сжигания, а также от практики эксплуатации и технического обслуживания. Для твердого топлива конкретные уровни выбросов выше на маленьких установках, а не на больших. При использовании газообразного и жидкого топлива уровни выбросов не столь высоки по сравнению с промышленными котлами благодаря качеству топлива и конструкции горелок.[1]

### 7.2.3.1 SO<sub>2</sub>

**Таблица 1 Источники выбросов и выбранные меры регулирования выбросов SO<sub>2</sub> с сопутствующими уровнями выбросов (твердое и жидкое топливо), соответствующим верхним уровнем выбросов (газообразное топливо) в установках сжигания от 1 до 50 МВт<sub>Тепл.эн.</sub> [2]**

Источник выбросов	Меры регулирования	Уровень выбросов SO <sub>2</sub> (мг/Нм <sup>3</sup> )
<b>Твердое топливо</b>		
Котлы, за исключением СЖТ	Использование топлива с низким содержанием серы, Ввод сорбентов, Десульфуризация дымового газа	[50-1000]
Сжигание жидкого топлива в слое (СЖТ)	Использование топлива с низким содержанием серы, Ввод сорбентов, Десульфуризация дымового газа	[50-400]
<b>Жидкое топливо</b>		
Котлы	Использование топлива с низким содержанием серы, Ввод сорбентов, Десульфуризация дымового газа	[50-850]
<b>Газообразное топливо</b>		
Котлы: Неконденсирующийся газ	Использование топлива с низким содержанием серы, Ввод сорбентов, Десульфуризация дымового газа	[100]
Котлы: Сжиженный газ		[5]
Котлы: Другое газообразное топливо		[35]
Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными, исходя из того, что объемное содержание кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива, 6% для твердого топлива.		

[Примечание Для значений, указанных в предыдущей таблице, необходим пересмотр, в особенности, с учетом различий между новыми и существующими установками.]

При реализации мероприятий по уменьшению выбросов для топлива с низким содержанием серы можно получить уровень 700 мг/Нм<sup>3</sup>, для ввода сорбента - уровень 200 - 400 мг/Нм<sup>3</sup>, для десульфуризации - уровень; 50 – 200 мг/Нм<sup>3</sup>.



### 7.2.3.2 NO<sub>x</sub>

**Таблица 2 Источники выбросов и выбранные меры регулирования выбросов NO<sub>x</sub> с сопутствующими верхними уровнями выбросов в установках сжигания от 1 до 50 МВт<sub>тепл.зн.</sub> [1], [2]**

Источник выбросов	Меры регулирования	Уровень выбросов NO <sub>x</sub> (мг/Нм <sup>3</sup> )
<b>Твердое топливо</b>		
Слоевое сжигание	Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> Ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха Рециркуляция дымового газа Конструкция котла	[< 200-400]
Пылеугольное топливо	Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> Ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха Рециркуляция дымового газа Конструкция котла	[< 200-400]
Сжигание жидкого топлива в слое	Ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха Рециркуляция дымового газа Конструкция котла	[< 200-500]
	СНКВ	[< 50-100]
<b>Жидкое топливо</b>		
Котел	Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> Ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха Рециркуляция дымового газа Конструкция котла	[< 200-300]
<b>Газообразное топливо</b>		
Котел	Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> Ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха Рециркуляция дымового газа Конструкция котла	[< 200]
<b>Существующие газовые турбины</b>		
Топливо: природный газ	Нагнетание пара и воды или СКВ	[50-120]
Топливо: дизельное топливо или технологический газ	Нагнетание пара и воды или СКВ	
<b>Новые газовые турбины</b>		
Топливо: природный газ	Горелки сухого сжигания с малым выбросом NO <sub>x</sub> и предварительным смешиванием или СКВ	[20-50]
Топливо: дизельное топливо или технологический газ	мокрый СКВ	[...]
Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными, исходя из того, что объемное содержание кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива, 6 % для твердого топлива и 15% для газовых турбин.		

Примечание: Для значений, указанных в предыдущей таблице, необходим пересмотр, в особенности, с учетом различий между новыми и существующими установками.]

### 7.2.3.3 Пыль

**Таблица 3 Источники выбросов и выбранные меры регулирования выбросов пыли с сопутствующими верхними уровнями выбросов в котельных установках от 1 до 50 МВт<sub>тепл.эн.</sub> [1]**

Источник выбросов	Меры регулирования	Уровень выбросов пыли (мг/м <sup>3</sup> )	
		новые	существующие
Твердое топливо, 1 - < 5	Циклон	< 50	< 100
	ЭФ	5 - 20	5 - 30
	ТФ	5 - 20	5 - 20
Твердое топливо, 5 - < 50	ЭФ ТФ	5 - 20	5 - 30
		< 5 - 20	< 5 - 20
Жидкое топливо, 1 - < 5	ЭФ	5 - 50	5 - 50
	ТФ	< 5 - 20	< 5 - 20
	Использование малозольного топлива	< 5 - 50	< 5 - 50
Жидкое топливо, 5 - < 50	ЭФ ТФ	5 - 20	5 - 50
		< 5 - 20	< 5 - 20
Газообразное топливо		2 - 5	2 - 5

Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными, исходя из того, что объемное содержание кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива, 6% для минерального твердого топлива и 11% для дерева.

### 7.2.4 Список литературы, использованной в главе 7.2

1 European Commission: Kubica. K; Paradiz. B; Dilara. P: Small combustion installations: Techniques, emissions and measures for emission reduction, 2007

2 German TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Germany

The association for British Furniture Manufacturers: Benchmarking wood waste combustion in the UK furniture manufacturing sector, 2005

## 7.3 Установки сжигания более 50 МВт

### 7.3.1 Объем рассматриваемой информации

В секторе установок для сжигания имеется целый ряд различных технологий сжигания с различными видами используемого топлива: твердое топливо, например, уголь, бурый уголь, торф, биомасса, жидкое и газообразное топливо, включая низкокалорийный и доменный газ. В данном разделе рассмотрены котлы (небольшие: 50 - 100 МВт<sub>тепл.эн.</sub>, средние: 100 - 300 МВт<sub>тепл.эн.</sub>, и крупные: >300 МВт<sub>тепл.эн.</sub>), а также газовые турбины (>50 МВт<sub>эл.эн.</sub>). Далее термин "котлы" обозначает устройства, отличные от двигателей внутреннего сгорания или турбин, и включает в себя все типы котлов и промышленные нагревательные устройства. Указанная производительность классифицируется в зависимости от номинального значения эффективной тепловой мощности с ориентиром на самую низкую величину теплотворности (НВТ) соответствующего вида топлива.

В данной главе не рассмотрены следующие установки:

- Установка, где продукты сгорания используют непосредственно для обогрева, сушки или любой иной обработки объектов или материалов, например, нагревательных печей, печей для тепловой обработки;
- Установка дожигания, т.е. любое техническое устройство для очистки отработанных газов сжиганием, которое не используется в качестве отдельной установки сжигания;
- Оборудование для регенерации катализаторов, используемых при каталитическом крекинге;
- Оборудование для преобразования сероводорода в серу;
- Реакторы, используемые в химической промышленности;
- Батареи коксовых печей;
- Кауперы;
- Мусоросжигатели; и
- Установка с дизельными, бензиновыми или газовыми двигателями, независимо от типа используемого топлива (Информацию о стационарных двигателях см. в документе "Стационарные двигатели" 7-45)

### 7.3.2 Источники выбросов

В процессе сжигания происходят выбросы в атмосферу, которые считаются одним из основных источников загрязнения воздуха. В зависимости от типа топлива могут применяться несколько технологий сжигания, которые обеспечивают разные выбросы NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> и пыли. В данном пункте описаны основные технологии, используемые при сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива.

#### (а) Крупные котлы, промышленные нагревательные устройства и печи

Слоевое сжигание используется в сравнительно небольших установках сжигания с тепловой мощностью менее 100 МВт<sub>тепл.эн.</sub>, в отдельных случаях метод слоевого сжигания используют для сжигания отходов (не рассмотрено в данном разделе, см. 7-18) и биомассы [1]. Топливо на решетке сначала подсушивается и подвергается пиролизу. Затем на решетке сжигают уголь. Условия горения контролируются не столь совершенно, как в других системах, поскольку химия и температура горения могут существенно изменяться по всей поверхности решетки [2].

**Сжигание пылевидного топлива** является общепринятой методикой для котлов всех размеров с мощностью более 50 МВт<sub>тепл.эн.</sub>, и представляет собой технологию сжигания твердого топлива, при применении которой топливо измельчают в порошок перед сжиганием. Различают два основных типа котла:

**Котлы с сухим золоудалением** работают при более низкой температуре, чтобы пепел не нагревался выше температуры плавления в процессе сжигания.

**Для котлов с жидким золоудалением** необходима высокая температура сжигания для плавления пепла и, соответственно, при этом наблюдаются сравнительно высокие выбросы NO<sub>x</sub> [1]. Указанную технологию часто используют для топлива с плохими характеристиками горения, она предусматривает повторное использование зольной пыли [3].

**Сжигание жидкого топлива в слое (СЖТ)** - это технология сжигания для каменного и бурого угля, а также низкосортного топлива, например, отходов, торфа и дерева, что не рассматривается в данной главе. Топливо впрыскивают в турбулентный кипящий слой реактива или инертного материала, причем через слой проходит поток воздуха. Дальнейшего уменьшения выбросов можно добиться за счет комплексного регулирования горения в системе. В секторе преобразования энергии атмосферное сжигание жидкого топлива в слое является общепринятой коммерческой технологией. В зависимости от скорости воздуха для создания кипящего слоя существуют два типа атмосферного сжигания жидкого топлива - атмосферное сжигание жидкого топлива в кипящем слое (АСЖТК) и атмосферное сжигание жидкого топлива в циркулирующем слое (АСЖТЦ). Сжигание жидкого топлива в слое под давлением (АСЖТД) происходит при повышенном давлении и обеспечивает формирование газового потока с высоким давлением при температуре, которая достаточна для приведения в действие газовой турбины.

## **(b) Турбины**

**Газовые турбины** применяют для трансформации тепловой энергии в механическую. В них используется постоянный поток газа (по большей части, воздуха), сжатого и воспламеняемого с газообразным или жидким топливом. Газовые турбины все более часто используют для производства электроэнергии при базовой и промежуточной нагрузке, но также применяют при пиковой нагрузке в простом цикле (затем в качестве топлива используется газ или жидкое масло). На электростанциях с комбинированным циклом газовые турбины сопрягают с паровыми турбинами для производства электроэнергии.

Процесс **комплексной газификации с комбинированным циклом (КУГКЦ)** предусматривает газификацию угля или биомассы и использование установок с комбинированным циклом. Газифицированное твердое топливо сжигают в камере сгорания газовой турбины. Помимо того, существует технология для остатков тяжелого топлива. Тем не менее, данный процесс еще не полностью введен в коммерческое обращение, небольшое количество демонстрационных установок, в основном, приблизительно в 250 МВт<sub>эл.эн.</sub>, функционируют в Европе и США.

## **НДТ для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива**

### **Сжигание каменного и бурого угля**

Сжигание пылевидных материалов, жидкого топлива в слое, а также сжигание жидкого топлива в слое под давлением входят в категорию НДТ для сжигания каменного и бурого угля для новых и существующих установок. Слоевое сжигание желателно применять только на новых установках с номинальной эффективной тепловой мощностью менее 100 МВт [3].

### **Сжигание биомассы и торфа**

Для сжигания биомассы и торфа к НДТ относятся технологии сжигания пылевидных материалов, сжигания жидкого топлива в слое, а также сжигания в слоевой топке с забрасывателем топлива для дерева, и вибрирующей решетки с водяным охлаждением для сжигания соломы. Установки сжигания поршкообразного торфа не входят в НДТ для новых установок [3].

### **Сжигание жидкого топлива**

Для жидкого топлива к НДТ относятся использование устройств предварительной обработки, например, установок очистки дизельного топлива, применяемых в газовых турбинах и двигателях. Обработка тяжелого нефтяного топлива (ТНТ) предусматривает применение устройств, таких как электронагреватели и нагреватели с паровым змеевиком, системы дозирования дезмульгатора и т.д.

### **Сжигание жидкого и газообразного топлива в установках когенерации**

Установки с комбинированным циклом и когенерацию тепловой и электрической энергии следует рассматривать как первый вариант НДТ, т.е. для использования в тех случаях, когда потребность в тепловой энергии достаточно велика для того, чтобы оправдать строительство подобной системы [3].

## **7.3.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

### **7.3.3.1 SO<sub>2</sub>**

В данном разделе приведено описание вариантов уменьшения выбросов, которые часто используют для сокращения выбросов оксидов серы из установок сжигания. Выбросы SO<sub>2</sub> в значительной степени зависят от содержания серы в сжигаемом угле и применяемых систем регулирования выбросов. В общем случае, мероприятия по снижению выбросов оксидов серы подразделяются на первичные и вторичные.

#### **Первичные меры**

**Использование топлива с низким содержанием серы**, выбросы SO<sub>2</sub> при сжигании непосредственно связаны с содержанием серы в используемом топливе. Переход на другие виды топлива (с топлива с высоким на топливо с низким содержанием серы) приводит к снижению выбросов серы. Данная мера применяется достаточно широко. Тем не менее, могут наблюдаться значительные ограничения, например, наличие топлива с низким содержанием серы и применимость существующих систем сжигания для различных видов топлива. Переход на природный газ может стать достаточным мероприятием для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub>, в случае использования других видов топлива в зависимости от содержания серы в топливе данную технологию можно применять в качестве дополнительного метода.

#### **Использование адсорбентов в системах сжигания жидкого топлива в слое.**

Котлы СЖТ могут быть очень эффективны для удаления SO<sub>2</sub>, например, добавление сорбента в котел СЖТ является недорогим методом захвата серы. Капитальные расходы невелики, поскольку десульфуризация осуществляется в рамках процесса сжигания, а отдельное оборудование реактора не требуется [3]. Тем не менее, твердые побочные продукты, включая пепел, сульфатосодержащие продукты реакции и известь, не могут применяться для производства бетона, как зольная пыль при стандартном сжигании пылеугольного топлива

#### **Вторичные меры**

Процессы **десульфуризации дымового газа (ДДГ)**. Данные процессы предназначены для удаления уже сформировавшихся оксидов серы и относятся к второстепенным мерам. Все передовые технологии переработки дымового газа основаны на удалении серы сухим или мокрым способом.

При использовании мокрого способа получают мокрые жидкие отходы или побочные продукты, а дымовой газ, выходящий из абсорбера, насыщен влагой. При очистке морской водой используются собственные свойства морской воды для абсорбции и нейтрализации диоксида серы в дымовых газах. Если рядом с энергоустановкой имеется большое количество морской воды, наиболее вероятно, что она будет использоваться в качестве охладителя в конденсаторах. Использование мокрых очистителей, в особенности, процессов с применением извести-сульфата кальция, относится к ведущим технологиям ДДГ. Их доля на рынке составляет около 80%, они преимущественно применяются в крупных котлах энергетической установки. Эффективность удаления диоксида серы можно повысить до 92-98%. В случае модернизации эффективность снижается до 95%.

При процессах полусухого удаления жидкая масса щелочного реагента распыляется и впрыскивается в емкость, где реагирует с SO<sub>2</sub> в дымовом газе, образуя сульфат кальция или сульфитные продукты [4]. При этом достигается эффективность удаления диоксида серы от 80 до 95%.

**Таблица 1 Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов SOx с сопутствующими уровнями выбросов в установках сжигания (ПМ означает первичные меры)**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровень выбросов SO <sub>x</sub> ассоциируемый с НДТ <sup>1</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
<b>котлы 50 - 100 МВт<sub>тепл.эн.</sub></b>		
Слоевое сжигание, топливо: каменный и бурый уголь	Топливо с низким содержанием серы или ДДГ	200 - 400
Котел; Топливо: каменный и бурый уголь	Топливо с низким содержанием серы и ДДГ	200 - 400 (промышленность, другие значения: 200 - 300)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в слое под давлением; Топливо: каменный, бурый уголь	Топливо с низким содержанием серы Добавление известняка	150 - 400 (промышленность, другие значения: 150 - 300)
СЖТ в кипящем слое; Топливо: каменный, бурый уголь	Топливо с низким содержанием серы ДДГ	150 - 400 (промышленность, другие значения: 150 - 300)
Котел; Топливо: торф	Добавление известняка Добавление гидроксида кальция в сухой форме до ЭФ или ТФ ДДГ	200 - 300 (новые) 200 - 300 (существующие)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в кипящем слое; Топливо: торф	Совместное сжигание биомассы и торфа Добавление известняка Добавление гидроксида кальция в сухой форме до ЭФ или ТФ ДДГ	200 - 300 (новые) 200 - 300 (существующие)
Котел; Топливо: Нефть	Нефтяное топливо с низким содержанием серы Совместное сжигание газа и нефти ДДГ	100 - 350 (новые) 100 - 350 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 200-850, существующие установки: 200-850)
<b>Котлы 100 - 300 МВт<sub>тепл.эн.</sub></b>		
Котел; Топливо: каменный и бурый уголь	Топливо с низким содержанием серы ДДГ Комбинированные технологии уменьшения выбросов NOx и SOx	100 - 200 (новые) 100 - 250 (существующие) (промышленность, другие значения: существующие установки 100-600)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в слое под давлением; Топливо: каменный, бурый уголь	Топливо с низким содержанием серы Добавление известняка	100 - 200 (новые) 100 - 250 (существующие) (промышленность, другие значения: существующие установки: 100-300)
СЖТ в кипящем слое; Топливо: каменный, бурый уголь	ДДГ с топливом с низким содержанием серы	100 - 200 (новые) 100 - 250 (существующие) (промышленность, другие значения: существующие установки 100-300)
Котел; Топливо: торф	Добавление известняка Добавление гидроксида кальция в сухой форме до ЭФ или ТФ ДДГ	200 - 300 (новые) 200 - 300 (существующие)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в кипящем слое; Топливо: торф	Совместное сжигание биомассы и торфа Добавление известняка Добавление гидроксида кальция в сухой форме до ЭФ или ТФ ДДГ	150 - 250 (новые) 150 - 300 (существующие)
Котел; Топливо: Нефть	Нефтяное топливо с низким содержанием серы Совместное использование газа и нефти, а также ДДГ ДДГ	100 - 200 (новые) 100 - 250 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 100-400, существующие установки: 100-400)

	Комбинированные технологии уменьшения выбросов NO <sub>x</sub> и SO <sub>x</sub>	
<b>Котлы &gt;300 МВт<sub>тепл.эн.</sub></b>		
Котел; Топливо: каменный и бурый уголь	Топливо с низким содержанием серы ДДГ Комбинированные технологии уменьшения выбросов NO <sub>x</sub> и SO <sub>x</sub>	20 - 150 (новые) 20 - 200 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 20-200, существующие установки: 20-400)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в слое под давлением, топливо: каменный, бурый уголь	Топливо с низким содержанием серы Добавление известняка	100 - 200 (новые) 100 - 200 (существующие) (промышленность, другие значения: существующие установки: 100-300)
СЖТ в кипящем слое, топливо: каменный, бурый уголь	ДДГ с топливом с низким содержанием серы	20 - 150 (новые) 20 - 200 (существующие) (промышленность, другие значения: существующие установки: 20-300)
Котел; Топливо: торф	ДДГ Комбинированные технологии уменьшения выбросов NO <sub>x</sub> и SO <sub>2</sub>	50 - 150 (новые) 50 - 200 (существующие)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в кипящем слое, топливо: торф	Совместное сжигание биомассы и торфа Добавление известняка Добавление гидроксида кальция в сухой форме до ЭФ или ТФ ДДГ	50 - 200 (новые) 50 - 200 (существующие)
Котел, топливо: Нефть	Нефтяное топливо с низким содержанием серы Совместное сжигание газа и нефти ДДГ Комбинированные технологии уменьшения выбросов NO <sub>x</sub> и SO <sub>x</sub>	50 - 150 (новые) 50 - 200 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 50-200, существующие установки: 50-400)
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p>Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными, исходя из того, что объемное содержание кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива, 6% для твердого топлива.</p>		

### 7.3.3.2 NO<sub>x</sub>

К наиболее важным оксидам азота при выбросах в ходе процессов сжигания относятся оксид азота (NO), диоксид азота (NO<sub>2</sub>) и закись азота (N<sub>2</sub>O). NO и NO<sub>2</sub>, как правило, обозначаются как NO<sub>x</sub>. [2]. NO<sub>x</sub> образуется во время большинства процессов сгорания за счет одного из трех химических процессов: "тепловой" NO<sub>x</sub>, возникающий при окислении атмосферного молекулярного азота, "топливный" NO<sub>x</sub>, возникающий при окислении химически связанного азота в топливе, и "быстрый" NO<sub>x</sub>, вырабатываемый при реакции между атмосферным молекулярным азотом и радикалами углеводородов [4]. Только два первых процесса имеют особое значение в установках сжигания.

В данном разделе приведено описание вариантов уменьшения выбросов, которые часто сокращения выбросов оксидов азота из установок сжигания. В общем случае, мероприятия по снижению выбросов оксидов азота подразделяются на первичные и вторичные. Первичные меры разработаны для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> из источника в процессе сжигания за счет регулирования характеристик пламени, таких как температура и смешивание топлива-воздуха. Вторичные меры применяют после процесса сжигания, они позволяют предотвратить выбросы NO<sub>x</sub> из дымового газа.

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NO<sub>x</sub>, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

Применение первичных мер ограничено эксплуатационными параметрами и характеристиками топлива, которые влияют на безопасность эксплуатации. Оно также ограничено применимостью схемы в существующих установках.

#### **Первичные меры (модификации процесса горения):**

**Ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха** состоит во введении воздуха для горения в первичный и вторичный контур для обеспечения полного сгорания и образования N<sub>2</sub> вместо NO<sub>x</sub>. В зоне первичного горения наблюдается недостаток кислорода, а в зоне вторичного сгорания - его избыток. Указанная технология часто используется совместно с горелками с малым выбросом NO<sub>x</sub>, завершая процесс сжигания при более низкой температуре [1][5].

**Ступенчатое сжигание топлива**, также обозначаемое как **дожигание**, представляет собой систему, состоящую из трех этапов (зон). Оно основано на создании различных зон в печи за счет ступенчатого впрыска топлива и воздуха. Целью данного метода является уменьшение выбросов оксидов азота, которые уже преобразовались обратно в азот [1]. Технология дожигания рассчитана на достижение относительно значительного снижения выбросов NO<sub>x</sub> (50-75%) и может, в принципе, использоваться для всех типов котлов на ископаемом топливе, а также в сочетании с технологиями сжигания с малым выбросом NO<sub>x</sub> для первичного топлива. Рассматриваемая технология недостаточно хорошо приспособлена для модернизированных установок вследствие пространственных ограничений.

**Рециркуляция дымового газа** приводит к уменьшению количества кислорода в зоне сжигания и, поскольку при этом происходит непосредственное охлаждение пламени, при снижении температуры пламени: следовательно, уменьшаются как конверсия азота, связанная с топливом, и образование NO<sub>x</sub> при тепловой реакции. Рециркуляция дымового газа в атмосферу для горения является успешным методом уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> в системах сжигания при высокой температуре, таких как котлы с жидким золоудалением и установки на нефти или газе, но, в общем случае, она неэффективна для котлов с сухим золоудалением, работающих на пылеугольном топливе. Уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> в 30-60% можно добиться за счет применения рециркуляции дымового газа при сжигании природного газа. При использовании тяжелого нефтяного топлива наблюдается уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> в 10-20%, но при этом могут возрасти выбросы пыли

**Горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub>** рассчитаны на регулирование смешивания топлива и воздуха для получения количества, необходимого для ступенчатого сжигания. Создается достехиометрическая зона со смесью топлива/воздуха и первичного воздуха. При завихрении первичного воздуха происходит внутренняя рециркуляция. Вокруг первичных распылительных штуцеров конструкция из вторичных штуцеров подает вторичный воздух в зону полного сгорания. При подобном ступенчатом сгорании уменьшается температура пламени и концентрация кислорода на некоторых этапах горения, в свою очередь, обеспечивая меньшее образование NO<sub>x</sub> при тепловой реакции и NO<sub>x</sub> за счет сгорания топлива. Горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub> следует устанавливать на все новые установки, а также необходимо предусмотреть модернизацию существующих установок. Горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub> эффективны при уменьшении выбросов NO<sub>x</sub> на 30-50% [1][5], их можно использовать в сочетании с другими первичными мерами, например, вторичный воздух, дожигание или рециркуляция дымового газа.

#### **Вторичные меры (технология регулирования NO<sub>x</sub> за счет дожигания)**

**Селективное каталитическое восстановление (СКВ)** является наиболее разработанным и широко применяемым процессом уменьшения оксидов азота в отработанных газах из установок сжигания в Европе и других странах, например, Японии и США. Процесс СКВ можно использовать для широкого диапазона видов топлива, таких как природный газ. В процессе СКВ обычно используется аммиак в качестве восстановителя, который вводится непосредственно в дымовой газ на катализатор при достаточном количестве кислорода. Преобразование NO<sub>x</sub> обычно происходит на поверхности катализатора при температуре от 170 до 510°C (чаще всего, в более диапазоне от 300 до 400°C; минимальная температура дымового газа зависит от содержания серы в топливе. При слишком низкой температуре дымового газа образуется бисульфат аммония, который засоряет элемент СКВ) [3] Уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> более 80-90% достигается и зависит от конструкции системы, активности катализатора и концентрации реакционных газов [2].

**Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)** позволяет уменьшить выбросы NO<sub>x</sub> без катализатора при температуре от 850 до 1100°C. Указанный диапазон температур в значительной степени зависит от применяемого реагента, в качестве которого может использоваться следующее: аммиак, мочевины или нашатырный спирт. Процесс СНКВ применяется для различных видов ископаемого топлива. Средняя достижимая эффективность уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> находится в диапазоне 30-50% [3]. СНКВ является менее дорогостоящей по сравнению с СКВ из-за отсутствия катализатора и может применяться



Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NO<sub>x</sub>, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

также в небольших установках. Но СНКВ не предназначена для установок, которые работают при переменной нагрузке (риск чрезмерного проскока и сильного запаха аммиака).

## НДТ для уменьшения выбросов оксидов азота

### Сжигание каменного и бурого угля

Для удаления NO<sub>x</sub> из отходящих газов из установок сжигания, работающих на каменном и буром угле, в качестве НДТ рассматривается сочетание первичных и/или вторичных мер. Тем не менее, в соответствии с технологией, применяемой для котлов, и типом топлива (например, высокие первичные выбросы NO<sub>x</sub> для угля с низким содержанием летучих веществ) следует выполнить разграничение НДТ.

Сочетание первичных и вторичных мер, таких как СКВ, рассматривается в качестве НДТ для установок сжигания пылеугольного топлива при базовой нагрузке.

Использование сочетания различных первичных мер для установок, работающих на порошкообразном буром угле, рассматривается как НДТ. Вследствие низких выбросов NO<sub>x</sub> в установках, работающих на порошкообразном буром угле, технология СКВ не рассматривается как НДТ для сжигания бурого угля.

Использование ступенчатого сжигания жидкого топлива в слое каменного или бурого угля рассматривается как НДТ.

### Сжигание биомассы и торфа

Для удаления NO<sub>x</sub> из отходящих газов из установок сжигания, работающих на биомассе и торфе, в качестве НДТ рассматривается сочетание первичных и/или вторичных мер. Тем не менее, согласно технологии эксплуатации котлов следует выполнить разграничение НДТ.

### Сжигание жидкого топлива

Для удаления NO<sub>x</sub> из отходящих газов из установок сжигания, работающих на жидком топливе, использование сочетания первичных и/или вторичных мер, таких как СКВ, рассматривается в качестве НДТ для установок более 50 МВт<sub>тепл.эн.</sub> и, в частности, для крупных установок при базовой нагрузке более 100 МВт<sub>тепл.эн.</sub>.

Использование сочетания различных первичных мер рассматривается в качестве НДТ для установок сжигания с мощностью менее 100 МВт<sub>тепл.эн.</sub>.

### Сжигание в газовых турбинах

Для новых газовых турбин горелки сухого сжигания с малым выбросом NO<sub>x</sub> и предварительным смешиванием являются НДТ. Для существующих газовых турбин впрыск воды и пара в качестве первичной меры или преобразование в технологию с применением горелок сухого сжигания с малым выбросом NO<sub>x</sub> и предварительным смешиванием является НДТ. Горелки сухого сжигания с малым выбросом NO<sub>x</sub> и предварительным смешиванием являются единственными НДТ для новых турбин, на рынке имеется технология для использования в газовых турбинах, работающих на жидком топливе.

**Таблица 2 Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов NO<sub>x</sub> с сопутствующими уровнями выбросов в установках сжигания (ПМ означает первичные меры)**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровень выбросов NO <sub>x</sub> , ассоциируемый с НДТ <sup>1</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
<b>Котлы 50 - 100 МВт<sub>тепл.эн.</sub></b>		
Слоевое сжигание, топливо: каменный и бурый уголь	ПМ и/или СНКВ	200 - 300 (промышленность, другие значения: существующие установки: 200-400)
Котел; Топливо: Уголь	Сочетание ПМ, СНКВ или СКВ	90 - 300 (промышленность, другие значения: новые установки: 90-450, существующие установки: 90-500)
Котел; Топливо: бурый уголь	Сочетание ПМ	200 - 450 (промышленность, другие значения: существующие установки: 200-500)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в слое под давлением;	Сочетание ПМ	200 - 300

СЖТ в кипящем слое, топливо: каменный, бурый уголь		
Слоевое сжигание, топливо: биомасса и торф	Слоевая топка с забрасывателем топлива	170 - 250 (новые) 200 - 300 (существующие)
Котел; Топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ или СКВ	150 - 250 (новые) 150 - 300 (существующие)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в кипящем слое, топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ	150 - 250 (новые) 150 - 300 (существующие)
Котел, топливо: Нефть	Сочетание ПМ СКВ СНКВ в случае использования ТНТ	150 - 300 (новые) 150 - 450 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 150-400)
Промышленный котел; Топливо: Газ	Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> или СКВ, или СНКВ	50 - 100 (новые и существующие) (промышленность, другие значения: новые и существующие: 50-120)
<b>Котлы 100 - 300 МВт<sub>Тепл.эн.</sub></b>		
Котел; Топливо: Уголь	Сочетание ПМ совместно с СКВ, или комбинированные технологии	90 - -200 (новые) 90 - 200 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 100-200, существующие установки: 90-300)
Котел; Топливо: бурый уголь	Сочетание ПМ	100 - 200 (новые) 100 - 200 (существующие) (промышленность, другие значения: существующие установки: 100-450)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в слое под давлением СЖТ в кипящем слое, топливо: каменный, бурый уголь	Сочетание ПМ, при необходимости, совместно с СНКВ	100 - 200 (новые) 100 - 200 (существующие) (промышленность, другие значения: существующие установки: 100-300)
Котел; Топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ, при необходимости, СНКВ и/или СКВ	150 - 200 (новые) 150 - 250 (существующие)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в кипящем слое, топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ	150 - 200 (новые) 150 - 250 (существующие)
Котел, топливо: Нефть	Сочетание ПМ совместно с СНКВ, СКВ или комбинированные технологии	50 - 150 (новые) 50 - 200 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 50-200; существующие установки: 50-450)
Промышленный котел; Топливо: Газ	Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> или СКВ, или СНКВ	50 - 120 - 100 (3% O <sub>2</sub> ) (промышленность, другие значения: 50-120)
<b>Котлы &gt;300 МВт<sub>Тепл.эн.</sub></b>		
Котел; Топливо: Уголь	Сочетание ПМ совместно с СКВ, или комбинированные технологии	90 - 150 (новые) 90 - 200 (существующие)
Котел; Топливо: бурый уголь	Сочетание ПМ	50 - 200 (новые) 50 - 200 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 100-200; существующие установки: 100-450)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в слое под давлением СЖТ в кипящем слое, топливо: каменный, бурый уголь	Сочетание ПМ	50 - 150 (новые) 50 - 200 (существующие) (промышленность, другие значения: существующие установки: 100-200)
Котел; Топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ, при необходимости, СКВ и/или СНКВ	50 - 150 (новые) 50 - 200 (существующие)
СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в кипящем слое, топливо:	Сочетание ПМ, при необходимости	50 - 150 (новые)

биомасса и торф	СКВ или и СНКВ	50 - 200 (существующие)
Котел, топливо: нефть	Сочетание ПМ совместно с СКВ, или комбинированные технологии	50 - 100 (новые) 50 - 150 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 50-200; существующие установки: 50-400)
Новые ГТКЦ без дожига	Горелки сухого сжигания с малым выбросом NO <sub>x</sub> и предварительным смешиванием или СКВ	20-50
Существующие ГТКЦ без дожига	Горелки сухого сжигания с малым выбросом NO <sub>x</sub> или впрыск воды и пара, или СКВ, если требуется пространство	20-90 (промышленность, другие значения, существующие установки: 80-120)
Новые ГТКЦ с дожигом	Горелки сухого сжигания с малым выбросом NO <sub>x</sub> и горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> для котельной части, или СКВ, или СНКВ	20-50
Существующие ГТКЦ с дожигом	Горелки сухого сжигания с малым выбросом NO <sub>x</sub> и горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> для котельной части или СКВ, если требуется место, теплоутилизационный парогенератор или СНКВ	20-90 (промышленность, другие значения, существующие установки: 80-140)
Промышленный котел; Топливо: Газ	Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> или СКВ, или СНКВ	50 - 100 (3% O <sub>2</sub> ) (промышленность, другие значения: 50-120)
<b>Существующие газовые турбины</b>		
Топливо: природный газ	Впрыск воды и пара или СКВ	50-90 (промышленность, другие значения: 80-120)
Топливо: дизельное топливо или технологический газ	Впрыск воды и пара или СКВ	
<b>Новые газовые турбины</b>		
Топливо: природный газ	Горелки сухого сжигания с малым выбросом NO <sub>x</sub> и предварительным смешиванием или СКВ	20-50
Топливо: дизельное топливо или технологический газ	Мокрый СКВ	
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p>Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными, исходя из того, что объемное содержание кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива, 6% для твердого топлива и 15% для газовых турбин.</p>		

### 7.3.3.3 Пыль

Выброс пыли происходит в процессе сгорания, в особенности, при использовании тяжелого нефтяного топлива и угля. К апробированным технологиям для удаления пыли в энергоустановках относятся тканевые фильтры и электрофильтры (ЭФ) [6]

**Электрофильтры (ЭФ)** представляют собой технологию регулирования выбросов, наиболее широко используемую на энергетических установках, работающих на угле [5]. Они удаляют частицы из потока газа за счет использования электрической силы. Частицы заряжают, пропуская их через корону, область, в которой находятся ионы газа. Электрическое поле, притягивающее заряженные частицы к стенкам, излучается электродами при высоком напряжении в центре пути потока [7].

Рассматриваемые устройства регулирования выбросов удаляют пыль, включая твердые частицы размером, равным 10 и 2,5 микрон или менее, а также опасные загрязнители воздуха в твердой форме, например, большинство оксидов металлов [7].

Электрофильтры используют в большинстве установок сжигания на твердом и жидком топливе, они имеются в наличии для небольших и крупных установок сжигания [1].

**Тканевые фильтры (мешочные пылеуловители)** широко используют во всем мире для удаления частиц. Фильтрующий тканевый элемент включает в себя один или несколько изолированных отделений, содержащих ряды тканевых мешков в виде круглых, плоских или профильных трубок или гофрированных фильтрующих элементов. Газ с частицами проходит вверх по поверхности мешков, а затем радиально через ткань. Частицы собираются на верхней поверхности мешков, и происходит сброс потока очищенного газа в атмосферу [8]. Рассматриваемые устройства регулирования выбросов удаляют пыль, включая твердые частицы размером, равным 10 и 2,5 микрон, а также опасные загрязнители воздуха в твердой форме, например, большинство оксидов металлов [9]. Выбор ЭФ или тканевой фильтрации, в общем случае, зависит от типа угля, размера установки, типа и конфигурации котла [5].

**Мокрые очистители** представляют собой устройства регулирования выбросов, удаляющие пыль и кислые газы из потоков отработанного газа из стационарных источников, при условии, что уровень ТЧ уже находится в подходящем диапазоне для того, чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию очистителя (если не требуется другая технология регулирования выбросов ТЧ до ДДГ). Низкие капитальные затраты на приобретение мокрого очистителя по сравнению со стоимостью ЭФ и мешочных пылеуловителей обеспечивают их потенциальную привлекательность для промышленного использования, хотя это может компенсироваться относительно большим падением давления и эксплуатационными расходами [3]. Загрязнители, в первую очередь, удаляют за счет абсорбции загрязнителя каплями жидкости. Жидкость, содержащую загрязнитель, затем собирают для утилизации. Существует множество типов мокрых очистителей, которые удаляют как кислый газ, так и пыль.

#### НДТ для удаления пыли

##### Сжигание каменного и бурого угля

Для удаления пыли из отходящих газов из новых и существующих установок сжигания, работающих на каменном и буром угле, НДТ является использование ЭФ или ТФ, при этом ТФ, как правило, обеспечивает уровень выбросов менее 5 мг/м<sup>3</sup>. Циклоны и механические уловители, взятые в отдельности, не являются НДТ, но их можно использовать на этапе предварительной очистки. Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, ниже для установок сжигания более 100 МВт<sub>тепл.эн.</sub>, в особенности свыше 300 МВт<sub>тепл.эн.</sub>, поскольку технология мокрой ДДГ, которые уже составляют часть НДТ для десульфуризации, также уменьшают выбросы пыли [10].

##### Сжигание биомассы и торфа

Для удаления пыли из отходящих газов из новых и существующих установок сжигания, работающих на биомассе и торфе, НДТ является использование ТФ или ЭФ. При использовании топлива с низким содержанием серы, например, биомассы, потенциал снижения эксплуатационных характеристик ЭФ снижается пропорционально концентрации диоксида серы в дымовом газе. В данном контексте ТФ, который обеспечивает выбросы пыли приблизительно в 5 мг/Нм<sup>3</sup>, является предпочтительным вариантом для уменьшения выбросов пыли. Циклоны и механические уловители, взятые в отдельности, не являются НДТ, но их можно использовать на этапе предварительной очистки [10].

##### Сжигание жидкого топлива

Для удаления пыли из отходящих газов из новых и существующих установок сжигания, работающих на жидком топливе, НДТ является использование ТФ или ЭФ. Циклоны и механические уловители, взятые в отдельности, не являются НДТ, но их можно использовать на этапе предварительной очистки. Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, ниже для установок сжигания более 300 МВт<sub>тепл.эн.</sub>, поскольку технология ДДГ, являющаяся частью НДТ для выполнения десульфуризации, также обеспечивает сокращение выбросов пыли [10].

**Таблица 3 Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов пыли с сопутствующими уровнями выбросов в установках сжигания (ПМ означает первичные меры)**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровень выбросов пыли, ассоциируемый с НДТ <sup>1</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
<b>Котлы 50 - 100 МВт<sub>тепл.эн.</sub></b>		
Котел; Топливо: каменный и бурый уголь	ЭФ или ТФ	< 5 - 20 (новые) (промышленность, другие значения: новые установки: 10-50) < 5 - -30 (существующие) (промышленность, другие значения: существующие установки: 20-100)

СЖТ в циркулирующем слое, Топливо: каменный, бурый уголь	ЭФ или ТФ	
Котел; Топливо: биомасса и торф СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в кипящем слое, топливо: биомасса и торф	ЭФ или ТФ	5 - 20 (новые) 5 - 30 (существующие)
Котел, топливо: Нефть	ЭФ или ТФ	5 - 20 (новые) 5 - 30 (существующие) (промышленность, другие значения: новые и существующие установки: 10-50 ЭФ)
<b>Котлы 100 - 300 МВт<sub>тепл.эн.</sub></b>		
Котел; Топливо: каменный и бурый уголь	ЭФ или ТФ в сочетании с ДДГ	< 5 - 20 (новые) 5 - 25 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 10-30; существующие установки: 10-100 ЭФ/ТФ; 10-50 в сочетании с мокрой ДДГ)
СЖТ в циркулирующем слое, Топливо: каменный, бурый уголь	ЭФ или ТФ	< 5 - 20 (новые) 5 - 25 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 10-30; существующие установки : 10-100 ЭФ/ТФ; 10-50 в сочетании с мокрой ДДГ)
Котел; Топливо: биомасса и торф СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в кипящем слое; Топливо: биомасса и торф	ЭФ или ТФ	5 - 20 (новые) 5 - 20 (существующие)
Котел, Топливо: Нефть	ЭФ или ТФ в сочетании с ДДГ	5 - 20 (новые) < 5 - 25 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 5-30, существующие установки: 5-50)
<b>Котлы &gt;300 МВт<sub>тепл.эн.</sub></b>		
Котел; Топливо: каменный и бурый уголь	ЭФ или ТФ в сочетании с ДДГ	< 5 - 10 (новые) 10 - 20 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 10-30, существующие установки: 10-100; 10- 50 в сочетании с мокрой ДДГ)
СЖТ в циркулирующем слое; Топливо: каменный, бурый уголь	ЭФ или ТФ	< 5 - 20 (новые) 5 - 20 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 10-30, существующие установки: 10-100; 10- 50 в сочетании с мокрой ДДГ)
Котел; Топливо: биомасса и торф СЖТ в циркулирующем слое; СЖТ в кипящем слое, топливо: биомасса и торф	ЭФ или ТФ	5 - 20 (новые) 5 - 20 (существующие)
Котел; Топливо: Нефть	ЭФ или ТФ в сочетании с ДДГ	< 5 - 10 (новые) 5 - 20 (существующие) (промышленность, другие значения: новые установки: 5-30, существующие установки: 5-50)
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p>Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными, исходя из того, что объемное содержание кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива, 6% для твердого топлива.</p>		

### 7.3.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

#### 7.3.4.1 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>

Таблица 4 Ориентировочная стоимость реализации технологий уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> для котельных установок (1999 евро, Управление охраны окружающей среды)

Меры регулирования	Стандартные достижимые уровни уменьшения выбросов	Используемая емкость (МВт <sub>эл.эн.</sub> )	Ориентировочные капитальные затраты €/кВт <sub>эл.эн.</sub>	Ориентировочные эксплуатационные затраты €/кВтч
ИКВ <sup>1</sup>	80-90%	Различная	30-70 <sup>2</sup>	11-14 €/кВт <sub>эл.эн.</sub> /а <sup>2</sup>
СНКВ	30-50%	Различная	14	0.0011
Дожигание	50-75%	Различная	42	0.0011
Рециркуляция дымового газа	15-45%	Различная	14	0.00014
Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub>	30-50%	Различная	14	0

<sup>1</sup> Следует отметить, что проект СКВ в значительной степени зависит от места применения, что затрудняет определение капитальных затрат

<sup>2</sup> J. Theloke, B. Calaminus, F. Dünnebeil, R. Friedrich, H. Helms, A. Kuhn, U. Lambrecht, D. Nicklaß, T. Pregger, S. Reis, S. Wenzel (2007): Maßnahmen zur Einhaltung der Emissionshöchstmengen der NEC Richtlinie, Umweltbundesamt, Texte 36/07, 498 pp. (данные по затратам на стр. 162)

#### 7.3.4.2 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов SO<sub>x</sub>

В таблице 5 приведен ориентировочный диапазон расходов для технологий уменьшения выбросов серы, описанных выше. Тем не менее, при применении указанных технологий в конкретных случаях следует отметить, что капитальные затраты на мероприятия по уменьшению выбросов зависят, помимо прочего, от используемых технологий, требуемых систем регулирования выбросов, размера установки, необходимого объема уменьшения выбросов и временных рамок для реализации запланированных циклов технического обслуживания. Эксплуатационные расходы и затраты на техническое обслуживание для очистителей SO<sub>2</sub> в котельных установках возрастают при повышении содержания серы, поскольку требуется больше реагентов для обработки одного и того же объема газа [11]. Таблица 5 Ориентировочные затраты на технологии уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> для котельных установок (2001 евро, EPA).

Меры регулирования	Используемая емкость МВт <sub>тепл.эн.</sub>	Капитальные затраты €/кВт	Эксплуатационные расходы и затраты на ТО €/кВт	Годовые затраты €/кВт	Стоимость на тонну удаленного загрязнителя €/т
Мокрый очиститель	>400	104 - 262	2 - 8	21 - 52	210 - 523
Мокрый очиститель	<400	262 - 1572	8- 21	52 - 210	523 - 5230
Сухой очиститель	>200	41- 157	4- 11	21 - 52	157 - 314
Сухой очиститель	<200	157 - 1572	11 - 314	52 - 523	523 - 4190

#### 7.3.4.3 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов пыли

Таблица 6 Ориентировочная стоимость реализации технологий уменьшения выбросов пыли для котельных установок (1999 евро, Управление охраны окружающей среды)

Меры регулирования	Стандартные достижимые уровни уменьшения выбросов	Используемая емкость	Ориентировочные капитальные затраты €/кВт	Ориентировочные эксплуатационные затраты €/кВтч
ЭФ	Снижение до уровня менее 25 мг/м <sup>3</sup>	Различная	35	0,00042
Тканевые фильтры	Снижение до уровня менее 25 мг/м <sup>3</sup>	Различная	14	0,0015

### 7.3.5 Список литературы, использованной в главе 7.3

- [1] Technical background documents for the actualisation and assessment of UN/ECE protocols related to the abatement of the Transboundary Transport of nitrogen oxides from stationary sources, DFIU, 1999
- [2] Environment Agency, 2002: V2. 03 27.07.05, IPPC Sector Guidance Note Combustion Activities
- [3] European Commission. 2006: Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants
- [4] Multipollutant emission control technology options for coal fired power plants, US EPA 20005.
- [5] <http://www.iea-coal.org.uk/site/ieacoal/home>
- [6] IFC 2007. International Finance Corporation (World Bank Group): Environmental, Health, and Safety Guidelines for Thermal Power Plants
- [7] US Environmental Protection Agency (US EPA). EPA-452/F-03-028, Air Pollution Control Technology Fact Sheet-Dry Electrostatic Precipitator (ESP)-Wire-Plate Type
- [8] US Environmental Protection Agency (US EPA). EPA-452/B-02-001, Section 6, Chapter 2, Wet Scrubbers for Particulate Matter
- [9] US Environmental Protection Agency (US EPA). EPA-452/F-03-026.025.024, Air Pollution Control Technology Fact Sheet-Fabric Filters
- [10] UNECE 2006. Draft background document: Assessment of technological developments: Best available techniques (BAT) and limit values. Submitted to the Task Force on Heavy Metals of UNECE CLTRAP
- [11] US Environmental Protection Agency (US EPA). EPA-452/F-03-034, Air Pollution Control Technology Fact Sheet-Flue Gas Desulphurization-Wet, Spray Dry, and Dry Scrubber



## **7.4 Установки переработки минерального масла и газа, выбросы SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и пыли**

### **7.4.1 Объем рассматриваемой информации**

В разделе рассмотрены выбросы в ходе процессов сжигания в установках переработки, где сжигается непромышленное топливо или смесь промышленного и непромышленного топлива, для установок каталитического крекинга в псевдоожиженном слое и регенерации серы.

Топливо для установок переработки значительно различается по своей природе и включает в себя жидкое и газообразное топливо, часто используемое в комплексе. Значительную часть топлива, используемого для промышленных нагревательных устройств, составляет неконденсирующийся газ. Различные процессы добавляют большое количество веществ к неконденсирующемуся газу, в результате чего возникают различные типы выбросов. Другие виды топлива, используемые в установках переработки минерального топлива, включают в себя природный газ, нефтяной кокс, тяжелое нефтяное топливо или другие остатки, образовавшиеся в результате атмосферной и вакуумной дистилляции, флюид-каталитического крекинга (ФКК) и термального каталитического крекинга (ТКК). Процессы переработки, такие как ФКК, могут предусматривать сжигание кокса, уложенного на катализатор, и CO, а также дополнительного топлива для образования пара. Нефтяной кокс может использоваться в качестве исходного сырья для газификации, но это не слишком распространено.

Многие установки переработки выводят продукты сжигания через общую трубу. К выбросам с установок переработки, появляющимся в результате ключевых процессов, относятся NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> и пыль.

### **7.4.2 Источники выбросов**

Далее основное внимание уделено выбросам при процессах, используемых в производстве очищенных продуктов из неочищенной нефти. К ним относятся промышленные нагревательные устройства и котлы, устройства генерации и регенерации энергии, каталитического крекинга и регенерации серы.

#### **Промышленные нагревательные устройства и котлы**

При большинстве процессов переработки необходимо использовать тепло для повышения температуры сырья до требуемого уровня. Промышленные нагревательные устройства и котлы являются основными производителями тепла. Промышленные нагревательные устройства, по большей части, устанавливаются при атмосферной дистилляции, перед вакуумной дистилляцией, перед установками ФКК и перед установками переработки серы. Установки переработки можно снабдить большим количеством промышленных нагревательных устройств, работающих на различном сырье. [1].

**Газотурбинные установки** применяют для трансформации тепловой энергии в механическую. В них используется постоянный поток газа (по большей части, воздуха), сжатого и воспламеняемого с газообразным или жидким топливом (иногда непромышленным). Паровые турбины используют для преобразования давления пара в энергию. Процессы с комбинированным циклом объединяют процессы для газовых и паровых турбин для производства электроэнергии с более высокой производительностью, чем при использовании турбин открытого цикла.

Процесс **комплексной газификации с комбинированным циклом (КУГКЦ)** - это технология производства пара, водорода и электроэнергии из многочисленных типов низкосортного топлива. Газифицированное твердое топливо сжигают в камере сгорания газовой турбины. Выбросы из КУГКЦ невелики. Помимо того, существует технология для остатков тяжелого топлива. Тем не менее, данный процесс еще не полностью введен в коммерческое обращение, несколько демонстрационных установок, в основном, приблизительно в 250 МВт<sub>эл.эн.</sub>, функционируют в Европе и США.

**Флюид-каталитический крекинг (ФКК)** является наиболее широко используемым процессом преобразования тяжелых углеводородов в более ценные низкокипящие углеводороды. При нем используется тепло и катализатор для расщепления более крупных молекул углеводородов на более мелкие, легкие молекулы. Установка каталитического крекинга обычно входит в состав комплекса обработки, включающего газогенераторную установку, обработку амином легких (включая C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub>) газов и обработку потоков различных продуктов. [3]

**К установкам регенерации серы (УРС)**, как правило, относятся установки Клауса и переработки остаточных газов. Они регенерируют элементарную серу из H<sub>2</sub>S, восстановленного в секции удаления кислого газа и переработки остаточных газов, которые максимально увеличивают общую регенерацию серы. Они работают по принципу неполного сжигания потока обогащенного серой газообразного водорода и несгоревшего сероводорода в присутствии катализатора для получения элементарной серы. [3]

### 7.4.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

#### 7.4.3.1 SO<sub>2</sub>

Выброс сероводорода непосредственно зависит от содержания серы в используемом нефтезаводском газе и нефтяном топливе. В остатках тяжелого нефтяного топлива, как правило, содержатся значительные количества серы и азота, в основном, в зависимости от их источника, и неочищенная нефть [2].

Существуют различные технологии десульфуризации дымового газа с эффективностью удаления SO<sub>2</sub> от 50 до 99,99%. В общем случае, удаление SO<sub>2</sub> из дымового газа происходит посредством мокрых очистителей (известь/известняк, метод Веллман-Лорд, морская вода, технология получения серной кислоты методом "мокрого катализа"), распылительных сухих очистителей, ввода сорбента и регенеративных процессов. При использовании мокрой извести/известняка можно добиться скорости восстановления от 90 до 98%. При добавлении присадок и использовании распылительных сухих очистителей можно добиться скорости восстановления более 92%. Тем не менее, указанные значения эффективности зависят от исходных концентраций, размера установок и их конкретного применения.

В общем, уменьшение потребления топлива рассматривается в качестве НДТ.

Использование топлива с низким содержанием серы для всей совокупности очищенных видов жидкого топлива, достигаемое, например, за счет гидродесульфуризации, считается НДТ, а также ДДГ для крупных котлов/печей в тех случаях, когда это экономически выгодно. Еще одним возможным вариантом является переход на другие виды топлива.

При каталитическом крекинге уменьшение выбросов SO<sub>2</sub> достигается за счет использования надлежащей комбинации: гидрообработки сырья, если это экономически и технически выгодно, присадок для уменьшения содержания серы, ДДГ регенеративного газа с эффективностью 95 – 99% (требуемый уровень выбросов зависит от нерегулируемого уровня), что считается НДТ. [3]

Мокрая очистка (например, очистка методом Веллмана-Лорда) является одним из вариантов для ДДГ, соответствующим образом разработанным процессом, который, как правило, обеспечит эффективность удаления SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> и твердых частиц. При использовании колонны дополнительной обработки для окисления NO до NO<sub>2</sub> может также происходить частичное удаление NO<sub>x</sub>. [3]

До восстановления элементарной серы в УРС необходимо отделить топливные газы (в первую очередь, метан и этан) от сероводорода. При этом, как правило, сероводород растворяют в химическом растворителе (абсорбция). Наиболее часто используемыми растворителями являются амины. [3]

Для установок регенерации серы (УРС) НДТ предусматривает применение ступенчатого УРС, включая очистку остаточных газов с приведенной ниже эффективностью регенерации (на базе подачи кислого газа в УРС), диапазон зависит от экономической эффективности. [3]

**Таблица 1 Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов SO<sub>x</sub> с сопутствующими уровнями выбросов в установках переработки минерального топлива**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровень выбросов SO <sub>x</sub> , ассоциируемый с НДТ <sup>1</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
Тип топлива: нефтезаводской газ		
Нагреватели, котлы, газовые турбины	Использование технологий удаления серы для топливного газа Мониторинг	5 – 20 <sup>1</sup> при использовании топливного газа очисткой нефтезаводского газа
Тип топлива: Жидкое топливо		

<sup>1</sup> Поскольку значения выражены в сухом эквиваленте, указанную величину следует регулировать для смесей углеводородов-водорода. Таким образом, диапазон верхних значений увеличивается пропорционально содержанию водорода в топливе со значением 35 при концентрации H<sub>2</sub> в топливе 50% от значения

Нагреватели, котлы	Сочетание: гидродесульфуризация Использование технологий ДДГ (если это целесообразно и экономически выгодно)	50 – 850 для всего диапазона неконденсирующегося жидкого топлива
Каталитический крекинг		
Каталитический крекинг	Подходящее сочетание: Гидрообработки сырья, если это экономически и технически оправдано Присадок для уменьшения содержания серы ДДГ регенеративного газа	10-350
Установки регенерации серы (УРС)		
Скорость регенерации серы <sup>2</sup>	Новые установки Существующие установки	99,5-99,9% 98,5-99,5%
Установка регенерации серы	Ступенчатое УРС	400-2000
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p><sup>2</sup> Скорость регенерации серы представляет собой среднегодовое процентное отношение добавленного H<sub>2</sub>S, преобразуемого в элементарную серу</p> <p>Данные по кислороду: сухая масса, 3% для сжигания, 15% для газовых турбин</p>		

#### 7.4.3.2 NO<sub>x</sub>

Выбросы неконденсирующегося NO<sub>x</sub>, в первую очередь, осуществляются из установок сжигания и каталитического крекинга. Кроме соответствия типа топлива, выбросы NO<sub>x</sub> зависят от типа топлива, от содержания азота в топливе (жидкое топливо) или содержания водорода, а также содержания C3+ (газообразное топливо), конструкции горелок и нагревателей, а также условий эксплуатации.[4]

В общем случае, уменьшение потребления топлива и замена существующих горелок горелками с малым выбросом NO<sub>x</sub> во время крупных плановых остановов рассматривается в качестве НДТ.

Для нагревателей и котлов, работающих на газовом топливе, применение подходящего сочетания следующих первичных и вторичных мер, позволяющее добиться уровня выбросов от 20 до 150 мг/Нм<sup>3</sup>, рассматривается в качестве НДТ [3]:

- Конструкция печей/котлов с высоким тепловых КПД с оптимальными системами регулирования
- Технология горелок с малым выбросом NO<sub>x</sub>
- Циркуляция дымового газа в котлах
- СКВ или СНКВ

Для нагревателей и котлов, работающих на комбинации газа и жидкого топлива (жидкое топливо в качестве преобладающего) применение соответствующего сочетания следующих первичных и вторичных мер, позволяющее добиться уровня выбросов от 55 до 300 мг/Нм<sup>3</sup>, рассматривается как НДТ [3]:

- Топливо с низким содержанием азота

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

- Технология горелок с малым выбросом NOx
- Циркуляция дымового газа в котлах
- Технология дожигания
- СКВ или СНКВ для жидкого топлива, более тяжелого, чем газойль

Для газовых турбин применение подходящего сочетания следующих первичных и вторичных мер, позволяющее добиться уровня выбросов от 20-75 мг/Нм<sup>3</sup>, рассматривается в качестве НДТ [3]:

- Добавление разбавителя
- Камеры сухого сгорания с малым выбросом NOx
- СКВ

**Таблица 2 Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов NOx с сопутствующими уровнями выбросов в установках переработки минерального топлива**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровень выбросов NO <sub>x</sub> , ассоциируемый с НДТ <sup>1</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
Тип топлива: нефтезаводской газ		
Нагреватели, котлы	<ul style="list-style-type: none"> <li>- конструкции с высоким тепловым КПД с оптимальными системами регулирования</li> <li>- горелки с малым выбросом NOx</li> <li>- циркуляция дымового газа в котлах</li> <li>- СКВ или СНКВ.</li> </ul>	20 - 150 <sup>2</sup>
Газовые турбины, сжигающие газ или легкое жидкое топливо	<ul style="list-style-type: none"> <li>- добавление разбавителя</li> <li>- камеры сухого сгорания с малым выбросом NOx</li> <li>- СКВ</li> </ul>	20 – 75 (более низкие уровни для природного газа и более высокие уровни для небольших газовых турбин и нефтезаводское топливо)
Тип топлива: тяжелое жидкое топливо (большая часть)		
Нагреватели, котлы	<ul style="list-style-type: none"> <li>- жидкое топливо с низким содержанием азота</li> <li>- горелки с малым выбросом NOx</li> <li>- циркуляция дымового газа в котлах</li> <li>- СКВ или СНКВ для жидкого топлива, более тяжелого, чем газойль</li> </ul>	55 - 300 <sup>2</sup>
Каталитический крекинг		
Каталитический крекинг	Печь/котел СО для условий частичного окисления для установок полного сжигания	100-300 300-600
	Сочетание (если это экономически целесообразно): модификации конструкции и функционирование регенератора, гидрообработки сырья, СКВ, СНКВ	40-150
<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.		
<sup>2</sup> В СНДТ ЕС существует несколько разных взглядов касательно СЗВ НДТ		
Данные по кислороду: сухая масса, 3% для сжигания, 15% для газовых турбин		

### 7.4.3.3 Пыль

Основными источниками выбросов твердых частиц при переработке являются промышленные нагревательные устройства и котлы, работающие на жидком тяжелом нефтяном топливе, установки каталитического крекинга, коксовые заводы, мусоросжигатели, коксоудаление и продувка сажи у нагревателей и факела.

Уровни выбросов твердых частиц зависят от различных параметров, например, типа топлива, конструкции горелки и концентрации кислорода на выходе радиационной секции и могут значительно изменяться.

Выбросы твердых частиц из печи и котлов, работающих на тяжелом нефтяном топливе, состоят из смеси пепла, сажи и несожженного углерода. Минеральные частицы являются естественным компонентом неочищенной нефти и превращаются в пепел при сжигании более тяжелого нефтяного топлива. Сажа и несожженный углерод возникают при наличии несовершенств в процессе сжигания.

Размер твердой частицы из нагревателей и котлов, работающих на тяжелом нефтяном топливе, находится на уровне 1 м. Наиболее часто используемой технологией удаления твердых частиц, в основном, является ЭФ. Применение подходящего сочетания следующих технологий рассматривается в качестве НДТ для уменьшения выбросов твердых частиц:

- Уменьшение потребления топлива
- Максимальное увеличение использования газа и жидкого топлива с низким содержанием пепла
- Улучшенное распыление жидкого топлива
- Использование ЭФ или фильтров для дымового газа нагревателей и котлов при сжигании тяжелого жидкого [3]

**Таблица 3 Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов пыли с сопутствующими уровнями выбросов в установках переработки минерального топлива**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровень выбросов пыли, ассоциируемый с НДТ <sup>1</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> )
Тип топлива: тяжелое жидкое топливо (большая часть)		
Нагреватели, котлы	Сочетание - Уменьшение потребления топлива - Максимальное увеличение использования газа и жидкого топлива с низким содержанием пепла - Распыление пара на жидком топливе - Использование ЭФ или фильтров	5 – 20 [3] (промышленность, другие значения: 5-50)
Регенераторы ФКК	технологические мероприятия, ЭФ, механические фильтры, циклоны третьей ступени, очистители уровень) за счет подходящего сочетания:	10-40 <sup>2</sup> [5]
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p><sup>2</sup> При наличии технических трудностей при модернизации существующего ЭФ могут возникнуть затруднения при достижении верхнего предела. В данных случаях 50 рассматривается как наиболее вероятное достижимое значение [3]</p> <p>Данные по кислороду: сухая масса, 3% для сжигания, 15% для газовых турбин</p>		

#### **7.4.4 Развивающиеся технологии**

Развивающиеся технологии в сфере уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> включают в себя захват SO<sub>2</sub> из дымового газа и последующее преобразование в жидкую серу, а также биологическое удаление H<sub>2</sub>S [3].

#### **7.4.5 Список литературы, использованной в главе 7.4**

- [1] O. Rentz, D. Oertel: Process Furnaces, SNAP Code 01 03 06, In: Atmospheric Emission Inventory Guidebook, CD-Rom, 1996
  - [2] Environment Agency: Guidance for the gasification, liquefaction and refining sector, 2003
  - [3] European commission: Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), February 2003
  - [4] O. Rentz, S. Nunge, M. Laforsch, T. Holtmann: Technical Background Document for the Actualisation and Assessment of UN/ECE Protocols related to the Abatement of the Transboundary Transport of Nitrogen Oxides from Stationary Sources, Task Force on the Assessment of Abatement Options/Techniques for Nitrogen Oxides from Stationary Sources, Karlsruhe, September 1999
  - [5] J. Schacht, J. Courtheyn: ESP units realise major dust emission reduction at Total Refinery Antwerp. Total Refinery Antwerp, presented at Dustconf 2007
- M. Glenny (BP Kwinana), Th. Darde & I. Mcrae (Pall Corp) : BP Australia Installs & Commissions Pall GSS 3rd Stage Blowback Filter System to Reduce RCCU Flue Gas Emissions, 2004
- Concawe Report 4/09 "Refining BREF review – Air Emissions" Prepared by the CONCAWE Air Quality Management Group's Special Task Force on Integrated Pollution Prevention and Control (AQ/STF-70), 2009

## **7.5 Установки переработки минерального топлива и газа, выбросы летучих органических соединений**

### **7.5.1 Объем рассматриваемой информации**

В данной главе рассмотрены варианты операций, в результате которых возникают выбросы летучих органических соединений на нефтеперерабатывающих заводах: неорганизованный выброс, факельная система, резервуары для хранения и нефтяные сепараторы. Источники неорганизованных выбросов летучих органических соединений (например, фланцы, насосы или любые единицы оборудования) и потери с резервуаров для хранения жидких продуктов могут стать источником более чем 50% общих выбросов летучих органических соединений. Выбросы летучих органических соединений также происходят при процессах, связанных с сжиганием, и из факелов, но они обеспечивают меньшее количество выбросов летучих органических соединений на установках переработки. Станция отправки для установки переработки рассмотрена в главе 7.23.

### **7.5.2 Источники выбросов**

Источниками выбросов летучих органических соединений являются следующие:

#### **Неорганизованные выбросы летучих органических соединений:**

Неорганизованные выбросы летучих органических соединений происходят из негерметичных компонентов оборудования под давлением в технологических установках, например, клапаны, фланцы и соединители, открытые линии и система отбора проб, содержащие летучие жидкости или газы. Летучие продукты определены в CEN (Европейский комитет по стандартизации) 15446 [9] и документе [10] как все продукты, примерно у 20% которых по весу давление паров выше 0,3 кПа при 20°C.

Объем выбросов летучих органических соединений из уплотнительных элементов зависит от следующего:

- Размер, тип и материал уплотнения,
- Техническое состояние, длительность работы оборудования,
- Давление, температура и физическое состояние продукта. Выбросы больше на тех установках переработки, которые обрабатывают легкие продукты (установки производства топлива).
- Клапаны дают 50-60% неорганизованных выбросов [1]. Основная часть неорганизованных выбросов осуществляется из небольшого количества источников (менее 1% газовых/паровых клапанов могут стать источником более 70% неорганизованных выбросов установки переработки).

#### **Факельные системы:**

Факелы используют для контроля за безопасностью и окружающей средой при выбросах нежелательного или излишнего количества горючих веществ и при пульсациях газов в аварийной ситуации или сбоях оборудования [1]. Выбросы летучих органических соединений с самого факела составляют малую часть общих выбросов нефтезаводских летучих органических соединений. Тем не менее, неорганизованные выбросы могут появиться в результате утечек из компонентов оборудования системы сбора факельного газа.

#### **Сепараторы для разделения нефти и воды:**

Системы очистки сточных вод, применяемые в установках переработки, включают в себя нейтрализаторы, сепараторы для разделения нефти и воды, осадительные камеры, очистители, системы флотации растворенным воздухом и пруды-накопители активированного ила. Если сточные воды загрязнены маслом, после установки переработки их направляют на многоступенчатую очистку воды с помощью нефтяного сепаратора или посредством коагуляции взвеси.

Выбросы из канализационных систем и нефтяных сепараторов, в первую очередь, возникают при испарении летучих органических соединений неметанового ряда с поверхности жидкости, открытой в атмосферу. К прямым источникам относятся процессы с использованием воды для промывки (например, обессоливатель), отгонки кислой воды, а также пара, используемого в эжекторах для производства вакуума. К непрямым источникам относятся утечки из теплообменников, конденсаторов и насосов.

К источникам загрязнений углеводородами относятся [4]:

- Обессоливатели: 40%
- Резервуары для хранения: 20%
- Дренажные системы: 15%
- Другие процессы: 25%

#### **Хранилища неочищенной нефти и летучих продуктов:**

Значительная часть выбросов летучих органических соединений из нефтеперерабатывающих заводов может производиться из резервуаров для хранения неочищенной нефти и летучих продуктов в случае неиспользования НДТ. Данные продукты могут находиться в различных типах резервуаров для хранения в соответствии с их физическими и химическими свойствами, например, резервуары с фиксированной крышей,

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

резервуары с внешней или внутренней плавающей крышей. Резервуары с фиксированной крышей можно использовать только для нефтепродуктов с очень низким давлением пара.

### 7.5.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

НДТ для уменьшения выбросов летучих органических соединений рассмотрены в [1] и [2]:

#### Неорганизованные выбросы летучих органических соединений:

- Определение источника выбросов летучих органических соединений для определения основных источников в каждом конкретном случае,
- Выполнение программы обнаружения утечек и ремонта (ПОУР) или ее эквивалента. В ПОУР надлежащего качества входит определение периодичности измерений, типа проверяемых компонентов, типа используемых веществ, утечек, подлежащих устранению, и срочности выполнения действий,
- Использование системы очистки при техническом обслуживании,
- Выбор и использование герметичных клапанов, таких как клапаны с графитовым уплотнением или их аналоги для линий, содержащих продукты с высоким давлением пара,
- Использование герметичных насосов (например, без уплотнения, с двойным уплотнением, с газонепроницаемым уплотнением или хорошим механическим уплотнением) для линий, содержащих продукты с высоким давлением пара,
- Сквозные вентиляционные и сливные клапаны с индикатором рабочего положения, заглушками или крышками,
- Разгрузочные клапаны на трассе с высоким потенциалом выбросов летучих органических соединений на факел,
- Компрессорные клапаны с высоким потенциалом выбросов летучих органических соединений обратно в процесс, и, если это невозможно, на факел для сжигания,
- Использование полностью замкнутого контура во всех стандартных установках сбора проб, которые могут стать источниками выбросов летучих органических соединений,
- Сведение к минимуму факельного сжигания.

Программа ПОУР основана на следующих принципах [3]:

- 1 Определение утечек и исправление соответствующих пороговых значений,
- 2 Определение частоты осмотров,
- 3 Перечисление и идентификация включенных компонентов,
- 4 Процедуры по ремонту негерметичных компонентов, в зависимости от категории утечки.

Герметизацию оборудования можно выполнить, не прерывая его работы (за исключением клапанов дистанционного управления (например, затяжка болтов для устранения утечек из штоков клапанов или фланцев, установка герметизирующих колпачков на открытые концы...).

Техническое обслуживание с демонтажом оборудования или его заменой можно выполнять только при остановке установки с изоляцией цепей и дегазированием. При этом предусматривается, что в результате применения данного типа технического обслуживания исключительно для уменьшения неорганизованных выбросов расходы станут неприемлемо высокими.

Техническое обслуживание оборудования может заключаться в извлечении отдельных компонентов или замене оборудования новым, работающем по той же технологии (в данном документе обозначается как базовое техническое обслуживание). Также возможна полная замена оборудования, например, клапанов, работающих по новой технологии отсутствия утечек (не рассматривается в данном документе).

#### Водоочистная установка [1]:

- Установка крышек на сепараторы, баки и входной блок и отвода отработанных газов в установку по очистке сточных вод. Внедрение отдельных указанных технологий может снизить эффективность эксплуатации установки по очистке сточных вод или стать фактором опасности при ненадлежащем проектировании и управлении. По указанным выше причинам после модернизации могут возникнуть некоторые технические проблемы.

#### Хранение и обращение [1] и [2]:

- Убедиться, что жидкости и газы хранятся в соответствующих баках или резервуарах, в зависимости от фактического давления пара в хранимых материалах,



- Использование высокоэффективных уплотнений в резервуарах с плавающей крышей (примеры, приведенные в документе [1], отображают нарастающий потенциал уменьшения выбросов с переходом с первичного парового уплотнения от испарения на жидкостное уплотнение 84%),
- Защита насыпью всех хранимых химических веществ, с отдельной защитой насыпью несовместимых веществ,
- Применение мер уменьшения выбросов при очистке резервуаров,
- Применение концепции правильной эксплуатации и природопользования,
- Сведение к минимуму количества цистерн и их объема за счет правильного сочетания поточного смешивания, интеграции обрабатывающих установок, указанные технологии гораздо легче применять на новых установках, например, уравнильных паропроводах, которые переносят вытесненный пар из заполняемого контейнера в опустошаемый. Несовместимость паров в резервуаре и использование резервуаров с внешней плавающей крышей являются отдельными примерами ограничений по применению. Пределы применения должны отражать экономические характеристики, тип и размер используемого резервуара (например, бак, автоцистерна, вагон, судно), тип углеводородных фракций и частоту использования резервуара. Поскольку рассматриваемая технология имеет непосредственное отношение к следующей, следует выполнять их совместную оценку при реализации на конкретной площадке.
- Применение улавливания паров (неприменимо для нелетучих продуктов) в резервуарах, транспортных средствах, судах, и т.д., в особенности, при стационарном использовании и при погрузке/выгрузке. Достижимые уровни выбросов в значительной степени зависят от применения, но улавливание 95 - >99% паров рассматривается как НДТ. Если установки для улавливания паров не считаются приемлемыми для конкретных потоков, установки для разложения паров рассматриваются в качестве НДТ. Свойства потоков, такие как тип вещества, совместимость веществ или их количество следует учитывать при определении применимости данной НДТ. Пределы применения должны отражать экономические характеристики, тип и размер используемого резервуара (например, бак, автоцистерна, вагон, судно), тип углеводородных фракций и частоту использования резервуара. Поскольку рассматриваемая технология имеет непосредственное отношение к приведенной выше, следует выполнять их совместную оценку при реализации на конкретной площадке.
- Уменьшение риска загрязнения почвы за счет применения программы обслуживания с осмотром, в которую могут входить мероприятия по обеспечению надежной эксплуатации, резервуары с двойным дном, непроницаемая обшивка...
- Установка самогерметизирующихся шланговых штуцеров или применение процедур дренажа труб,
- Некоторые другие оптимальные практики.

Внешние и внутренние плавающие крыши могут обеспечивать следующую эффективность для уменьшения выбросов: Сопутствующий уровень выбросов, ассоциированный с НДТ, при внешней плавающей крыше крупного резервуара, составляет, как минимум, 97% (по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без применения каких-либо мер), такой величины можно добиться, если 95% окружности зазора между крышей и стенкой менее 3,2 мм, а уплотнения механические, жидкостного типа. При установке жидкостных первичных уплотнений и вторичных уплотнений, располагаемых по краю, можно добиться уменьшения выбросов в атмосферу до 99,5% (по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без применения каких-либо мер) [2].

Достижимое снижение выбросов для крупного резервуара с внутренней плавающей крышей составляет, как минимум 97% (по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без применения каких-либо мер), такой величины можно добиться, если 95% окружности зазора между крышей и стенкой менее 3,2 мм, а уплотнения механические, жидкостного типа. При применении жидкостных первичных уплотнений и вторичных уплотнений, располагаемых по краю можно добиться более значительного уменьшения выбросов. Тем не менее, чем меньше емкость резервуара и количество циклов, тем менее эффективной является плавающая крыша.

Тем не менее, измерения в источниках выбросов, подвергаемых рассеиванию (например, резервуарах) можно осуществлять только в течение коротких промежутков, экстраполяция для обеспечения ежегодной оценки количества выбросов имеет значительную погрешность, обусловленную временным варьированием выбросов из источников рассматриваемого типа.

Таблица 1: Сопутствующие уровни выбросов с НДТ для уменьшения выбросов летучих органических соединений из резервуара для хранения

Источники выбросов	Сочетание НДТ	Сопутствующие уровни выбросов летучих органических соединений с НДТ
Резервуары для хранения летучих продуктов	Внутренняя плавающая крыша Внешняя плавающая крыша Другая конструкция резервуаров и соответствующая окраска	от 97 до 99,5%, по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без измерения*

\* Если невозможно добиться требуемой эффективности из-за конкретных характеристик резервуара для хранения (таких как малая пропускная способность, небольшой диаметр), следует использовать наилучшие доступные первичные и вторичные меры.

Таблица 2: Сопутствующие уровни выбросов с НДТ для уменьшения выбросов летучих органических соединений при операциях загрузки и выгрузки

Источник выбросов	НДТ и эффективность уменьшения выбросов	Сопутствующие уровни выбросов для НДТ * кг летучих органических соединений /м <sup>3</sup> /кПа [1], [6]
Заполнение автоцистерн, налив снизу или сверху и балансировка паров при предыдущем сливе, а также установки для улавливания паров	Установки для улавливания паров с эффективностью от 95 до 99% [1]	0,0228 x 0,05 до 0,0228 x 0,01
Железнодорожная цистерна, с наливом сверху, а также установки для улавливания паров		0,0108 x 0,05 до 0,0108 x 0,01
Морская цистерна, типовое состояние грузовой цистерны		0,004 x 0,05 до 0,004 x 0,01
Баржа – типовое состояние грузовой цистерны		0,007x 0,05 до 0,007 x 0,01

\*Отсутствует в документе [1], но рассчитывается в документе [6].

кПа: Фактическое содержание паров в летучем продукте.

#### 7.5.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Краткий обзор EGTEI [7] по выбросам летучих органических соединений в установках переработки содержит сведения о стоимости применения технологий уменьшения выбросов летучих органических соединений.

Стоимость программы ПОУР зависит от пороговых значений, определяя источник утечки. В документе [1] содержатся эксплуатационные расходы в диапазоне от 0,04 до 0,08 млн. €/год для 10000 частей на миллион и 0,8 млн. €/год для от 100 до 500 частей на миллион.

#### 7.5.5 Список литературы, использованной в главе 7.5

[1] European Commission

Reference document on best available techniques for mineral oil and gas refineries

BREF – february 2003 – European commission – Available at: <http://eipccb.jrc.es>

[2] European Commission - reference document on BAT on emissions from storage – February 2003 – Available at: <http://eipccb.jrc.es>

[3] EGTEI background document on the organic chemical industry

[4] VAN DER REST A. and others: Best available techniques to reduce emissions from refineries CONCAWE report n°BAT/II – air – February 1999

[5] GOODSSELL P.: Information mail to CITEPA of September 8, 2003. Provided in reference [3]

[6] CONCAWE - Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries Report n°1/2009 (Amending report 2007)

[7] EGTEI synopsis sheets on NMVOC from refineries – October 2005

[8] EPA - Emission factor documentation for AP42 section 7.1 - Organic liquid storage tanks Final report - September 2006

[9] EN15446:2008 Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors -Measurement of fugitive emission of vapours generating from equipment and piping leaks

[10] EPA - Protocol for equipment leak - Emission estimates EPA 453-95-017 – 1995

[11] Edda Hoffmann, UBA Germany: comments on the first version of the guidance document

## 7.6 Коксовые печи

### 7.6.1 Объем рассматриваемой информации

В данном разделе рассматриваются выбросы из коксовых печей при чугуно- и сталелитейном производстве. Дальнейшее использование кокса или коксовых газов не рассмотрено в данном разделе, информацию см. в разделе "Чугуно- и сталелитейное производство".

### 7.6.2 Источники выбросов

При производстве первичного чугуна и стали основной эксплуатационной единицей является доменная печь (см. раздел "Чугуно- и сталелитейное производство"). Кокс, в основном, используется в качестве восстановителя в доменной печи благодаря своим физическим и химическим характеристикам. Его производят из угля в коксовой печи посредством сухой возгонки.

**Батарея коксовых печей:** Кокс производят за счет нагревания смесей угля при отсутствии кислорода. Коксовая печь представляет собой камеру, выполненную из термостойких кирпичей. Простенок коксовой батареи состоит из отопительных каналов с форсунками для подачи топлива и с каналами для впуска воздуха. В общем случае, очищенный коксовый газ используется в качестве топлива, наряду с другими газами, например, доменным. Затем кокс используется, в основном, в качестве восстановителя в доменных печах.

Вследствие высокой стоимости кокса пылеугольное топливо, нефтяное топливо, синтетические материалы и т.д., могут стать его заменителями и использоваться в качестве восстановителя в доменной печи [2]. Отмеченное уменьшение потребления кокса также позволяет снизить общие выбросы при производстве кокса. Некоторые процессы 'прямой' и 'восстановительной выплавки' разработаны для первичного производства чугуна без использования кокса (например, Corex).

### 7.6.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

#### 7.6.3.1 SO<sub>2</sub>

В общем, выбросы SO<sub>2</sub> можно свести к минимуму за счет уменьшения содержания серы в угле.

В процессе коксования сера, содержащаяся в угле, полностью преобразуется в H<sub>2</sub>S и захватывается коксовым газом, который обычно используют после очистки коксового газа, т.е. в качестве топлива для коксовой печи при недожоге. Следовательно, выбросы SO<sub>2</sub> можно свести к минимуму за счет использования коксового угля с более низким содержанием серы, а также посредством надлежащей десульфуризации коксового газа. При недожоге можно использовать коксовый газ и доменный газ.

Использование десульфурированного коксового газа рассматривается в качестве НДТ. Десульфуризация коксового газа системами абсорбции или окислительной десульфуризацией рассматривается в качестве НДТ.

Предотвращение утечек между камерой печи и нагревательной камерой за счет регулярной работы коксовой печи рассматривается в качестве НДТ [2]. В таблице 1 приведены избранные НДТ регулирования выбросов H<sub>2</sub>S с сопутствующими уровнями H<sub>2</sub>S в коксовом газе (для дальнейшего использования в качестве топлива, в т.ч. для недожога в коксовой печи).

**Таблица 1 Избранные НДТ регулирования выбросов H<sub>2</sub>S с сопутствующими уровнями H<sub>2</sub>S в коксовом газе**

	<b>Сочетание мер регулирования</b>	<b>Уровень H<sub>2</sub>S мг/Нм<sup>3</sup> [2]</b>
Коксовый газ	Десульфуризация посредством систем абсорбции	500-1000
	Окислительная десульфуризация	< 500

Сопутствующих уровней выбросов для НДТ можно добиться в течение значительного периода времени при стандартных условиях, что представляет собой типичную нагрузочную ситуацию.

В соответствии с отчетом по внедрению IPPC (Комитет по контролю платежей и развитию инфраструктуры) Германии от 2006 г., выбросы SO<sub>x</sub> из батарей коксовых печей в Германии - во всех применяется десульфуризация коксового газа - находятся в диапазоне 110-250 мг/м<sup>3</sup> при использовании только коксового газа (90% процентилей основаны на средних значениях за полчаса при постоянных измерениях). При использовании смеси газов (смесь, в основном состоящая из коксового и доменного газа, отмеченный уровень выбросов находится в пределах 80-160 мг/м<sup>3</sup>.

### 7.6.3.2 NO<sub>x</sub>

#### Коксовый газ

Выбросы азота при работе коксовой печи возникают, как правило, при реализации тепловых и химических механизмов образования NO<sub>x</sub>. Химическое образование NO<sub>x</sub> происходит вследствие остаточного содержания азотных соединения в коксовом газе после очистки, например, аммиак. Несмотря на это, важен также тип используемого топлива. [1].

Наиболее эффективным способом уменьшения образования NO<sub>x</sub> является уменьшение температуры пламени в нагревательной камере.<sup>1</sup> Следовательно, выбросы NO<sub>x</sub> из коксовой печи, предпочтительно, следует свести к минимуму за счет технологических мероприятий, но также можно использовать природоохранные технологии в конце производственного цикла. Тем не менее, из-за высокой стоимости денитрификация дымового газа (например, СКВ) в настоящее время не применяется, за исключением ограниченного количества новых установок в обстоятельствах, при которых маловероятно соблюдение стандартов качества окружающей среды. [2].

Использование технологий модификации сжигания, например, технологий с низким выбросом NO<sub>x</sub>, ступенчатого сжигания, рассматривается в качестве НДТ для новых батарей. Достижимая величина выбросов NO<sub>x</sub> составляет 500-770 мг/Нм<sup>3</sup>.

**Таблица 2 Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов NO<sub>x</sub> с сопутствующими уровнями выбросов в коксовых печах**

<b>Источник выбросов</b>	<b>Сочетание мер регулирования</b>	<b>Уровень выбросов NO<sub>x</sub> ассоциируемый с НДТ<sup>1</sup> (мг/Нм<sup>3</sup>) [2]</b>
Сжигание коксового газа	Модификация процесса сжигания (на новых установках)	500-770 (5% O <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сопутствующих уровней выбросов при НДТ можно добиться в течение значительного периода времени при стандартных условиях, что представляет собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>2</sup> Согласно отчету по внедрению IPPC Германии от 2006 г. выбросы NO<sub>x</sub> из коксовой печи: 322-414 мг в качестве среднегодового значения от различных установок (при использовании исключительно коксового или смешанного газа).

### 7.6.3.3 Пыль

Информацию по выбросам из доменных печей, где используется коксовый газ, можно найти в разделе "Чугуно- и сталелитейное производство".

Выбросы пыли в коксовых печах возникают, как правило, из источников выбросов пыли, подвергаемых рассеиванию, на коксовой батарее, начиная с погрузки-выгрузки и обработки, рассеивания выбросов из загрузочного отверстия, дверей коксовой печи и выдачи кокса, до тушения кокса.

Выбросы пыли следует предотвращать за счет сведения к минимуму выбросов при загрузке кокса (см. таблицу 3), за счет эффективной герметизации отверстий и надлежащего технического обслуживания, сведения к минимуму утечек между камерой коксовой печи и нагревательной камерой и, в частности, за счет отсасывания пыли при выдаче кокса. Пыль в отработанном газе при недожиге в коксовой печи можно удалить с помощью тканевых фильтров или ЭФ [2] [3].

**Таблица 3 Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов пыли с сопутствующими уровнями выбросов в коксовых печах**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровень выбросов пыли, ассоциируемый с НДТ <sup>1</sup> , мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т) [2]
Загрузка	'бездымная' загрузка или последовательная загрузка предпочтительно, следует использовать двойные восходящие трубы или соединительные трубы; эффективный сбор, последующее сжигание и тканевая фильтрация	< 5 г/т кокса
Выдача	Вытяжка (встроенным) колпаком на устройстве транспортировки газа и обработка газа вытяжки с помощью тканевого фильтра, использование одноточечного коксотушительного вагона	< 5 г/т кокса (выбросы дымовых газов)
Тушение	Мокрое тушение	< 50 г/т кокса
	Сухое тушение кокса	< 5 мг/м <sup>3</sup> (< 6-12 г/т кокса)

<sup>1</sup> Сопутствующих уровней выбросов при НДТ можно добиться в течение значительного периода времени при стандартных условиях, что представляет собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

#### 7.6.4 Развивающиеся технологии

Вследствие высоких затрат и воздействия на окружающую среду при использовании кокса процессы 'прямой' и 'восстановительной выплавки' могут заменить процесс в доменной печи, что, следовательно, устраняет необходимость в производстве кокса [2].

Целью применения так называемых "первоклассных" коксовых печей является, помимо прочего, уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> и пыли.

### **7.6.5 Список литературы, использованной в главе 7.6**

- 
- [1] Technical background documents for the actualisation and assessment of UN/ECE protocols related to the abatement of the Transboundary Transport of nitrogen oxides from stationary sources, DFIU, 1999
  - [2] European commission: Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001
  - [3] European commission: Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, Draft February 2008

## **7.7 Чугуно- и сталелитейное производство**

### **7.7.1 Объем рассматриваемой информации**

В данном секторе рассмотрено производство чугуна и стали (чугуно- и сталелитейное производство на металлургических заводах (агломерационные установки, установки пептизации, батареи коксовых печей, доменные печи и кислородные конвертеры, включая непрерывное литье и разливку в слитки) и производство стали в электродуговой печи) Другие последующие действия, такие как обработка черных металлов в литейных заводах, прокатка или цинкование, рассматриваются в секторе "обработка черных металлов". Выбросы из коксовых печей при чугуно- и сталелитейном производстве рассматриваются в разделе коксовые печи. [1]

### **7.7.2 Источники выбросов**

Чугуно- и сталелитейное производство является материалоемким и энергоемким, при нем более половины вводимой массы выходит в виде отработанных газов и твердых отходов/отходов производства. В общем объеме выбросов большинства загрязнителей преобладают выбросы в атмосферу из агломерационных установок. Помимо агломерационных установок большинство подобных выбросов происходит на установках пептизации, батареях коксовых печей (описано в отдельном разделе данного сектора), доменных печах, при производстве стали кислородно-конвертерным процессом и литье, а также при электросталеплавильном производстве и литье. [1] [2]

#### **Агломерационные установки**

Агломерат представляет собой конечный продукт процесса агломерации железосодержащих материалов и является причиной большинства экологических проблем на сталелитейных предприятиях с законченным циклом производства. Данный продукт получают нагревом слоя измельченного и смешанного сырья (железная руда, кокс, известняк, ...) и выпуском дымовых газов через указанный слой таким образом, что поверхность плавится с образованием агломерата. Агломерационные установки играют крайне важную роль для внутреннего управления материальными потоками на сталелитейных предприятиях с законченным циклом производства, поскольку при данных условиях большинство железосодержащих отходов можно переработать для подачи агломерата с тем, чтобы использовать содержащееся в них железо и, следовательно, экономить сырье. Выбросы отработанных газов из спекшегося материала содержат загрязнители, такие как пыль, тяжелые металлы, SO<sub>2</sub>, хлорид водорода, фторводород, полициклические ароматические углеводороды и хлорорганические компоненты. [1][3]

#### **Установки гранулирования**

Пептизация представляет собой альтернативу процессу агломерации железосодержащих материалов, причем гранулы производят в основном на участке разработки или в порту отгрузки. И вновь, выбросы в атмосферу являются основной причиной экологических проблем. [1] [9]

**Батареи коксовых печей** не рассматриваются в данной части, но описаны в отдельном разделе.

#### **Доменные печи**

Доменные печи до настоящего времени остаются наиболее важным процессом производства чугуна в чушках из железосодержащих материалов. Благодаря использованию углерода и горячего газа происходит их преобразование в чугун в чушках, который впоследствии используют в качестве сырья в сталелитейном производстве. Вследствие большого количества используемых восстановителей (кокс, пылеугольное топливо) данный процесс потребляет большую часть энергии на сталелитейных предприятиях с законченным циклом производства. [1] При этом вырабатывается большой объем технологического газа, который необходимо очистить перед использованием для внутреннего сгорания или внутренней/внешней выработки энергии.

Хотя использование доменных печей является основным процессом производства чугуна, в настоящее время разработаны несколько других маршрутов производства чугуна в чушках. Два основных типа альтернативных процессов производства чугуна включают в себя прямое получение (производство твердого первичного чугуна из железной руды и восстановителя, например, природного газа) и восстановительную выплавку (сочетание прямого получения в одном реакторе с выплавкой в отдельном реакторе,

без использования кокса). COREX представляет собой коммерчески успешный вариант процесса 'восстановительной выплавки' [4]. В рассматриваемых технологиях в качестве восстановителя используется кокс, уголь или природный газ. В некоторых из новых технологий в качестве основного сырья используется крупнокусковая руда и гранулы измельченной железной руды. Твердый продукт обозначается как железо прямого восстановления и используется преимущественно в качестве сырья в электродуговых печах. [4] [9]

#### **Производство стали кислородно-конвертерным процессом и литье**

Производство стали кислородно-конвертерным процессом предназначено для уменьшения содержания углерода и удаления нежелательных примесей, содержащихся в горячем металле из доменной печи. Оно предусматривает предварительную обработку горячего металла, процесс окисления в кислородном конвертере, вторичную металлургическую обработку и литье (непрерывное и/или разливку в слитки). В дополнение к горячему металлу до 25% вторичного металла можно использовать в качестве подаваемого материала. Собранный газ из кислородного конвертера очищают и хранят для последующего использования в качестве топлива, если это экономически целесообразно или обеспечивает соответствующее регулирование потребления энергии. [1] [4]

#### **Электросталеплавильное производство и литье**

Прямую выплавку железосодержащих материалов, в основном, вторичных металлов, обычно выполняют в электродуговой печи. При этом требуется значительное количество энергии и происходят существенные выбросы веществ в атмосферу. Энергопотребление (и соответствующие выбросы CO<sub>2</sub>) при сталеварении в электродуговых печах составляет примерно одну треть от энергопотребления при использовании доменной печи / кислородного конвертера. Применение данного 'производственного маршрута с меньшим выбросом CO<sub>2</sub>', тем не менее, ограничивается наличием вторичного металла и определенными свойствами стали, которые можно получить только в ходе выполнения первичного производственного маршрута. [1]

### **7.7.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

#### **7.7.3.1 SO<sub>2</sub>**

Для **агломерационных установок** выбросы SO<sub>2</sub> можно свести к минимуму за счет снижения поступления серы (использование коксовой пыли и железной руды с низким содержанием серы), при этом можно добиться концентрации выбросов <500 мг SO<sub>2</sub>/Нм<sup>3</sup>. Выбросы SO<sub>2</sub> из агломерационных установок можно также уменьшить за счет использования систем сухой или полусухой адсорбции в сочетании с высокоэффективными фильтрами-пылеуловителями (в составе технологии регулирования выбросов нескольких загрязнителей). При десульфуризации влажного отработанного газа можно добиться уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> >98% и концентрации < 100 мг SO<sub>2</sub>/Нм<sup>3</sup>. Вследствие высоких затрат десульфуризация влажного отработанного газа необходима только в тех случаях, когда вероятно нарушение нормативов качества окружающей среды [1], а также уменьшение эксплуатационной надежности (коэффициент готовности оборудования).

Для **установок гранулирования** удаление пыли, SO<sub>2</sub> и других загрязнителей из отработанного газа с участка отвердения можно осуществлять либо за счет очистки, либо полусухой десульфуризации и последующего удаления пыли (например, абсорбер газозвеси), либо за счет использования любого другого устройства с аналогичной эффективностью удаления. [1]

Добавление адсорбентов, таких как гидратная известь, негашеная известь или зольная пыль с высоким содержанием негашеной извести, можно применять для последующего снижения выбросов SO<sub>2</sub> с их впрыском в отвод отработанного газа перед фильтрацией. [9]



**Таблица 1: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для чугуно- и сталелитейного производства**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Агломерационные установки [1]	<500 (1)	500 в соответствии с СНДТ
Установки пептизации [1]	<20	SO <sub>2</sub> в качестве SO <sub>2</sub> ; использование систем с эффективностью удаления >80%
Доменные печи кауперы (подогреватели дутья)	<200	Связано с содержанием кислорода в 3%  В отчете по внедрению IPPC Германии от 2006 г. диапазон 60-210 мг/м <sup>3</sup> указан в пределах 5% и 95% перцентилей на основании получасовых средних значений при непрерывных измерениях.

<sup>1</sup> Сопутствующих уровней выбросов при НДТ можно добиться в течение значительного периода времени при стандартных условиях, что представляет собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

### 7.7.3.2 NO<sub>x</sub>

Для **агломерационных установок** выбросы NO<sub>x</sub> следует свести к минимуму за счет, например, рециркуляции отработанного газа, денитрификации отработанного газа с применением регенеративной очистки активированным углем или селективного каталитического восстановления. Регенеративная очистка активированным углем и селективное каталитическое восстановление представляют собой варианты уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>, которые еще не применяются в полном масштабе в регионе UN-ECE (Европейская экономическая комиссия ООН) вследствие высокой стоимости (в настоящее время выполняются испытания СКВ на опытных установках на сталелитейном заводе в Европе). [1]

Для **установок гранулирования** в качестве НДТ рассматривается оптимизация их конструкции для повторного использования контактного тепла и снижение выбросов NO<sub>x</sub> на всех участках процесса сгорания (участок отверждения, где применимо, и осушение на участках дробления). [1] Для одной установки гранулирования уровень выбросов NO<sub>x</sub> в 175 г/т гранул достигают исключительно за счет использования технологических мероприятий, и в частности, за счет сочетания малого энергопотребления, низкого содержания азота в топливе (уголь и нефть) и ограничения избытков кислорода. [5]. [6]

Применение современных горелок может способствовать уменьшению выбросов NO<sub>x</sub> в **кауперах доменных печей**.

**Таблица 2: Уровни выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для чугуно- и сталелитейного производства**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Доменная печь (подогреватели дутья) [1]	20-120	Связано с содержанием кислорода в 3%  В отчете по внедрению IPPC Германии от 2006 г. диапазон 20-120 мг/м <sup>3</sup> указан в пределах 5% и 95% процентилей на основании получасовых средних значений при непрерывных измерениях.
Агломерационные установки <sup>1</sup> [6]	300-400 100-120 <sup>2</sup>	Нормальные условия эксплуатации ИКВ <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Сопутствующих уровней выбросов при НДТ можно добиться в течение значительного периода времени при стандартных условиях, что представляет собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>2</sup> Уровень выбросов определен на основе данных, полученных в Японии и Тайване

<sup>3</sup> Вследствие высокой себестоимости денитрификация отработанного газа не применяется, за исключением ситуаций, когда вероятно нарушение нормативов качества окружающей среды.

### 7.7.3.3 Пыль

По возможности, следует использовать тканевые фильтры; снижение содержания пыли до уровня менее 20 мг/м<sup>3</sup> (среднечасовое). Если это невозможно (вследствие повышенной склонности к засорению и воспламеняемости), допускается использовать ЭФ и/или высокоэффективные очистители, уменьшающие содержание пыли до 50 мг/м<sup>3</sup>. При многих вариантах применения тканевых фильтров можно добиться значительно более низких значений. [4] [7]

**Агломерационные установки** могут стать источником наибольшего количества выбросов пыли на комплексных сталепрокатных заводах, которые, в первую очередь, возникают при обработке материалов и при агломерации на участке. Более того, пыль (наряду с полихлорированным дибензодоксином/дибензофураном) является наиболее важным загрязнителем на агломерационных установках, и удаление пыли из отработанного газа рассматривается в качестве НДТ, например, за счет применения современной технологии электростатического улавливания (ЭФ с движущимся электродом, импульсная система ЭФ, работа ЭФ под высоким напряжением) или электростатического улавливания плюс тканевый фильтр, или предварительного удаления пыли (например, ЭФ или циклон), плюс системы мокрой очистки под высоким давлением. Наличие мелкой пыли, которая, в основном, содержит щелочь и хлориды свинца, может ограничить эффективность ЭФ. Кроме того, НДТ предусматривает использование вытяжного шкафа и/или вентиляционного колпака, где применимо, с регулированием выбросов, при работах на участке агломерирования, которые являются потенциальными источниками неорганизованных выбросов, а также методов эксплуатации, которые обеспечивают сведение к минимуму неорганизованных выбросов, не задерживаемых вытяжным шкафом или вентиляционным колпаком. Для уменьшения выбросов пыли при переработке материалов следует осуществлять хранение в помещении или закрытых складах, если возможно, а также использовать простое линейное расположение при переработке материалов. Закрытые перегрузочные точки конвейера и склады для хранения нерасфасованного порошка могут в дальнейшем способствовать уменьшению выбросов порошкообразных материалов (наиболее серьезным источником являются неорганизованные выбросы угольной пыли). [1] [4] [9]

Информацию об **установках гранулирования** см. выше (раздел SO<sub>2</sub>).

Для переработки **доменного газа** эффективное удаление пыли рассматривается в качестве НДТ при использовании технологий сухого разделения (например, отклонитель) для удаления и повторного использования твердых крупных частиц. Впоследствии удаление мелких твердых частиц происходит посредством очистителя или мокрого электрофильтра, или любой иной технологии, обеспечивающей аналогичную эффективность удаления. Для удаления пыли при работах на литейном дворе выбросы следует свести к минимуму за счет закрытия крышкой литников и обезгаживания источников выбросов (летки, литники, шлакоотделители, заправочные пункты ковша сигарообразной формы), а также организовав очистку с использованием тканевой фильтрации или электростатического улавливания. [1]

Для **производства стали кислородно-конвертерным процессом и литья**, включая предварительную обработку горячего металла, вторичную металлургическую обработку и непрерывное литье (включая процессы переноса горячего металла, десульфуризацию и удаление шлака) в качестве НДТ рассматривается использование уменьшение выбросов твердых частиц за счет эффективного удаления и последующей очистки посредством тканевой фильтрации или электростатического улавливания. Для производства стали кислородно-конвертерным процессом и литья использование вентиляционного колпака для вторичного удаления пыли предназначено для уменьшения выбросов пыли.

Улавливание газа кислородного конвертера и первичное удаление пыли рассматриваются в качестве НДТ с применением ослабленного сжигания и сухого электростатического улавливания (в новых и существующих установках) или очистки (в существующих установках). Вторичное удаление пыли рассматривается в качестве НДТ при осуществлении эффективного удаления при заполнении и пробивании летки с последующей очисткой посредством тканевой фильтрации или ЭФ, или любой другой технологии с аналогичной эффективностью удаления. Эффективное удаление следует также применять при обработке горячего металла, удалении шлака из горячего металла и вторичной металлургической обработке с последующей очисткой посредством тканевой фильтрации или любой другой технологии с аналогичной эффективностью удаления. [1]

Для **электросталеплавильного производства и литья** в качестве НДТ рассматривается достижение эффективного улавливания пыли с сочетанием непосредственного отвода отработанного газа (4-е или 2-е отверстие) и системы отвода конвертерных газов или кессона мартеновской печи и системы отвода конвертерных газов, или общей очистки здания 98% (первичные и вторичные выбросы). Удаление пыли из отработанного газа рассматривается в качестве НДТ при использовании тканевых фильтров правильной конструкции, обеспечивающих уровень выбросов пыли в 5 мг /Нм<sup>3</sup> для новых установок и 15 мг пыли/Нм<sup>3</sup> для существующих, оба значения определяются в виде среднесуточных величин. [1]

**Таблица 3: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для чугуно- и сталелитейного производства**

[Примечание В документе [9] рекомендованы максимальные уровни выбросов пыли в 50 мг/Нм<sup>3</sup> для всех работ на комплексных сталепрокатных заводах, 20 мг/Нм<sup>3</sup> при наличии токсических металлов]

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Агломерационные установки	<50 [1] 10-20 [1] (0,04-0,12)[4]	Существующие агломерационные установки, оснащенные усовершенствованными ЭФ Применение тканевых фильтров
Установки гранулирования	10 [1] (0,04) [4]	Использование систем с эффективностью удаления >95%
Доменные печи Подогреватели дутья Доменные печи неорганизованные выбросы (полностью улавливаются)	< 10 [1] (0,035-0,05) [4] (0,005-0,015) [1]	Связано с содержанием кислорода в 3% кг/т чугуна в чушках В отчете Управления по охране окружающей среды США в 1998 г. [8] сообщается следующая доля содержания ТЧ <sub>1</sub> в пыли: Литейный двор (старого типа): 15%; Печь с местным удалением: 9%; Десульфуризация горячего металла: 2%
Производство стали кислородно-конвертерным процессом и литье	5-15 [1] 20-30 [1] (0,035-0,07) [4]	Тканевые фильтры ЭФ В отчете Управления по охране окружающей среды США в 1998 г. [8] сообщается следующая доля содержания ТЧ <sub>1</sub> в пыли: Заполнение (у источника) 12%; Пробивание летки (у источника) 11%
Электросталеплавильное производство и литье	<5 <sup>2</sup> [1];(0.06) <sup>3</sup> [4] < 15 <sup>2</sup> [1]; (0.12) <sup>3</sup> [4]	Для новых установок Для существующих установок В отчете Управления по охране окружающей среды США в 1998 г. [8] сообщается следующая доля содержания ТЧ <sub>1</sub> при работах с электродуговой печью: Плавление и очистка (углеродистая сталь, нерегулируемая): 23%
<p><sup>1</sup> Сопутствующих уровней выбросов при НДТ можно добиться в течение значительного периода времени при стандартных условиях, что представляет собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p><sup>2</sup> Для данного значения: среднесуточное значение</p> <p><sup>3</sup> Рекомендуемый показатель динамики</p> <p>В СНДТ по чугуно- и сталелитейной промышленности подчеркивается, что только выбросы в атмосферу из электродуговых печей и информация о воде для доменных печей выражаются в виде среднесуточных значений, в то время как остальные СЗВ НДТ представлены в нормальных условиях эксплуатации (например, исключая периоды пуска и останова) и проектирования, и округлены в течение значительного периода времени (на данный момент не существует общего мнения по поводу данного определения)</p>		

#### 7.7.3.4 Летучие органические соединения

Выброс летучих органических соединений и полициклических ароматических углеводородов может осуществляться на различных этапах чугуно- и сталелитейного производства. К ним относятся отработанные газы в процессах пептизации и агломерации, образующиеся вследствие содержания соединений углерода в твердом топливе для агломерации или пептизации, например, при добавлении вторичной окалины. [9] Поскольку указанный сектор не является основным источником выбросов летучих органических соединений, дальнейшая информация по уровням выбросов, ассоциируемых с НДТ, не приводится.

#### 7.7.3.5 Воздействия на другие среды

Для всех упомянутых выше технологий уменьшения выбросов следует учитывать поступление загрязнителей из одной среды в другую, а также полный диапазон воздействия на окружающую среду и положительные воздействия. Например, дополнительное энергопотребление и повышенное количество отходов или сточных вод могут возникнуть в результате самостоятельных усилий по предотвращению загрязнения, уменьшению или полному устранению выбросов. В особенности, удаление пыли с применением ЭФ или ТФ приводит к дополнительному выбросу твердых отходов, которые можно повторно использовать в процессе в отдельных случаях. Если мешки в ТФ снабжены предварительно нанесенным покрытием за счет впрыска гашеной извести, можно также добиться значительного снижения выбросов некоторых кислотных компонентов (хлорид водорода, фторводород). В сочетании с вводом бурого угольного кокса или активированного угля ТФ также позволяет значительно снизить выбросы полихлорированного дибензодиоксида/дибензофурана (до величины менее 0,1 - 0,5 нг/м<sup>3</sup>). Сведение выбросов пыли к минимуму связано с минимизацией выбросов тяжелых металлов, исключая тяжелые металлы в газовой фазе, например, ртуть. [1] [2]

#### 7.7.4 Развивающиеся технологии

Прямое восстановление и восстановительная выплавка находятся на стадии разработки (см. описание раздела производственных технологий) и впоследствии могут уменьшить необходимость в использовании агломерационных установок и доменных печей.

Использование новых реагентов в процессе десульфуризации горячего металла может привести к уменьшению выбросов пыли и образованию другого (более полезного) состава получаемой пыли. Технология находится в разработке. Уже разработаны несколько технологий вспенивания при предварительной обработке чугуна в чушках и улучшении стали, в ходе которых происходит поглощение пыли, возникающей при обработке горячего металла. [4]

Для электродуговых печей интерметаллические мешочные фильтры сочетают фильтрационные и каталитические функции и позволяют снизить выбросы пыли и сопутствующих загрязнителей. [2] Кроме того, внедряется некоторое количество печей нового типа, которые можно использовать в промышленном масштабе, и которые предоставляют преимущества касательно тяжелых металлов и выбросов пыли, например:

Электродуговая печь Comelt (комплексный предварительный подогрев отходов и сбор отработанного газа на каждом этапе эксплуатации)

Печь Contiarcs (значительное уменьшение объема отработанного газа и пыли, газонепроницаемая обвязка печи задерживает все первичные и практически все вторичные выбросы)

### 7.7.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Источник: предыдущий руководящий документ

Характеристики эталонной установки	Меры регулирования	Капиталовложения <sup>a/</sup> [евро]	Эксплуатационные расходы <sup>b/</sup> [евро/год]	Уменьшенный массовый поток [Mг NO <sub>x</sub> /год]
<b>Чугуно- и сталелитейное производство: агломерационная установка</b>				
Агломерационная установка с подвижной колосниковой решеткой; Топливо: коксовая пыль; Выпуск продукции: 12000 Mг агломерата/день; Наработка: 8400 ч/год	Рециркуляция дымового газа	5 000 000	- 200 000 <sup>a/</sup>	2 000
	СКВ	50 000 000	5 300 000	3 200

[Примечание В документе UNECE (Европейская экономическая комиссия ООН) 2006 указано "Общая стоимость внедрения тканевых фильтров для одной представленной агломерационной установки составляет от 3000 до 16000 евро ежегодно"]

### 7.7.6 Список литературы, использованной в главе 7.7

- [1] European Commission. 2001: "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel." <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- [2] European Commission. 2008 Draft: "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel." <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- [3] NASA 2004: International Institute for Applied Systems Analysis. Interim Report IR-04-079 "Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control".
- [4] Kraus, K., S. Wenzel, G. Howland, U. Kutschera, S. Hlawiczka, A. P. Weem and C French (2006): Assessment of technological developments: Best available techniques (BAT) and limit values. Submitted to the Task Force on Heavy Metals, UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
- [5] The nordic council of ministers 2005: "BAT examples from the Nordic iron and steel industry" <http://www.norden.org/pub/miljo/miljo/uk/TN2006509.pdf>
- [6] UNECE 1999. "Draft guidance documents on control techniques and economic instruments to the protocol to abate acidification, eutrophication and ground level ozone".
- [7] IFC 2007. International Finance Corporation (World Bank Group): "Environmental, Health, and Safety Guidelines for Base Metal Smelting and Refining"
- [8] US EPA 1998: "Compilation of air pollutant emission factors", 5<sup>th</sup> edition: EPA AP-42. United States Environmental Protection Agency.
- [9] IFC 2007. International Finance Corporation (World Bank Group): "Environmental, Health, and Safety Guidelines for Integrated Steel Mills"

## **7.8 Обработка черных металлов, включая чугунолитейные заводы**

### **7.8.1 Объем рассматриваемой информации**

В данном разделе, касающемся обработки черных металлов, описаны чугунолитейные заводы (информацию по непрерывному литью и разливке в слитки см. в главе "Чугуно- и сталелитейное производство") с производительностью более 20 т/день, а также установки для "горячего и холодного формования", включая горячую прокатку, холодную прокатку, волочение проволоки, установки для "непрерывного нанесения покрытия", включая горячее покрытие и покрытие проводов, а также установки для "комплектной гальванизации". [1] [2]

### **7.8.2 Источники выбросов**

#### **7.8.2.1 Литейные заводы**

На литейных заводах плавят металлы и сплавы (в дальнейшем рассматриваются только черные металлы), придают им необходимую для продукта форму, примерно соответствующую законченной, за счет заливки и отверждения жидкого металла в форме. Используемые присадки и топливо аналогичны используемым при обработке чугуна в чушках. Данная промышленность предусматривает применение широкого диапазона установок, работа большинства из которых включает в себя следующие технологические этапы: плавку и обработку металла, подготовку форм и литейных стержней, отливку расплавленного металла в форму, охлаждение для отверждения и извлечение из формы, обработку сырой отливки. Основные экологические проблемы, возникающие в данной индустрии, - это выбросы в атмосферу (пыль, кислотообразующие соединения, продукты неполного сгорания и летучие органические соединения). [2] [3]

#### **7.8.2.2 Горячее и холодное формование**

**При горячей прокатке** размер, форма и металлургические свойства стали изменяются при повторяющемся сжатии горячего металла (1050-1300°C) между роликами. Добавляемая сталь различается по форме - слитки, пластины, обжатые болванки, бруски, балочные заготовки - в зависимости от продукта, и в общем случае подразделяются на основные классы плоских и длинных продуктов. На станах горячей прокатки, как правило, используют следующие технологические этапы: обработка подаваемого материала (вырубка поверхностных дефектов, зачистка); нагрев до температуры прокатки; удаление окалины; прокатка и чистовая обработка. Основные экологические проблемы, возникающие при горячей прокатке, включают в себя выбросы в атмосферу, в особенности NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>, энергопотребление и выбросы пыли.

**При холодной прокатке** свойства горячекатаных полосовых продуктов (толщина, механические и технологические характеристики) изменяются при сжатии между роликами без предварительного нагрева. К технологическим этапам для низколегированной стали (углеродистой стали) относятся кислотная очистка поверхности металла, прокатка для уменьшения толщины, разупрочнение или тепловая обработка для регенерации кристаллической структуры, дрессировка отожженной полосовой стали для придания необходимых механических свойств и чистовая обработка. К технологическим этапам для высоколегированной стали (нержавеющая сталь) относятся дополнительные этапы, основные из них предусматривают следующее: разупрочнение в горячей зоне и кислотная очистка поверхности металла, холодная прокатка, окончательное разупрочнение в горячей зоне и кислотная очистка поверхности металла (или светлый отжиг), дрессировка и чистовая обработка. Основные экологические проблемы, возникающие при холодной прокатке, включают в себя кислотные отходы и сточные воды, выбросы в атмосферу кислоты или масляной пыли из установки для обезжиривания, пыль и NO<sub>x</sub> (травление нитрующей смесью и разогрев печи).

**Волочение проволоки** представляет собой процесс уменьшения размера пруткового железа/проволоки за счет ее протяжки через отверстия конической формы и малого сечения, называемые протяжными кольцами. На типовом заводе предусмотрены следующие технологические линии: предварительная обработка (удаление окалины, кислотная очистка поверхности металла), сухое или мокрое волочение, тепловая и чистовая обработка. Основными экологическими проблемами при волочении проволоки являются выбросы в атмосферу при кислотной очистке поверхности металла, кислотные отходы и сточные воды, летучая мыльная пыль, отработанные смазочные материалы и продукты сгорания. [1]

#### **7.8.2.3 Горячее покрытие непрерывного нанесения**

В процессе горячего покрытия стальной лист или проволоку непрерывно пропускают через расплавленный металл. Происходит сплавление двух металлов, обеспечивающее надежное соединение покрытия и субстрата. Линии для непрерывного нанесения покрытия на листе предусматривают такие этапы, как очистка поверхности (химическая или термическая обработка), тепловая обработка, погружение в ванну расплавленного металла, а также окончательная обработка. Установки по непрерывной гальванизации проволоки предусматривают такие этапы, как кислотная очистка поверхности металла, пластификация, гальванизация и чистовая обработка. Основными экологическими проблемами являются кислотные выбросы в атмосферу, отходы и сточные воды, а также энергопотребление. [1]

#### 7.8.2.4 Комплексная гальванизация

Горячая гальванизация представляет собой процесс защиты от коррозии, при котором чугунные и стальные изделия покрывают цинком. В данном секторе преобладающим процессом является поштучная гальванизация, в ходе которой происходит обработка разнообразных продуктов для различных заказчиков; комплексная гальванизация, как правило, предусматривает такие этапы, как обезжиривание, кислотная очистка поверхности металла, пластификация, гальванизация, чистовая обработка. Основными экологическими проблемами являются выбросы в атмосферу (хлорид водорода, пыль), отработанные технологические растворы и маслосодержащие сточные воды, а также цинкосодержащие отходы. [1]

### 7.8.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

#### 7.8.3.1 SO<sub>2</sub>

Для печей подогрева и тепловой обработки в установках **горячей прокатки** в качестве НДТ рассматривается тщательный выбор топлива и внедрение управления/автоматики для печей с целью оптимизации условий разогрева. Технологические отработанные газы, как правило, используют в подогревательных печах вместо ископаемого топлива. По большей части, используется топливо с низким содержанием S. [1]

Таблица 1: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для производства черных металлов

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Литейные заводы: плавление черных металлов [2]	20-100	Вагранка с подогревом дутья
	100-400	Вагранка с холодным дутьем
	70-130	Вращающаяся дуговая печь
Отливка в формы и литье с использованием погруженных форм (регенерационные установки) [2]	120	
Горячая прокатка: печи подогрева и тепловой обработки [1]	100	Для природного газа
	400	Для всех остальных газов и их смесей
	1700 <sup>2</sup>	для нефтяного топлива <1%S
Холодная прокатка: очистка поверхности металла H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8-20	Восстановление свободной кислоты кристаллизацией; устройства очистки воздуха для регенерационной установки.
Холодная прокатка: очистка поверхности металла хлоридом водорода [1]	50-100	Регенерация кислоты обжигом с подачей спрея или в кипящем слое (или эквивалентная система)
<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше. <sup>2</sup> В СНДТ ЕС нет единого мнения по поводу того, является ли нефтяное топливо <1%S НДТ, или необходимы дополнительные меры по уменьшению содержания SO <sub>2</sub>		

#### 7.8.3.2 NO<sub>x</sub>

Для печей подогрева и тепловой обработки в установках **горячей прокатки** в качестве НДТ рассматриваются горелки второго поколения с малым выбросом NO<sub>x</sub>. [Примечание: В СНДТ 2001 нет единого мнения по поводу того, являются ли СКВ и СНКВ НДТ для печей подогрева и тепловой обработки в установках горячей прокатки] Для очистки поверхности металла нитрующей смесью в установках **холодной прокатки** в качестве НДТ используется либо регенерация свободной кислоты (за счет бокового потока или ионного обмена, или диализа) или регенерация кислоты обжигом с подачей спрея или испарением. В общем случае, для очистки поверхности металла нитрующей смесью в установках холодной прокатки следует использовать закрытое оборудование/кожухи и очистку, и, помимо того, для высоколегированных сталей применяется либо очистка H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, мочевиной, и т.д., или осаждение NO<sub>x</sub> за счет добавления H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> или мочевины в ванну для кислотной очистки поверхности металла или за счет использования СКВ.



Альтернативным вариантом является использование очистки поверхности металла без азотной кислоты, а также закрытого оборудования или оборудования, снабженного колпаками, и очистки. Для отжиговых печей в установках холодной прокатки НДТ является использование горелок с малым выбросом NO<sub>x</sub> для печей непрерывного действия, предварительный подогрев воздуха сгорания за счет использования регенеративных или рекуперативных горелок или предварительного нагрева сырья отработанным газом.

Для горячего покрытия непрерывного нанесения в качестве НДТ рассматривается использование горелок с малым выбросом NO<sub>x</sub> и регенеративная или рекуперативная горелка для печей тепловой обработки и отжига оцинкованных изделий. Для печей тепловой обработки дополнительной НДТ является использование предварительного нагрева полосы и производство пара для повторного использования тепла отработанного газа, если существует необходимость в применении пара. [1]

**Таблица 2: Уровни выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для производства черных металлов**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Литейные заводы: плавление черных металлов [2]	10-200	Вагранка с подогревом дутья
	20-70	Вагранка с холодным дутьем
	160-400	Бескоксая вагранка
	10-50	Электродуговая печь
	50-250	Вращающаяся дуговая печь
Отливка в формы и литье с использованием погруженных форм (регенерационные установки) [2]	150	
Горячая прокатка: печи подогрева и тепловой обработки [1]	390	Топливо: доменный газ; Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub>
	1100	Топливо: коксовый газ, тяжелое нефтяное топливо; горелка с малым выбросом NO <sub>x</sub>
	250-400	Топливо: природный газ, газойль; горелка с малым выбросом NO <sub>x</sub> 3% <D <sub>2</sub> для газа, 6% <D <sub>2</sub> для жидкого топлива
Горячая прокатка: печи подогрева и тепловой обработки с применением ИКВ <sup>2</sup> и ИНКВ <sup>2</sup> [1]	320 <sup>3</sup> 205 <sup>3</sup>	ИКВ <sup>2</sup> ИНКВ <sup>2</sup> , просок аммиака 5 мг/Нм <sup>3</sup> 3% <D <sub>2</sub> для газа, 6% O <sub>2</sub> для жидкого топлива
Холодная прокатка: хлорид водорода кислотная очистка поверхности металла [1]	300-370	
Холодная прокатка: очистка поверхности металла нитрующей смесью [1]	200-650 200 100	Регенерация кислоты обжигом с подачей спрея или испарением
Холодная прокатка: отжиговые печи [1]	250-400	Без предварительного подогрева воздуха, 3% O <sub>2</sub> , скорость восстановления 60% для NO <sub>x</sub>
Горячее покрытие: печи тепловой обработки отжига оцинкованных изделий [1]	250-400	Без предварительного подогрева воздуха, 3% O <sub>2</sub>
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p><sup>2</sup> В СНДТ ЕС нет единого мнения по поводу того, являются ли СКВ и СНКВ НДТ (в Европе существует только по одной установке каждого типа)</p> <p><sup>3</sup> Представлены уровни выбросов для одной существующей установки СКВ (печь с шагающим балочным подом) и для одной существующей установки СНКВ (печь с шагающим балочным подом).</p>		

### 7.8.3.3 Пыль

Для **литейных заводов** основной проблемой при уменьшении выбросов является не только обработка отходящего и отработанного газа, но и его улавливание. НДТ является сведение к минимуму неорганизованных выбросов из различных незакрытых источников в цепочке процесса, например, из печей при открытии или пробивании летки, оптимизируя захват и очистку, очистка отработанного газа печей с последующим сбором, охлаждение и удаление пыли. При плавлении литейного чугуна в вагранке НДТ для уменьшения выбросов пыли является повышение теплового КПД и использование тканевых фильтров или мокрых очистителей.

При работе индукционных печей НДТ, помимо прочего, является использование колпака, вытяжки в виде козырька или крышки для каждой индукционной печи для улавливания отработанных печных газов и выполнение сухой очистки дымового газа. [2]

Для технологий чистовой обработки, например, абразивной отрезки, дробеструйной очистки и зачистки НДТ предусматривает сбор и обработку отработанного газа с использованием системы мокрой или сухой очистки. Для тепловой обработки НДТ предусматривает применение чистого топлива (т.е. природного газа или топлива с низким содержанием серы), автоматизированную работу печи и управление горелкой/нагревателем, а также улавливание и сброс отработанного газа из печей тепловой обработки. [2]

Для **горячей прокатки** в качестве НДТ рассматривается использование кожухов для машинной огневой зачистки и уменьшение выбросов пыли за счет использования тканевых фильтров или электрофильтров в тех случаях, когда эксплуатация тканевых фильтров из-за влажного дыма невозможна. Для машинной зачистки в установках горячей прокатки НДТ предусматривает использование вытяжных шкафов при машинном дроблении и специализированных кабин, оснащенных колпаками для сбора отходов при ручной зачистке, а также уменьшение выбросов пыли с помощью тканевых фильтров. На этапе чистовой обработки в качестве НДТ рассматриваются вытяжные системы с пропусканием воздуха через тканевые фильтры и повторным использованием уловленной пыли. Для разравнивания и сварки в качестве НДТ рассматриваются пылеулавливающие колпаки и последующий захват пыли тканевыми фильтрами.

Для **холодной прокатки** в качестве НДТ рассматривается использование вытяжных колпаков со снижением запыленности за счет применения тканевых фильтров при разравнивании и сварке.

Для **нанесения покрытия проводов** в качестве НДТ рассматриваются надлежащие эксплуатационные мероприятия<sup>1</sup> при погружении в горячий расплав. [1]

---

<sup>1</sup> См. документ EIPPCB СНДТ 2001, Глава В.4

**Таблица 3: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для производства черных металлов**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Чугунолитейные заводы	5-20 [2]	среднесуточная величина, стандартные условия
Чугунолитейные заводы: индукционные печи	(0.2) [2]	
Горячая прокатка: машинная огневая зачистка [1]	5/20 <sup>2</sup> 10/20-50 <sup>2</sup>	Тканевые фильтры ЭФ, если невозможно использовать ТФ из-за мокрого дыма
Горячая прокатка: зачистка [1]	5/20 <sup>2</sup>	
Горячая прокатка: этап чистовой обработки, разравнивание и сварка [1]	5/20 <sup>2</sup>	
Холодная прокатка: разматывание [1]	5/20 <sup>2</sup>	
Холодная прокатка: очистка поверхности металла хлоридом водорода [1]	20-50	
Холодная прокатка: разравнивание и сварка [1]	5/20 <sup>2</sup>	
Покрытие проводов: погружение в горячий расплав [1]	10	
Ванны для цинкования [4]	15	
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p><sup>2</sup> В СНДТ ЕС2001 отсутствует единое мнение</p>		

#### 7.8.3.4 Летучие органические соединения

На литейных заводах используют различные присадки для связывания песка при изготовлении форм и литейных стержней; К ним относятся органические и неорганические соединения (растворители, бензол, толуол, этилбензол и ксилол, фенол, формальдегид и т.д.): образование продуктов распада продолжается и далее при охлаждении отливки и ее извлечении из формы. Поскольку в процессе задействованы различные источники выбросов (горячие отливки, песок, горячий металл) ключевой проблемой является не только обработка отработанного газа, но и его улавливание. [5]

Выбросы углеводородов и масляного тумана могут возникать на стане холодной прокатки, для их уменьшения можно использовать современные системы улавливания выбросов и предотвращения запотевания, такие как тканевые фильтры с предварительно нанесенным покрытием. [6]

**Таблица 4: Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ, для обработки черных металлов**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Литейные заводы: Плавление черных металлов	10-20	Вагранка с холодным дутьем

<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

#### 7.8.3.5 Воздействия на другие среды

Для всех упомянутых выше технологий уменьшения выбросов следует учитывать поступление загрязнителей из одной среды в другую, а также полный диапазон воздействия на окружающую среду и положительные воздействия. Например, дополнительное энергопотребление и повышенное количество отходов или сточных вод могут возникнуть в результате самостоятельных усилий по предотвращению загрязнения, уменьшению или полному устранению выбросов.

#### 7.8.4 Развивающиеся технологии

Для горячей и холодной прокатки беспламенная горелка или рассеянное пламя максимально увеличивают рециркуляцию дымового газа и обеспечивают стабильное достижение уровня выбросов NO<sub>x</sub> в 100 мг/м<sup>3</sup>, но, тем не менее, до сих пор отсутствует методика промышленного применения. Уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> также осуществляется посредством горелок с крайне малым выбросом NO<sub>x</sub> (полное смешивание топлива и воздуха сгорания в печи, следовательно, не происходит гашение пламени в печи) и впрыска воды (уменьшение температуры и, следовательно, тепловое образование NO<sub>x</sub>). [1]

### 7.8.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Таблица 5: Сведения о себестоимости различных технологий уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> для печи мощностью 50 МВт [1]

Технология	Стандартный диапазон уменьшения выбросов NO <sub>x</sub>	Капитальные затраты (фунты стерлингов '000)	Эксплуатационные расходы (фунты стерлингов/ГДж)	Общая себестоимость технологии (фунты стерлингов '000/год для печи 50 МВт)		
				2000 часов/год	4000 часов/год	8000 часов/год
Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub>	до 97%	328	0,0	53,7	53,7	53,7
Ограниченный предварительный подогрев воздуха		Нет данных	0,0257 для 50 % уменьшения выбросов NO <sub>x</sub>	92,5	185	370
Рециркуляция дымового газа	до 93% (44,74 15% РДГ)	75,6 (631)*	0,098 (0,072)*	47,6 (129)*	82,9 (154)*	153 (206)*
СКВ	до 95% (как правило, 70 -90)	1100 - 2530	0,722	205 - 438	231 - 464	283-516
СНКВ (с NH <sub>3</sub> )	до 85% (как правило, 50 -60)	350 - 650	0,361	69,9-119	82,9-132	109-158

Стоимость, представленная в 1996 г. в фунтах стерлингов

Нет данных Данные отсутствуют, для расчетов они считаются незначительными по сравнению с эксплуатационными расходами.

\* Цифры в скобках относятся к случаям, когда необходимо повысить мощность горелок и регенерационных установок.

Примечание 1 Эксплуатационные расходы на рециркуляцию дымового газа основаны на 15% РДГ.

Расчетные потери при потреблении топлива = 3,2%

Повышенные эксплуатационные расходы на вентилирование (основаны на регенеративных горелках) = 1,6% затрат на топливо (0,32%, если повышается мощность горелок и регенерационных установок).

Примечание 2 Расходы на впрыск воды основаны на 15 кг (воды)/ГДж (топливо):

Расчетные потери, связанные со стоимостью топлива = 11,8%

Стоимость воды не включена

## 7.8.6 Список литературы, использованной в главе 7.8

[1] European Commission. 2001: "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry." <http://eippcb.irc.es/pages/FActivities.htm>

[2] European Commission. 2005: "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry." <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

[3] NASA 2004: International Institute for Applied Systems Analysis. Interim Report IR-04-079 „Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control".

[4] DEFRA 2006: Sector Guidance Note IPPC SG5 - Secretary of State's Guidance for A2 Activities in the Galvanising Sector, <http://www.defra.gov.uk>

[5] IFC 2007. International Finance Corporation (World Bank Group): "Environmental, Health, and Safety Guidelines for Foundries"

[6] IFC 2007. International Finance Corporation (World Bank Group): "Environmental, Health, and Safety Guidelines for Integrated Steel Mills"

## 7.9 Промышленность обработки цветных металлов<sup>1</sup>

### Алюминий

#### 7.9.1 Объем рассматриваемой информации

Алюминиевая промышленность является самой крупной промышленностью обработки цветных металлов. В данной главе рассмотрено первичное и вторичное производство алюминия.

#### 7.9.2 Источники выбросов

Производство алюминия подразделяется на 2 типа, первичное и вторичное.

При **первичном производстве** в качестве сырья для производства алюминия используется оксид алюминия. Оксид алюминия производят из бокситов, добываемых в шахтах. Для извлечения оксида алюминия из бокситов используется каустическая сода с осуществлением стандартного процесса при высокой температуре и давлении. Затем при электролитическом восстановлении оксида алюминия происходит извлечение алюминия. В ходе указанного процесса происходит улавливание отработанных газов и их обработка с помощью сухого очистителя оксида алюминия и системы обработки пыли, например, ЭФ или мешочные фильтры. Использование иных систем уменьшения выбросов пыли следует отдельно рассматривать для каждого конкретного случая.

Затем выполняется очистка полученного алюминия для удаления примесей за счет ввода газа в расплавленный металл.

Выбор газа зависит от типа примесей. Перечисленные процессы становятся источниками выбросов пыли, SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>. [1].

При **вторичном производстве** алюминий получают из металлолома. Возможна предварительная обработка металлолома (высушивание металлической стружки или тепловое удаление покрытия) перед обработкой для производства алюминия.

Для плавления сырья могут использоваться различные печи, в основном, вращающиеся или отражательные. Наиболее часто используемым видом топлива, не содержащим серы, является природный газ. Затем осуществляется очистка полученного алюминия в котельной печи, как и при первичном производстве алюминия. Перечисленные процессы становятся источниками выбросов пыли, SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>. [1].

#### 7.9.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

Если не указано иное, приведенные в данном разделе уровни выбросов являются среднесуточными значениями, определенными в стандартных условиях постоянного мониторинга в 273 К, 101,3 кПа, измеренном содержании кислорода и сухого газа, без смешивания газов с воздухом.

##### SO<sub>2</sub>:

При первичном производстве алюминия на выбросы SO<sub>2</sub> оказывает влияние содержание серы в анодах, используемых при электролитическом восстановлении. При вторичном производстве и при изготовлении угольных анодов для первичного производства с предварительной термообработкой возможным источником выбросов SO<sub>2</sub> является содержание серы в используемом топливе. В общем случае, выбросы SO<sub>2</sub> не являются основной проблемой в процессе производства алюминия, тем не менее, необходимо рассматривать их для каждого отдельного случая, в зависимости от местных и экологических условий.

При первичном производстве алюминия НДТ для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> предусматривают ограничение содержания серы в топливе и анодах, с учетом их коммерческой доступности. При вторичном производстве алюминия мокрые или полусухие щелочные очистители рассматриваются в качестве НДТ для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> при выдержке и обезгаживании расплавленного металла, в процессе предварительной обработки материала, а также в ходе процессов плавления и выплавки.

Применимость систем уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> следует оценивать отдельно для каждого конкретного случая с учетом технических характеристик завода, его географического расположения и местных условий, обратив особое внимание на возможное воздействие на другие среды

<sup>1</sup> Сведения, приведенные в данной главе, основаны на документе NFM СНДТ, который в настоящее время находится в стадии пересмотра.

**Таблица 1: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в алюминиевой промышленности.**<sup>a/</sup>

[1] [10]

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Выдержка и обезгаживание расплавленного металла и вторичное производство алюминия	мокрый или полусухой щелочной очиститель (при необходимости)	< 50 - 200
Предварительная обработка материалов, плавление и выплавка при вторичном производстве алюминия		< 50-100
Этапы дробления, смешивания и обжига (если к смеси добавляется сера или топливо содержит высокий %S) [1]		< 50 - 200

*a/ Информация, приведенная в Табл. 1, в настоящее время обсуждается в контексте пересмотра NFM СНДТ, завершение которого планируется в 1 квартале 2010 г. Рекомендуется не включать данную таблицу во избежание возможных ошибок после утверждения новой редакции NFM СНДТ или, как минимум, пояснить, что указанная информация, включая НДТ-СЗВ, находится в стадии пересмотра.*

**NO<sub>x</sub>:**

При производстве алюминия выбросы NO<sub>x</sub> происходят в ходе процессов сгорания, осуществляемых для плавления сырья. На выбросы влияют различные параметры: тип топлива, тип сжигания, соотношение температуры пламени и воздуха сгорания. Кислородотопливная горелка и горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub> являются мерами в рамках НДТ для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> при производстве алюминия. [1]. В таблице далее приведены общие сведения по достижимым уровням выбросов NO<sub>x</sub> при производстве алюминия.

**Таблица 2: Уровни выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в алюминиевой промышленности.**

[1]

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
печи при первичном и вторичном производстве алюминия и высушивание металлической стружки	Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> Кислородотопливная горелка	<100 < 100-300

**Пыль:**

При первичном производстве алюминия выбросы пыли, в основном, возникают в процессе производства алюминия, электролиза, выплавки и литья.

Дымовые газы при производстве оксида алюминия необходимо улавливать, тканевый фильтр или ЭФ можно использовать для удаления кальцинированного глинозема и пыли. Газы, собранные при других процессах, следует обеспылить. При этом можно использовать тканевый фильтр. Также можно использовать мокрый очиститель, в зависимости от местных условий. [6]

При вторичном производстве алюминия предварительная обработка, вторичная выплавка и выдержка являются источниками выбросов пыли. Керамические или тканевые фильтры могут использоваться для удаления пыли из уловленных газов при вторичном процессе выплавки. В других процессах необходимо собирать дымовые газы, которые можно фильтровать с применением тканевого фильтра, при необходимости. [1].

Уловленную пыль из фильтров, по возможности, следует использовать повторно.

Получение, транспортировка и хранение материалов являются источниками выбросов сдуваемой пыли. Указанные выбросы следует свести к минимуму за счет правильного обращения с сырьем и защиты его от ветра.

В таблице далее приведены общие сведения по достижимым уровням выбросов пыли при производстве алюминия. [3] Предпочтительной технологией уменьшения выбросов пыли является использование тканевого или керамического фильтра.



**Таблица 3: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в алюминиевой промышленности.**

[1] [4]

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Электролиз, предварительная обработка Первичная и вторичная выплавка	Тканевый фильтр Керамический или тканевый фильтр	<b>Пыль: 1 - 5</b>

## Медь

### 7.9.4 Объем рассматриваемой информации

Медь, по большей части, используют вследствие ее высокой тепло- и электропроводимости, ее относительной устойчивости к коррозии, а также легкости повторного использования. К данной категории относится производство меди при первичной и вторичной обработке.

### 7.9.5 Источники выбросов

Производство меди подразделяется на 2 типа, первичное и вторичное.

#### Первичное производство

Концентраты, используемые при первичном производстве меди, в основном, представляют собой сульфиды и содержат другие металлы, кроме меди. Следовательно, используют несколько процессов для отделения различных веществ и их восстановления в максимально возможной степени. Из-за состава концентратов (сульфиды) уровни выбросов SO<sub>2</sub> высоки в ходе данных процессов.

Для первичного производства меди используются 2 метода: пирометаллургические и гидрометаллургические процессы.

**Пирометаллургический процесс** предусматривает несколько этапов: обжиг, выплавку, продувку в конвертере, очистку и электроочистку.

Обжиг является основным источником выбросов SO<sub>2</sub>. В ходе обжига сульфиды нагревают до образования серы. Затем требуется выполнить десульфуризацию дымовых газов; как правило, их направляют на местные кислотные станции для производства серной кислоты или жидкого SO<sub>2</sub>.

Этап выплавки обеспечивает отделение сульфидов меди от других веществ, содержащихся в руде. Этапы обжига и выплавки осуществляют в уникальной печи при высокой температуре, обеспечивающей отделение неочищенной смеси сульфидов меди и шлака, содержащего преимущественно сульфиды железа. [1].

Этап продувки в конвертере заключается во введении воздуха и кислорода в неочищенную смесь, полученную ранее на этапе выплавки. Процесс продувки в конвертере может осуществляться периодически, что используется чаще всего, или непрерывно. В ходе данных процессов также происходят существенные выбросы SO<sub>2</sub>.

Затем необходимо выполнить очистку меди; сначала применяется огневое рафинирование. В процессе огневого рафинирования происходит впрыск воздуха в расплавленный металл для окисления примесей и удаления последних следов серы. При этом можно добавить небольшое количество восстановителя, но это увеличивает выбросы NO<sub>x</sub>.

Процесс электроочистки осуществляется в гальваническом элементе с использованием анода и катода из литейной меди. Элемент помещают в электролит, содержащий сульфат меди и серную кислоту.

Гидрометаллургический процесс, в основном, применим для окисленной руды, окисленной/сульфидной руды или руд со сложной концентрацией. Сначала выполняется дробление руды, а затем промывка серной кислотой. Жидкость, получаемая в процессе промывки, затем осветляется, очищается и концентрируется с экстрагированием растворителем. И наконец, происходит извлечение меди за счет электролитической реакции. Единственным отличием от электроочистки является форма анода. [1].

#### Вторичное производство

Вторичную медь производят в ходе пирометаллургического процесса. Этапы данного процесса зависят от содержания меди во вторичном подаваемом материале. Он может содержать и другие органические материалы, например, покрытия. Следовательно, вторичная выплавка и вторичная очистка рассчитываются в зависимости от подаваемого материала. [1].

### 7.9.6 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

Если не указано иное, приведенные в данном разделе уровни выбросов являются среднесуточными значениями, определенными в стандартных условиях постоянного мониторинга в 273 К, 101,3 кПа, измеренном содержании кислорода и сухого газа, без смешивания газов с воздухом.

#### SO<sub>2</sub>:

При производстве меди выбросы SO<sub>2</sub> являются наибольшей проблемой. Серу, в основном, получают из руд, используемых при производстве меди. Следовательно, выбросы SO<sub>2</sub> являются большей проблемой при первичном производстве, а не при вторичном. Обжиг, выплавка и продувка в конвертере являются основными источниками поступления диоксида серы. SO<sub>2</sub> получают из сульфидов меди, используемых при производстве меди. Этапы обжига и выплавки осуществляются в той же печи. Ее необходимо герметизировать для обеспечения лучшего сбора газов. Обогащение кислородом используется для создания высокой концентрации диоксида серы. Благодаря этому обеспечивается уменьшение объема дымового газа. Заводы по производству серной кислоты перерабатывают газ.

Процесс переработки также является источником выбросов SO<sub>2</sub>, но сбор газа не является полностью эффективным при использовании периодических процессов вследствие изменения концентрации диоксида серы. Системы удаления SO<sub>2</sub> необходимо спроектировать соответствующим образом. [1].

Выбросы диоксида серы в процессе обжига, выплавки и продувки в конвертере удаляют из дымовых газов на заводе серной кислоты.

В таблице далее приведены общие сведения по достижимым уровням выбросов SO<sub>2</sub> при производстве меди.

**Таблица 4: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в медной промышленности. [1] [11]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
обогащенный SO <sub>2</sub> отработанный газ (> 5%) Первичный обжиг, выплавка и продувка в конвертере	Двухконтактный завод серной кислоты	99,7 - 99,92% (коэффициент преобразования)
Вторичная выплавка и продувка в конвертере, первичное и вторичное огневое рафинирование, электроочистка шлака и плавление.	Щелочной полусухой очиститель и тканевый фильтр. Мокрые или двойные щелочные очистители с применением извести, гидроксида магния, гидроксида натрия. Сочетание натрия или оксида/сульфата алюминия с известью для восстановления реагента и получения сульфата кальция	< 50 - 200
Вторичные системы сбора дыма и процессы осушения	Тканевый фильтр с добавлением сухой извести в охлажденный газ	<500
	Щелочной мокрый очиститель для сбора SO <sub>2</sub> из горячих газов (из газов сушилки после удаления пыли)	< 50 - 200

**NO<sub>x</sub>:**

При производстве меди использование кислорода и высокотемпературные процессы являются источниками выбросов NO<sub>x</sub>. При первичном производстве оксиды азота, в основном, поглощаются производимой серной кислотой. Следовательно, выбросы NO<sub>x</sub> не представляют собой проблемы. НДТ для уменьшения указанных выбросов предусматривает применение кислородотопливных горелок и горелок с малым выбросом NO<sub>x</sub>. [1]. В таблице далее приведены общие сведения по достижимым уровням выбросов NO<sub>x</sub> при производстве меди. [1]

**Таблица 5: Уровни выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в медной промышленности.**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
первичное и вторичное производство меди	Горелки с малыми выбросами NO <sub>x</sub> Кислородотопливная горелка	

**Пыль:**

При производстве меди выплавка, продувка в конвертере и очистка являются основными источниками выбросов пыли. В данных процессах производства происходит сбор, охлаждение и фильтрация дымовых газов с использованием ЭФ и тканевых фильтров для регулирования выбросов пыли и летучих металлов, содержащихся в ней. [1], [2]. В таблице далее приведены общие сведения по достижимым уровням выбросов пыли при производстве меди. Предпочтительной технологией уменьшения выбросов пыли является использование тканевого или керамического фильтра. Электрофильтры следует использовать для газов с повышенной влажностью, для горячих газов, или если пыль слишком липкая. Очистители следует применять в том случае, если температура или сущность газов не позволяет использовать другие технологии, или если газы или кислоты необходимо удалять одновременно с пылью.

**Таблица 6: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в медной промышленности. [1] [3]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Выплавка, продувка в конвертере и очистка	Тканевые фильтры ЭФ Очистители	<b>Пыль: 1 - 5</b>

## Свинец и цинк

### 7.9.7 Объем рассматриваемой информации

В данной категории рассмотрены как первичное, так и вторичное производство свинца и цинка. Указанные металлы нередко встречаются совместно в рудах и концентратах. Поскольку рассматриваемая промышленность также относится к обработке цветных металлов, выбросы SO<sub>2</sub> и пыли являются более серьезной проблемой. Тем не менее, выбросы NO<sub>x</sub> также подробно рассмотрены в данной категории.

### 7.9.8 Источники выбросов

При производстве меди или алюминия получение свинца и цинка может осуществляться в ходе первичных или вторичных процессов.

Существуют 2 **первичных** процесса производства **свинца**: процесс агломерации/выплавки и прямой выплавки. Процесс первичного производства цинка как метод производства находится на спаде. [6], [8]

Процесс **агломерации/выплавки** предусматривает агломерацию концентратов свинца и цинка, повторно используемых мелких фракций агломерата, вторичного сырья и других обрабатываемых материалов.

Продукт, полученный при агломерации, затем дробят, отбирают и загружают в стандартную плавильную печь, где происходит процесс выплавки. Происходит прямое восстановление свинца в данной печи в качестве побочного продукта и его последующая очистка. Смесь цинка и свинца также восстанавливается. Цинк необходимо отделить от свинца перед очисткой. [1].

Отделение цинка от свинца осуществляется в цинковом конденсаторе с разбрызгиванием, где поток расплавленного свинца позволяет осуществить поглощение свинца. Затем происходит охлаждение получившегося сплава и отделение собравшегося на поверхности цинка. После этого его очищают.

В процессе **прямой выплавки** свинцовый концентрат и другие материалы загружают непосредственно в печь, расплавляют и окисляют с последующей очисткой.

**Вторичный свинец** производят из повторно используемого свинцового лома и обрезков. Основным источником свинца являются аккумуляторы. Их можно раздробить и разделить на несколько долей перед отправкой в печь. Процесс извлечения свинца из автомобильных аккумуляторов начинают со слива из них кислоты перед последующей обработкой.[10] Свинец, содержащийся в других материалах, можно извлечь с использованием простых процессов выплавки. [1].

Существуют 2 процесса очистки свинца: **электролитическая** и **пирометаллургическая очистка**.

Электролитическая очистка представляет собой дорогостоящий процесс, следовательно, ее используют в тех случаях, когда стоимость электричества невысока (например, гидроэлектроэнергия).

При пирометаллургической очистке осуществляется нагрев элементов, что позволяет удалить примеси. Сначала происходит извлечение меди за счет механического сбора, затем мышьяк, сурьма и олово удаляют за счет окисления, ассоциируемого с механическим сбором. [1].

Первичный цинк, получаемый при первичном производстве свинца, очищают в ходе процесса **дистилляции**. Он позволяет на первом этапе отделить цинк и кадмий от свинца, а на втором этапе - отделить свинец от кадмия. Затем происходит обработка цинка натрием для удаления мышьяка и сурьмы.

В Европе, первичный цинк лишь в минимальной степени получают в ходе процесса изготовления первичного свинца (~5%), по большей части, его производят при **гидрометаллургическом процессе**. Указанный процесс преимущественно используется для обработки сульфидов цинка, но также оксидов, карбонатов или силикатов. Он предусматривает обжиг материалов в обжиговых печах с кипящим слоем, в ходе которого получают диоксид серы и известь (оксид цинка). Затем кальцинированную окись цинка охлаждают и промывают серной кислотой. Данный процесс аналогичен гидрометаллургическому процессу производства меди. Полученный электролит для цинкования очищают и направляют в элемент. Здесь происходит извлечение цинка методом электролиза. [6]

Вторичное производство цинка при обработке металлического лома заключается в физическом отделении, плавлении и другой высокотемпературной обработке. [1]. Оцинкованные продукты с истекшим сроком эксплуатации повторно используют для извлечения стали, а оксиды цинка преобразуются в дым (электродуговая печь-пыль), которые впоследствии обрабатывают пирометаллургически (вельц-печи или другие типы печей) для извлечения фракций с большим содержанием оксида цинка, которые впоследствии обрабатывают для извлечения цинка или оксида цинка. [6]

### 7.9.9 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

Если не указано иное, приведенные в данном разделе уровни выбросов являются среднесуточными значениями, определенными в стандартных условиях постоянного мониторинга в 273 К, 101,3 кПа, измеренном содержании кислорода и сухого газа, без смешивания газов с воздухом.

#### SO<sub>2</sub>:

В процессе производства свинца и цинка сера, содержащаяся в материалах, окисляется с выделением диоксида серы. Затем необходимо выполнить десульфуризацию дымовых газов. Заводы серной кислоты можно использовать в случаях, когда не осуществляется предварительная обработка соединений серы, для преобразования указанных газов. В зависимости от содержания SO<sub>2</sub> в дымовом газе в качестве НДТ рассматривается использование одно- или двухконтактных заводов серной кислоты для уменьшения уровня выбросов. Выбросы при очистке, предварительной обработке материалов и вторичной выплавке уменьшают с помощью очистителя SO<sub>2</sub>. Мокрый щелочной очиститель или полусухой щелочной очиститель, а также тканевый фильтр рассматривают в качестве НДТ. [1].

Для печей вторичного производства свинца подаваемые материалы перед выплавкой можно подвергнуть десульфуризации для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub>

и обеспечения соответствия завода стандартам предельного уровня выбросов. [6]

В таблице далее приведены общие сведения по достижимым уровням выбросов SO<sub>2</sub> при производстве цинка и свинца.

**Таблица 7: Выбросы SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в свинцовой и цинковой промышленности. [1] [11]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
<i>отработанный газ с низким содержанием SO<sub>2</sub> (&lt; 5%)</i> Первичный обжиг, выплавка и агломерация	Одноконтактный завод серной кислоты или завод серной кислоты с применением влажного газа.	> 99,1% (коэффициент преобразования)
<i>обогащенный SO<sub>2</sub> отработанный газ (&gt; 5%)</i> Первичный обжиг, выплавка и агломерация	Двухконтактный завод серной кислоты	99,7 - 99,92% (коэффициент преобразования)
Предварительная обработка, вторичная выплавка, термическое улучшение, плавка, процессы вторичного получения цинка и возгонка шлака [9]	Мокрые щелочные очистители Полусухие щелочные очистители и тканевый фильтр.	< 50-200

#### NO<sub>x</sub>:

При производстве цинка и свинца процессы обжига и выплавки являются основными источниками выбросов NO<sub>x</sub>. Оксиды азота, в основном, поглощаются серной кислотой, производимой при первичном обжиге, выплавке и продувке в конвертере при обработке дымового газа. Следовательно, выбросы NO<sub>x</sub> не представляют собой проблемы. НДТ для снижения выбросов NO<sub>x</sub> на других технологических этапах предусматривает использование кислородотопливных горелок и горелок с малым выбросом NO<sub>x</sub>.

[1].

В таблице далее приведены общие сведения по достижимым уровням выбросов NO<sub>x</sub> при производстве цинка и свинца.

**Таблица 8: Выбросы NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в свинцовой и цинковой промышленности. [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Производство свинца и цинка	Горелка с малым выбросом NO <sub>x</sub> Кислородотопливная горелка	< 100 < 100 - 300

**Пыль:**

Процессы обжига и выплавки являются основными источниками выбросов пыли в свинцовой и цинковой промышленности. Для уменьшения выбросов пыли следует улавливать и обрабатывать газы. В данных процессах производства происходит сбор, охлаждение и фильтрация дымовых газов с использованием ЭФ и тканевых фильтров для регулирования выбросов пыли и летучих металлов, содержащихся в ней. [1]. Предпочтительной технологией уменьшения выбросов пыли является использование тканевого или керамического фильтра. Электрофильтры следует использовать для газов с повышенной влажностью, для горячих газов, или если пыль слишком липкая. Очистители следует использовать в том случае, если температура или сущность газов не позволяют использовать другие технологии, или если газы или кислоты необходимо удалять одновременно с пылью.

Выбросы, ассоциируемые с использованием НДТ, для уменьшения выбросов пыли, рассмотрены в следующей таблице.

**Таблица 9: Выбросы пыли, ассоциируемые с НДТ для уменьшения выбросов в свинцовой и цинковой промышленности. [1] [5]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Обжиг и выплавка	Тканевые фильтры ЭФ	<b>Пыль: 1 - 5</b>

**7.9.10 Развивающиеся технологии**

Развивающиеся технологии при производстве азотной кислоты для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> отсутствуют. [1]

### 7.9.11 Список литературы, использованной в главе 7.9

- [1] Reference document on Best Available Techniques in the non ferrous metal industries, December 2001.
- [2] Assements of technological developments BAT and limit value, non ferrous metal processing industry, draft background document.
- [3] UK fine particulate emissions from industrial processes, AEAT, August 2000.
- [4] AP 42, Fifth edition, volume 1 chapter 12: metallurgical industry, EPA, January 1995.
- [5] Characterization of particulate emissions from non-ferrous smelters, R.L Bennet and K.T Knapp, JAPCA - February 1989
- [6] Comments from Lynette Chung, EUROMETAUX, 02/2009.
- [7] "Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc",EGTEI, 02/2009.
- [8] Comments from Aldo Zucca, PORTOVESME, 03/2009.
- [9] Comments from Thomas Krutzler, UBA Austria, 03/2009.
- [10] Comments from Ines Flugel, UBA Germany, 03/2009.
- [11] Reference document on Best Available Techniques for the manufacture of large volume Inorganic Chemicals - Ammonia, Acids and Fertilisers.
- [12] EGTEI-State of progress.doc", for WGSR, March 2009.
- [13] Comments from Lynette Chung, EUROMETAUX, 05/2009
- [14] Comments from André Peteers Weem, INFOMIL, 05/2009



## 7.10 Производство цемента

### 7.10.1 Объем рассматриваемой информации

К выбросам с цементных заводов, которые составляют самую серьезную проблему, относятся оксиды азота (NO<sub>x</sub>) и пыль (ОВЧ). Также учитываются значительно более низкие выбросы диоксида серы (SO<sub>2</sub>). В данной главе рассмотрены установки для производства цементного клинкера во вращающихся печах с производительностью более 500 тонн в день, или в других печах с производительностью свыше 50 тонн в день [как указано в документе СНДТ]. [12]

### 7.10.2 Источники выбросов

Процесс изготовления цемента можно подразделить на 3 этапа. Первый этап - кальцинация, в ходе которой происходит разложение карбоната кальция (CaCO<sub>3</sub>) с образованием оксида кальция (CaO). На следующем этапе осуществляется сжигание клинкера, при котором оксид кальция вступает в реакцию с кремнием, оксидом алюминия и железа, образуя клинкер, который затем охлаждают. Затем клинкер измельчают и смешивают с сульфатом кальция и другими присадками для производства цемента.

Процесс клинкерования объединяет этапы кальцинации и сжигания шлама. Он является самым крупным источником выбросов NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> и пыли. Процесс клинкерования происходит в печи. Большинство печей относятся к вращающемуся типу. Для производства клинкера используют различные процессы, сухой, полусухой, полумокрый, мокрый. В процессе может дополнительно использоваться подогреватель или декарбонизатор.

Более 75% производства клинкера в Европе осуществляется посредством сухого процесса.

В процессе клинкерования сырье загружают во вращающуюся печь, где его высушивают, подогревают, кальцинируют и агломерируют для получения цементного клинкера. Затем клинкер охлаждают и хранят до смешивания с сульфатом кальция для производства цемента. [12].

Для процесса клинкерования имеются в наличии различные технологии предварительного нагрева.

- **Колосниковый подогреватель** используется за пределами печи. При применении колосникового подогревателя вращающаяся печь становится короче, уменьшаются теплотери и улучшается энергосбережение.
- **Подогрев во взвешенном состоянии** заключается в поддержании порошка во взвешенном состоянии с дымовым горячим газом из вращающейся печи. Значительно более крупная поверхность контакта обеспечивает практически полный теплообмен, как минимум, теоретически
- **Система предварительного обжига** подразделяет процесс сгорания на два этапа. Первичное сгорание осуществляется в зоне обжига в печи, а вторичное - в специальной камере сгорания между вращающейся печью и подогревателем. В итоге, отработанный газ проходит через различные устройства очистки для удаления пыли и/или десульфуризации. [12].

На цементных заводах может применяться и когенерация. Избыточное тепло при производстве цемента можно использовать для выработки электроэнергии. [12]

### 7.10.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

Если не указано иное, уровни выбросов, приведенные в данном разделе, представлены на базе среднесуточных значений и при стандартных условиях 273 К, 101,3 кПа, 10% кислорода и сухом газе.

#### SO<sub>2</sub>:

При производстве цемента на выбросы SO<sub>2</sub> в основном, влияет содержание летучей серы в сырье. Таким образом, основным мероприятием по уменьшению выбросов SO<sub>2</sub> является использование десульфурованного топлива или топлива с низким содержанием серы. Выбросы SO<sub>2</sub> из цементной печи могут быть низкими без каких-либо измерений: при использовании сырья с низким содержанием серы и топлива с низким содержанием серы. [10]

Тем не менее, можно использовать различные системы очистки дымового газа, если исходные уровни выбросов SO<sub>2</sub> не слишком низкие.

Добавление абсорбентов, например, гашеной извести (Ca(OH)<sub>2</sub>), негашеной извести (CaO) или активированной зольной пыли с высоким содержанием CaO в дымовой газ может поглотить часть SO<sub>2</sub> и рассматривается в качестве НДТ. Их добавление может осуществляться в сухой или мокрой форме. Рекомендуется использовать абсорбенты на основе Ca(OH)<sub>2</sub> с большой площадью удельной поверхности и высокой пористостью. Малая реактивность данных абсорбентов предусматривает применение молярной концентрации Ca/S в диапазоне от 3 до 6.

Мокрая очистка является НДТ для десульфуризации. При применении технологий мокрой очистки дымовые газы, в первую очередь, извлекаются, затем очищаются атомизированным раствором щелочных соединений. SO<sub>2</sub> вступает в реакцию с данным раствором, образуя различные побочные продукты, которые можно восстановить до серной кислоты, серы, сульфата кальция или очистителя. При этом можно ожидать снижения выбросов SO<sub>2</sub> на более чем 90%. [12]

СЗВ НДТ можно выполнить за счет применения адсорбента или мокрого очистителя.

При рассмотрении возможности добавления адсорбента следует учитывать, что в стоимость адсорбентов входит увеличение эксплуатационных расходов при увеличенной концентрации SO<sub>2</sub>, поэтому данные измерения не являются рентабельными при исходном уровне выбросов SO<sub>2</sub> свыше 1200 мг/м<sup>3</sup>.

В цементной промышленности ожидаемые значения находятся в диапазоне 50-400 мг/Нм<sup>3</sup> при использовании соответствующих технологий. В таблице ниже приведены общие сведения по уровням выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемым с НДТ, для производства цемента.

**Таблица 1: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в цементной промышленности. [12]**

Параметры	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) (среднесуточное значение)
Сера в топливе	Добавление адсорбента Система мокрой очистки	SO <sub>2</sub> : <50 – <400

<sup>1</sup> если указанные значения являются среднесуточными, и диапазон учитывает содержание серы в сырье

#### NO<sub>x</sub>:

При производстве цемента на выбросы NO<sub>x</sub> воздействуют следующие параметры: тип топлива, тип сжигания, соотношение температуры пламени и воздуха сгорания. Таким образом, можно принять следующие меры для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>.

В числе первичных мер находится охлаждение пламени, горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub>, ступенчатое сжигание, сжигание в средней части печи и добавление минерализаторов к сырью, они являются основными технологиями, используемыми на цементных заводах:

**Охлаждения пламени** можно добиться за счет добавления воды к топливу или непосредственно к пламени. Это снижает температуру и за счет этого ограничивает образование NO<sub>x</sub>.

**Добавление минерализаторов**, например, фтора, к сырью обеспечивает снижение температуры в зоне спекания, и, следовательно, уменьшение образования NO<sub>x</sub>.

**Горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub>** позволяют уменьшить выбросы NO<sub>x</sub> в процессе сгорания. Сжигание с использованием горелок с малым выбросом NO<sub>x</sub> заключается в сжигании без нагрева с внутренней или внешней рециркуляцией дымового газа. Уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> до 30% можно добиться при результативно работающих установках, при применении данной технологии сообщается об уровнях выбросов 600-1000 мг/Нм<sup>3</sup>. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** **При ступенчатом сжигании;** первый этап сжигания происходит во вращающейся печи. Второй этап сжигания представляет собой горелку на входе печи; при этом происходит разложение оксида азота, полученного на первом этапе. На третьем этапе сжигания топливо подается в обжиговую печь с некоторым количеством третичного воздуха. Указанная система снижает образование NO<sub>x</sub> из топлива, а также снижает выбросы NO<sub>x</sub> из печи. На четвертом и последнем этапе сжигания оставшийся третичный воздух подается в систему в качестве воздуха для сжигания остатков. Технологию ступенчатого сжигания, в общем, можно использовать только для печей, оснащенных декарбонизатором. [12]

**Сжигание в средней части печи** применяется в длинных печах мокрого или сухого типа. При нем образуется восстановительная зона при впрыске топлива в средней точке системы печей. В отдельных установках, где используется данная технология, можно добиться уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> в 20-40%.

Хотя первичные меры достаточно эффективны, можно использовать вторичные меры для обеспечения более значительного увеличения выбросов NO<sub>x</sub>. К ним относятся селективное каталитическое восстановление (СКВ) и селективное некаталитическое восстановление (СНКВ), являющиеся основными технологиями для цементных заводов **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** [6]. В СНКВ скорость преобразования меньше: 10-50 % получают на цементных заводах.

В цементной промышленности НДТ для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> являются первичные меры в сочетании со ступенчатым сжиганием или СНКВ. При использовании данных технологий можно добиться величин выбросов в пределах 200-500 мг/Нм<sup>3</sup>.

Селективное каталитическое восстановление (СКВ) является НДТ при условии использования соответствующего катализатора и усовершенствования процесса в цементной промышленности. При этом можно ожидать значительного уменьшения выбросов (85 - 95%). Как минимум 2 поставщика в Европе гарантируют уровень выбросов в диапазоне 100-200 мг/Нм<sup>3</sup> при использовании данной технологии. Тем не менее, капитальные затраты на внедрение данной технологии все еще значительно выше, чем для СНКВ. [12]

В таблице ниже приведены общие сведения по уровням выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемым с НДТ, для производства цемента. [12]

При использовании отходов попутного сжигания следует выполнять требования Директивы о сжигании отходов. [12]

**Таблица 2: Уровни выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в цементной промышленности.** [12]

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Печи с подогревателем	Сочетание: первичных мер (охлаждение пламени, горелка с малым выбросом NO <sub>x</sub> , сжигание в средней части печи, добавление минерализаторов...), ступенчатое сжигание (также в сочетании с декарбонизатором и использованием оптимизированной топливной смеси), СНКВ, СКВ.	<200 – 450 <sup>1,2</sup>
Печи Леполя и длинные вращающиеся печи		400 – 800 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> СЗВ НДТ составляет 500 мг/Нм<sup>3</sup>, где после внедрения первичных мер исходный уровень NO<sub>x</sub> составляет <1000 мг/Нм<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Существующая конструкция системы печей, свойства топливной смеси, включая горючесть отходов, сырья может повлиять на способность удерживать выбросы в диапазоне. Уровень менее 350 мг/Нм<sup>3</sup> можно получить в печи при благоприятных условиях. Более низкое среднесуточное значение в 200 мг/Нм<sup>3</sup> наблюдалось на трех заводах (используется легковоспламеняемая смесь);

<sup>3</sup> В зависимости от исходных уровней и проскока аммиака.

#### **Пыль:**

При производстве цемента имеются три основных источника выбросов пыли дымовой трубы; печь, клинкерный холодильник и цементные мельницы. Рассеянные выбросы возникают при транспортировке и хранении материалов. Помимо того, существенным может стать дробление и измельчение сырья и подготовка топлива.

Электрофильтры (ЭФ) и тканевые фильтры используют для регулирования выбросов пыли при цементном производстве.

В тканевом фильтре должны быть предусмотрены многочисленные отделения, каждое из которых можно изолировать в случае разрыва мешка, их следует спроектировать соответствующим образом для обеспечения надлежащего функционирования в случае выхода из строя одного из отделений. По мере накопления пыли возрастает сопротивление газовому потоку и давление в фильтре. В каждом отделении следует предусмотреть 'детекторы разрыва мешка', которые будут сигнализировать о необходимости выполнения технического обслуживания.

Выбросы менее 5 мг/м<sup>3</sup> можно получить за счет надлежащей конструкции и технического обслуживания тканевых фильтров.

Электрофильтры надлежащего размера с надлежащим кондиционированием воздуха и оптимизированным режимом очистки ЭФ могут способствовать уменьшению выбросов пыли менее 10 мг/Нм<sup>3</sup> (среднесуточное значение).

Для использования ЭФ необходимо регулировать уровень CO. Концентрацию CO следует поддерживать на уровне менее нижнего предела взрываемости во избежание критических проблем.

Дороги, по которым движутся грузовики, следует снабдить покрытием и периодически очищать во избежание рассеянных выбросов пыли. Кроме того, для предотвращения выбросов пыли используется распыление воды на месте установки. В воду также можно добавить химические вещества, позволяющие повысить эффективность агломерации пыли. Погрузочно-разгрузочные работы в максимальной возможной степени следует проводить в закрытом помещении, где воздух необходимо собирать и очищать с помощью тканевых фильтров. [12]

В цементной промышленности НДТ для уменьшения выбросов пыли включают в себя ЭФ и тканевые фильтры. Концентрация пыли в диапазоне 5 - 50 мг/Нм<sup>3</sup> достигается при использовании указанных технологий. При использовании гибридных фильтров (сочетание ТФ и ЭФ) получают значения в диапазоне 10 - 30 мг/Нм<sup>3</sup>. В таблице ниже приведены общие сведения по уровням выбросов пыли, ассоциируемым с НДТ, для производства цемента.

**Таблица 3: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в цементной промышленности. [4] [12]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Все системы печей Клинкерный холодильник Цементные мельницы	Тканевые фильтры или ЭФ	<b>Пыль:</b> <10-20
Работы с повышенным пылеобразованием <sup>1</sup>	Сухая очистка отработанного газа с помощью фильтра	<b>Пыль:</b> <10

<sup>1</sup> Следует отметить, что для небольших источников (<10000 Нм<sup>3</sup>/ч) следует учитывать приоритетный подход.

#### 7.10.4 Развивающиеся технологии

Как и при производстве цемента, наибольшую проблему представляют выбросы NO<sub>x</sub>, и развивающиеся технологии предусматривают уменьшение выбросов NO<sub>x</sub>.

Сжигание жидкого топлива в слое и ступенчатое сжигание в сочетании с СНКВ представляют собой развивающиеся технологии для снижения выбросов NO<sub>x</sub>.

При применении сжигания жидкого топлива в слое выбросы NO<sub>x</sub> изменяются в диапазоне от 115 мг/Нм до 190 мг/Нм с использованием тяжелого топлива и от 440 мг/Нм<sup>3</sup> до 515 мг/Нм<sup>3</sup> при использовании пылеугольного топлива.

Теоретически, сочетание ступенчатого сжигания и СНКВ приводит к тем же показателям, что и технология СКВ в части выбросов NO<sub>x</sub>.

#### 7.10.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

В следующей таблице приведены общие сведения о затратах на различные технологии уменьшения выбросов в цементной промышленности. [12] [2]

**Таблица 4: Себестоимость технологий регулирования выбросов NO<sub>x</sub> в цементной промышленности. [12]**

Технология	Применимость системы печей	Эффективность уменьшения выбросов	Подтвержденные затраты <sup>1</sup>	
			Капитальные расходы (в 10 <sup>6</sup> евро)	Эксплуатационные расходы (евро/тонну клинкера)
Охлаждение пламени	Все	0 - 35 %	До 0,2	До 0,5
Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub>	Все	0 - 35 %	До 0,45	0,07
Ступенчатое сжигание	Декарбонизатор	10 - 50%	0,1 - 2	0
	Подогреватель		1 - 4	0
СНКВ	Подогреватель и декарбонизатор	30 - 90 %	0,5 - 1,2	0,1 - 1,7
	Колосниковый подогреватель	35%	0,5	0,84
ИКВ <sup>6</sup>	Возможно, все	43 - 95 %	2,2 - 4,5	0,33 - 3,0

<sup>1</sup> Капитальные и эксплуатационные расходы, с учетом производительности печи в 3000 тонн клинкера/день и при исходных выбросах до 2000 мг NO<sub>x</sub>/м<sup>3</sup>

<sup>6</sup> Данные о затратах на основе производительности печи в 1500 тонн клинкера/день

**Таблица 5: Себестоимость технологий регулирования выбросов SO<sub>2</sub> в цементной промышленности.**

Технология	Применимость системы печей	Эффективность уменьшения выбросов	Подтвержденные затраты	
			Капитальные расходы (в 10 <sup>6</sup> евро)	Эксплуатационные расходы (евро/тонну клинкера)
Добавление абсорбента	Все	60-80%	0,2-0,3	0,1 -0,4
Мокрый очиститель	Все	> 90%	5,8-23	0,5-2
Активированный уголь	Сухие	до 95%	15 <sup>2</sup>	Нет сведений.

<sup>2</sup> Приведенные затраты также включают процесс СНКВ, с учетом производительности печи в 2000 тонн клинкера/день и исходного уровня выбросов в 50-600 мг SO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>

**Таблица 6: Себестоимость технологий регулирования выбросов пыли в цементной промышленности. [12]**

Технология	Применимость	Затраты <sup>1</sup>	
		Капитальные расходы (в 10 <sup>6</sup> евро)	Эксплуатационные расходы (евро/тонну клинкера)
Электрофильтры	Все системы печей	2,1 -6,0	0,1 -0,2
	клинкерные холодильники	0,8-1,2	0,09-0,18
	цементные мельницы	0,8-1,2	0,09-0,18
Тканевые фильтры	Все системы печей	2,1 -6,0	0,15-0,35
	клинкерные холодильники	1,0-1,4	0,1 -0,15
	цементные мельницы	0,3-0,5	0,03-0,04

<sup>1</sup> Капитальные и эксплуатационные расходы для снижения выбросов до 10-50 мг/м<sup>3</sup>, как правило, с учетом производительности печи в 3000 тонн клинкера в день и исходного уровня выбросов пыли в 500 г/м<sup>3</sup>

### 7.10.6 Список литературы, использованной в главе 7.10

- [1] Aerosol size distribution determination from stack emissions: the case of a cement plant, Fraboulet, 2007. Dust conference in Maastricht. April 2007.
- [2] Background document: cement production, EGTEI, 2003.
- [3] Assessments of technological developments BAT and limit value, cement industry, draft background document.
- [4] Options for updating BAT from a technical point of view and implications for other annexes, M. Suhr, FEA Germany, Task Force on Heavy Metal, June 2008.
- [5] "Arrete du 3 mai 1993", JO 15<sup>th</sup> June 1993.
- [6] Comments from Andre Peeters Weem, Cees Braams, InfoMil, the Dutch Ministry of Environment, 12/2008.
- [7] Comments from Maja Bernicke, Federal Environment Agency Germany, 12/2008.
- [8] Comments from Gaston Theis, Swiss Federal Office for the Environment, 11/2008.
- [9] "Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc", EGTEI, 02/2009.
- [10] Comments from Thomas Krutzler, UBA Austria, 03/2009.
- [11] "EGTEI-State of progress.doc", for WGSR, March 2009.
- [12] Draft reference document on Best Available Techniques in the cement and lime, and magnesium oxide manufacturing industries, May 2009.
- [13] Comments from the CEM bureau, May 2009.
- [14] Comments from EULA, May 2009
- [15] Comments from Andre Peteers Weem, INFOMIL, May 2009
- [16] Comments from Maja Bernicke, UBA, May 2009

## 7.11 Производство извести

### 7.11.1 Объем рассматриваемой информации

В данной категории рассматривается производство извести и использование печи для обжига извести в известковой промышленности. В ней не описаны печи для обжига извести, используемые в других промышленных процессах, например, в бумажной промышленности.

Выбросы из заводов известковой промышленности, которые составляют наибольшую проблему, - это выбросы пыли (ОВЧ). Процесс производства извести также является источником выбросов оксидов азота (NO<sub>x</sub>) и диоксида серы (SO<sub>2</sub>). В основном, выбросы данного типа возникают в процессе кальцинирования известняка. [9]

### 7.11.2 Источники выбросов

Известь производят в процессе нагрева. Карбонат кальция или магния нагревают с образованием двуоксида углерода и извести. В данном процессе происходят выбросы NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> и пыли. Для производства извести используют различные технологии. Выбор технологии зависит от количества производимой извести и размера подаваемого известняка.

Конструкция большинства используемых печей либо шахтная, либо вращающаяся. Во всех перечисленных конструкция предусмотрена концепция с наличием трех зон: зона **предварительного нагрева**, где происходит нагрев известняка до 800°C, зона **кальцинирования**, где происходит сжигание и обеспечивается образование извести при температуре более 900°C, и зона **охлаждения**, где известь охлаждается. Известь, получаемая в результате процесса охлаждения, называется негашеной известью (CaO).

Отдельные вращающиеся печи и печи с псевдоожиженным слоем эксплуатируют совместно с конкретными подогревателями.

Негашеную известь, полученную в процессе охлаждения, пропускают через сито, а мелкие частицы, менее чистые, удаляют. Просеянную негашеную известь дробят и классифицируют для определения градации продуктов.

Можно производить также гашеную известь. К ней относится гидратная известь, известковое молоко и известковое тесто. Гидратную известь производят из негашеной извести с помощью установки для гашения извести. Известковое молоко и известковое тесто получают за счет гашения извести при большом количестве воды. Для этого используют гасители извести периодической и непрерывной эксплуатации. [9].

### 7.11.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

Если не указано иное, уровни выбросов, приведенные в данном разделе, представлены на базе среднесуточных значений и при стандартных условиях 273 К, 101,3 кПа, 11% кислорода и сухом газе.

#### SO<sub>2</sub>:

При производстве извести на выбросы SO<sub>2</sub> оказывает влияние содержание серы в топливе, используемом в процессе сжигания. Выбросы SO<sub>2</sub> также зависят от конструкции печи и необходимого содержания серы в производимой извести. Основным мероприятием по уменьшению выбросов SO<sub>2</sub> является использование десульфурованного топлива или топлива с низким содержанием серы. На данный момент не существует вторичных мер для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub>, рассматриваемых в качестве НДТ. Имеются в наличии технологии добавления абсорбентов, которые, тем не менее, в настоящее время не применяются.

SO<sub>2</sub> из дымовых газов при процессе розжига печи можно извлечь за счет применения мер/технологий оптимизации процесса, обеспечивающих эффективное поглощение диоксида серы, т.е. контакт между печными газами и негашеной известью.

Поскольку отсутствуют уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, стандартные выбросы SO<sub>2</sub> при производстве извести представлены в следующей таблице. [9].

**Таблица 1: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в известковой промышленности. [7]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>
Регенеративная печь с параллельным потоком, печь с кольцевой шахтой, печь для шихты, содержащей топливо, другая шахтная печь и вращающаяся печь с подогревателем	Сочетание: оптимизации процесса для обеспечения эффективного поглощения SO <sub>2</sub> , использования топлива с низким содержанием серы, использования технологий добавления абсорбентов	<50-200
Длинная вращающаяся печь		< 50 - < 400

<sup>1</sup> Величина зависит от исходного уровня SO<sub>x</sub> в отработанном газе и используемой технологии уменьшения выбросов

#### **NO<sub>x</sub>:**

При производстве извести на выбросы NO<sub>x</sub> воздействуют следующие параметры: тип топлива, тип сжигания, соотношение температуры пламени и воздуха сгорания. Указанные параметры зависят от качества получаемой извести и конструкции печи.

Для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> могут использоваться как первичные, так и вторичные меры. К первичным мерам относятся:

- Оптимизация процесса: улучшение и оптимизация работы завода и/или гомогенизация подачи топлива и сырья.
- Конструкция горелки: Выбросы NO<sub>x</sub> можно свести к минимуму за счет использования специализированных горелок с малым выбросом NO<sub>x</sub>. Эти горелки способствуют снижению температуры пламени и, таким образом, уменьшению выбросов NO<sub>x</sub>, возникающих при тепловой реакции и (до некоторой степени) за счет используемого топлива. Уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> достигается за счет подачи продувочного воздуха для снижения температуры пламени или импульсного режима работы горелок. Горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub> используют только для вращающихся печей.

Вторичные меры, которые можно применять в данном случае:

- Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ): в процессе селективного некаталитического восстановления (СНКВ) оксиды азота (NO + NO<sub>2</sub>) из дымовых газов извлекают за счет селективного некаталитического восстановления и преобразуют в азот и воду за счет добавления восстановителя в печь и его вступления в реакцию с оксидами азота. Реакции происходят при температуре от 850 до 1020°C, с оптимальным диапазоном в пределах от 900 до 920°C. При изготовлении извести СНКВ применяется для вращающихся печей с подогревателем (решетка печи Леполя). Для вертикальных печей на данный момент отсутствует техническая возможность для обработки СНКВ, поскольку температура дымового газа значительно ниже 200°C. В длинных вращающихся печах применение технологии СНКВ нецелесообразно, поскольку зона с оптимальным температурным окном расположена во вращающейся части печи. СНКВ, развивающаяся технология в известковой промышленности, на данный момент уже применяется на одном из заводов Европы. Поскольку отсутствуют уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, стандартные выбросы NO<sub>x</sub> при производстве извести представлены в следующей таблице. [9]



**Таблица 2: Уровни выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в известковой промышленности. [7]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Печь с кольцевой шахтой, регенеративная печь с параллельным потоком, печь для шихты, содержащей топливо, и другие шахтные печи.	Сочетание: первичных технологий (использование топлива с малым содержанием азота, оптимизации процесса, конструкции горелки (горелок с малым выбросом NO <sub>x</sub> ), ступенчатого сжигания с вдуванием воздуха и СНКВ (вращающаяся печь Леполя).	100-< 350 <sup>1 2</sup>
Длинная вращающаяся печь Вращающаяся печь с подогревателем		<200-<500 <sup>1 3</sup>

<sup>1</sup> Более высокий диапазон относится к производству доломитовой извести и сильно обожженной извести.

<sup>2</sup> Для длинных вращающихся печей и вращающихся печей с подогревателем, производящих сильно обожженную известь, верхний уровень составляет до 800 мг/Нм<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Если первичных мер/технологий недостаточно, а вторичные меры/технологии отсутствуют для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> до 350 мг/Нм<sup>3</sup>, верхний уровень составляет 500 мг/Нм<sup>3</sup>, в особенности для сильно обожженной извести.

#### **Пыль:**

При производстве извести процессы обработки в печи и последующего охлаждения являются основными источниками выбросов пыли.

Кроме того, следует учитывать выбросы при транспортировке и хранении материалов.

Вращающиеся печи, в общем случае, оборудованы ЭФ, а шахтные печи и мельницы для известняка оснащены тканевыми фильтрами для регулирования выбросов пыли. Тканевые фильтры следует снабдить детекторами разрыва мешка, которые будут сигнализировать о необходимости выполнения технического обслуживания.

Также можно использовать циклоны для уменьшения выбросов пыли, но только в качестве установок предварительной очистки дымовых газов. Циклоны просты в обращении и рентабельны, но не задерживают микрочастицы с достаточной степенью эффективности.

Пыль из дымовых газов, появляющихся при гашении извести, можно удалить с помощью мокрых очистителей или тканевых фильтров, в то время как пыль из дымовых газов от дробления извести можно удалить, применяя как циклоны, так и тканевые фильтры.

В таблице далее приведены общие сведения по достижимым уровням выбросов пыли при производстве извести.

**Таблица 3: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в известковой промышленности. [9], [2],**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>
Печи	ЭФ	Пыль:< 10-20
	Тканевые фильтры	Пыль: <10
Работы с повышенным пылеобразованием <sup>1</sup>	Тканевый фильтр	Пыль: <10
	Мокрые очистители (в основном, используются в установках гидратирования)	Пыль:< 10-20

<sup>1</sup> Следует отметить, что для небольших источников (<10000 Нм<sup>3</sup>/ч) следует учитывать приоритетный подход.

<sup>2</sup> Приведены средние значения за период выборки (измерения на месте, в течение минимум получаса)

<sup>3</sup> В исключительных случаях, когда сопротивление пыли велико, показатели СЗВ НДТ могут быть выше, до 30 мг/Нм<sup>3</sup>, что составляет среднесуточное значение.

#### 7.11.4 Развивающиеся технологии

Рассматриваемые технологии уменьшения выбросов при производстве извести:

- Кальцинация в кипящем слое для уменьшения уровня выбросов SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>.
- Добавление абсорбента (гидратная известь или гидрокарбонат натрия) для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub>. В данном процессе для обеспечения его эффективности необходимо оптимизированное время выдержки.
- Керамические фильтры для уменьшения уровня выбросов пыли. В настоящее время их не используют, но их способность к улавливанию пыли при высоких температурах повышает степень применимости данной технологии.

#### 7.11.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Поскольку только выбросы пыли представляют собой проблему, стоимость технологий уменьшения пыли представлена только для пыли. [9], [2]. Существуют три основных технологии для удаления пыли, которые используют для печей для обжига извести: тканевые фильтры, электрофильтры (ЭФ) и мокрый очиститель. На объем капитальных затрат влияет размер фильтра и условия эксплуатации. Следовательно, существует множество вариантов распределения капитальных расходов. Основными источниками затрат являются инвестиции, техническое обслуживание и энергия. Себестоимость технологий уменьшения выбросов пыли представлена в таблице ниже.

Таблица 4: Себестоимость технологий регулирования выбросов пыли в известковой промышленности.

Технология	Применимость	Уровень выбросов		Стоимость <sup>3</sup>	
		мг/м <sup>3</sup> <sup>1</sup>	кг/тонну <sup>2</sup>	Капитальные расходы	Эксплуатационные расходы
ЭФ	Все системы печей, дробильная установка, вспомогательные процессы	<10-<20	0,015-0,1	0,6-3,9	>1,5
Тканевый фильтр	Все системы печей	<10-<20	0,015-0,15	0,25-1,7	>1,5
	Дробильная установка, вспомогательные процессы	<10-<20	0,015-0,05		
Мокрый пылеуловитель	Все системы печей, установки гидратации	10-30	0,06-0,25	-	-

<sup>1</sup> как правило, относятся к среднесуточным значениям, сухой газ, 273 К, 101,3 кПа и 11% O<sub>2</sub>, за исключением установок гидратации, для которых действуют приведенные условия.

<sup>2</sup> кг/тонну извести, на основании 3 700 Нм<sup>3</sup>/тонну извести для вращающихся печей с подогревателями, 3 000 Нм<sup>3</sup>/тонну извести для печей с кольцевой шахтой и регенеративных печей с параллельным потоком и 5 000 Нм<sup>3</sup>/тонну для длинных вращающихся печей

<sup>3</sup> инвестиции в 10<sup>6</sup> евро и эксплуатационные расходы в евро/тонну извести, с учетом различной производительности печей.

#### 7.11.6 Список литературы, использованной в главе 7.11

- [1] Auswertung von staub- und Feinstaubemissionsdaten der Datenbank nordrhein-westfälischer Emissionserklärungen, LUA NRW, 2003.
- [2] Background document: lime production, EGTEI, 2003.
- [3] Comments from Andre Peeters Weem, Cees Braams, InfoMil, the Dutch Ministry of Environment, 12/2008.
- [4] Comments from Maja Bernicke, Federal Environment Agency Germany, 12/2008.
- [5] Comments from Gaston Theis, Swiss Federal Office for the Environment, 11/2008.
- [6] "Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc", EGTEI, 02/2009.
- [7] Reference document on Best Available Techniques in the cement and lime manufacturing industries, Final draft version, February 2009.
- [8] "EGTEI-State of progress.doc", for WGSR, March 2009.
- [9] Draft reference document on Best Available Techniques in the cement and lime, and magnesium oxide manufacturing industries, May 2009.
- [10] Comments from Mira Tayah, IMA, May 2009.

## 7.12 Производство стекла

### 7.12.1 Объем рассматриваемой информации

Сектор производства стекла включает в себя установки для изготовления стекла с плавильной мощностью более 20 тонн в день. Производство стекловолокна и минерального волокна рассмотрено в главе "Искусственное волокно" (7-13), к данному сектору относится изготовление листового и тарного стекла, а также производство специализированного стекла (телеэкраны, освещение), бытовых стеклянных изделий и водомерного стекла. Производство листового, тарного и промышленного стекла преимущественно осуществляется крупными многонациональными компаниями, в то время как изготовление стеклянной посуды и декоративного стекла, как правило, осуществляется небольшими или средними по размеру предприятиями. Хотя производство технического и бытового стекла характеризуется большим разнообразием продукции и процессов, включая ручное стеклообразование. [1] [2] [3]

### 7.12.2 Источники выбросов

Изготовление стекла является энергоемкой деятельностью, выбор источника энергии, технологии нагрева и использования тепла крайне важен для экологических характеристик установки. Природный газ, нефтяное топливо и электроэнергия являются тремя основными источниками энергии. Хотя в последние десятилетия нефтяное топливо стало преобладающим видом при производстве стекла, все чаще используется природный газ, обеспечивающий простоту регулирования и малые выбросы SO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>, тем не менее, как правило, за счет высоких затрат. Многие печи в настоящее время рассчитаны на работу как на природном газе, так и на нефтяном топливе, причем для перехода с одного вида топлива на другой следует лишь заменить горелки; также происходит смешивание топлива и газа в одной горелке. Электричество (резистивный нагрев, при котором ток пропускают через расплавленное стекло) является третьим источником энергии для изготовления стекла; его можно использовать либо в качестве единственного источника энергии, или в сочетании с другими видами топлива. [1]

Технологии изготовления находятся в диапазоне от небольших печей с электронагревом до регенеративных печей с поперечным направлением пламени в секторе листового стекла, производящих до 900 тонн в день [4]. В следующем списке приведены основные технологии плавки для различных классов производительности:

- Установки большой производительности (>500 т/день): Почти во всех случаях регенеративные печи с поперечным направлением пламени
- Установки средней производительности (от 100 до 500 т/день): предпочтительно, регенеративные ванны печи с подковообразным пламенем, но также можно применять регенеративные, рекуперативные плавильные печи с поперечным направлением пламени, а также кислородотопливные и электрические плавильные печи
- Установки малой производительности (от 25 до 100 т/день): могут использоваться рекуперативные плавильные печи, регенеративные ванны печи с подковообразным пламенем, электрические плавильные и кислородотопливные печи [1]

**Регенеративные печи** используют регенеративные системы для использования тепла и, обычно, горелки в и под головками воздуха сгорания/ отработанного газа. Тепло отработавших газов используют для подогрева воздуха сгорания, пропуская отработанный газ через теплопоглощающую камеру. Разогрев печи происходит с одной стороны одновременно, и примерно через 20 минут меняется направление разогрева, и воздух горения проходит через ранее нагреваемую камеру. При этом можно получить температуру подогрева до 1400°C и крайне высокий термический КПД. Регенеративные печи либо относятся к типу с поперечным направлением пламени (головки горелок и горелки на обеих сторонах печи, камеры на любой из сторон) для относительно крупных установок, или к типу ванн печей с подковообразным пламенем (горелки и камеры на одной стороне).

В **рекуперативных печах** применяют теплообменники для использования тепла, которые постоянно подогревают воздух горения с помощью отработанных газов. Температура ограничивается примерно 750°C для металлических рекуператоров, а конкретная плавильная мощность рекуперативных печей примерно на 30% меньше, чем для регенеративных печей. Горелки расположены на каждой из сторон печи и непрерывно разжигаются с обеих сторон. Рекуперативные печи, в первую очередь, используют в случаях, когда требуется значительная гибкость эксплуатации, с минимальными начальными капиталовложениями, и в случаях, когда экономически нецелесообразно использовать регенераторы вследствие незначительной производительности.

**Кислородотопливное плавление** предусматривает замену воздуха сгорания кислородом (чистота >90%), за счет чего объем отработанного газа уменьшается примерно на две трети. Поскольку атмосферный азот не нужно нагревать до температуры пламени, возможно добиться энергосбережения, а также уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>. Конструкция данного типа печи, в целом, аналогична конструкции плавильных печей (различные боковые горелки, отдельное выходное отверстие отработанного газа), но в ней не применяются системы использования тепла для подогрева подаваемого кислорода.

При **электроплавке** используется блок с футеровкой и электродами, установленными сверху, по бокам, или, чаще всего, снизу печи. Энергия обеспечивается за счет резистивного нагрева при прохождении тока через расплавленное стекло. Данная технология обычно применяется в небольших печах (в особенности, для специализированного стекла), максимальный предел размеров для рентабельности определяется стоимостью электричества по сравнению с ископаемым топливом. Замена ископаемого топлива в печи предотвращает образование побочных продуктов сгорания.

**Комбинированное использование электроплавки и ископаемого топлива** может предусматривать либо розжиг ископаемого топлива за счет электрического импульса, или (реже), преимущественно, электроподогрев с применением ископаемого топлива.

**Периодическая плавка сырья** используется в случаях, когда требуется небольшое количество стекла, в особенности, если состав стекла периодически изменяется. Тигельные печи или ваннные печи периодического действия используют для плавления партий сырья, большинство из них находятся ниже порогового значения для сектора в 20 тонн/день. В тигельных печах используют нижнюю секцию для подогрева воздуха сгорания, а верхняя секция, где находятся тигели, служит в качестве плавильной камеры. Ваннные печи периодического действия крупнее и похожи на стандартные печи, но заполняются сырьем каждый день.

Разработана особая конструкция **плавильной печи** для повышения эффективности и экологических характеристик. [1]

Основными экологическими проблемами для стекольной промышленности являются выбросы в атмосферу и энергосбережение. Производство стекла является высокотемпературной, энергоемкой деятельностью, приводящей к выбросам продуктов сгорания и высокотемпературном окислении атмосферного азота, т.е., в частности, диоксида серы, двуокси углерода и оксидов азота. В выбросах из печей также содержится пыль, которая, в основном, возникает при испарительном переносе и последующей конденсации летучих сырьевых материалов. [4]

## 7.12.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

### 7.12.3.1 SO<sub>2</sub>

Основными технологиями регулирования выбросов SO<sub>2</sub> являются выбор топлива, состав сырья и очистка от кислого газа. Для процессов с использованием нефти основным источником SO<sub>2</sub> является окисление серы, содержащейся в топливе. Выбросы SO<sub>2</sub> из сырья могут варьироваться в зависимости от применения, в основном, сульфата натрия для оксидации стекла, и, в некоторых случаях, сульфита/сульфида в сырье, но они ниже, чем выбросы при использовании топлива, в случае нагревания с помощью нефти. Наиболее очевидным способом снижения выбросов SO<sub>2</sub> является уменьшение содержания серы в топливе или переход на нагревание с помощью газа (преимущественно, без серы). Поскольку использование топлива с более низким содержанием серы не обязательно приводит к повышению стоимости (за исключением высокой стоимости топлива), переход на нагревание с помощью газа требует использования другого типа горелок и некоторых других модификаций. В качестве НДТ рассматривается использование газа или нефти с уровнем серы в 1% или менее, сжигание топлива с более высоким содержанием серы может также стать НДТ, если осуществляются меры по уменьшению выбросов для обеспечения их соответствующего уровня. [1] [9]

При выбросах в процессе использования сырьевых материалов сульфаты являются основным источником для стандартного производства стекла, поскольку они являются наиболее широко используемыми очищаемыми веществами, а также важными окислителями. В самых современных стеклоплавильных печах применение сырьевых сульфатов снижено до минимального целесообразного уровня. Что касается очистки, принципы сухой и полусухой очистки аналогичны: абсорбент вводится в поток отработанного газа и растворяется в нем, абсорбенты, выбранные для SO<sub>2</sub>, также эффективны и для других кислых газов. Абсорбентом может стать сухой порошок (сухой процесс), взвесь или раствор с водяным охлаждением газового потока (полусухой процесс). Повторное использование отфильтрованной пыли (включая остатки сульфатов) часто считается целесообразным, если оно технически применимо. Данное мероприятие может уменьшить общие выбросы серы вплоть до технической целесообразной замены сырья отфильтрованной пылью; могут потребоваться внешние пути удаления для отфильтрованной пыли. Таким образом, специфические для местных условий решения могут предусматривать баланс между потенциально проблематичным сведением к минимуму количества отходов и уменьшением выбросов серы, в данном случае важным становится баланс серы.

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

Большинство установленных очистителей SO<sub>2</sub> работают на базе очистки с применением сухой извести при температуре примерно 400°C, при данной температуре можно добиться снижения выбросов SO<sub>2</sub> примерно в 50% (большая скорость восстановления возможна при температуре около 200°C и влажной среде). [1] [5]

Для **тарного, листового, бытового и специализированного стекла** в качестве НДТ рассматривается вторичное уменьшение выбросов пыли с применением сухой и полусухой очистки от кислого газа, при соответствующих условиях. Для НДТ приводятся различные значения, в зависимости от топлива (для тарного и листового стекла) и от приоритета по уменьшению выбросов у данной установки, поскольку снижение уровня выбросов за счет фильтрации пыли и повторного использования стеклобоя может привести к высокому уровню выбросов SO<sub>2</sub>.

Для **стеклоцемента** НДТ для SO<sub>2</sub> является выбор топлива (если целесообразно) и контроль состава сырья. [1]

**Таблица 1: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для печей в стекольном производстве [1]**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> , мг SO <sub>2</sub> /Нм <sup>3</sup> или (кг/т)		Примечания
	нагревание с помощью газа	нагревание с помощью нефти	
Тарное стекло с уменьшением выбросов SO <sub>2</sub> в качестве приоритетной задачи	200 - 500 (0,3-0,75)	500-1200 (0,75-1,8)	
Тарное стекло с минимизацией отходов в качестве приоритетной задачи	<800 (1,2)	<1500 (2,25)	Если баланс масс не позволяет обеспечить достижение приведенных выше значений.
Листовое стекло с уменьшением выбросов SO <sub>2</sub> в качестве приоритетной задачи	200 - 500 (0,5-1,25)	500-1200 (1,25-3)	
Листовое стекло с минимизацией отходов в качестве приоритетной задачи	<800 (2)	<1500 (3,75)	Если баланс масс не позволяет обеспечить достижение приведенных выше значений.
Бытовое стекло	200 - 500 (0,5-1,25)	500-1300 (1,25-3,25)	Если содержание сульфатов в сырье низкое, то <200 для нагревания с помощью газа. Цифры в верхней части диапазона относятся к повторному использованию пыли.
Специализированное стекло (включая водомерное стекло)	200 - 500	500-1200	Цифры в верхней части диапазона относятся к повторному использованию пыли.
Стеклоцемент	<200 (0,1-0,5)	500-1000	Нагревание с помощью нефти выполняется редко.

<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.  
Для газов сгорания: сухая, 8% кислорода по объему (плавильные печи непрерывной работы), 13% кислорода по объему (плавильные печи периодической работы). Для систем с кислородотопливным нагреванием выбросы с поправкой на 8% кислорода не имеют большого значения, выбросы из данных систем следует рассматривать в зависимости от массы.

### 7.12.3.2 NO<sub>x</sub>

При производстве стекла оксиды азота, в основном, получают в виде “теплого” NO<sub>x</sub>, возникающего при высокой температуре печи, в качестве продукта разложения веществ в сырье, и из азота, содержащегося в используемом топливе. Таким образом, некоторые параметры оказывают существенное влияние на уровень выбросов NO<sub>x</sub>: тип и количество используемого топлива (природный газ, тяжелое нефтяное топливо), тип печи (с поперечным направлением пламени, ванны печи с подковообразным пламенем; регенеративный, рекуперативный подогрев воздуха), температура плавления и тип получаемого стекла [6] [7]. Наиболее подходящими технологиями регулирования выбросов NO<sub>x</sub> в общем случае, являются: первичные меры, кислородотопливное плавление, химическое восстановление топливом, селективное каталитическое восстановление (СКВ) и селективное некаталитическое восстановление (СНКВ). При использовании сжигания в обогащенной кислородом среде следует обращать особое внимание на энергосбережение, с тем, чтобы не снизить потенциал уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>. [1][6]

Первичные изменения процесса основаны на применении следующих технологий или их сочетаний: снижение соотношения воздух - топливо (практически стехиометрическое сгорание), ступенчатое сгорание<sup>1</sup>, горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub> и герметичные горелки, а также смена вида топлива. К другим мерам относится работа печей практически в условиях восстановления и сведение к минимуму подачи воздуха горения. Последнее выполняется для того, чтобы улучшить энергосбережение и предотвратить образование NO<sub>x</sub>. В общем случае, рекомендуется поддерживать содержание 0,7-1% O<sub>2</sub> в конкретных плавильных печах и 1-2% O<sub>2</sub> в ваннах печах с подковообразным пламенем (измеряется на выходе камеры сгорания) и обеспечивать максимально низкий уровень CO (от 200-300 до 1000 частей на миллион CO максимум). [8] [9]

Вторичные технологии уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> при изготовлении стекла следует внедрять в том случае, когда первичные меры не позволяют достичь требуемого уровня NO<sub>x</sub>. К ним относятся химическое восстановление с помощью топлива, селективное каталитическое восстановление (СКВ) и нечасто используемое селективное некаталитическое восстановление (СНКВ). [9]

Для **тарного стекла** основными технологиями, которые могут рассматриваться как НДТ, являются первичные меры (модификации процесса сгорания), кислородотопливное нагревание, СНКВ или СКВ (другие технологии, позволяющие достичь уровня выбросов, могут также стать НДТ). Технически, малый уровень выбросов NO<sub>x</sub> можно получить, например, за счет использования специализированных плавильных печей или электроплавки. Тем не менее, указанные технологии могут быть рентабельными только в отдельных случаях. Более широко используемыми вариантами, которые, тем не менее, не следует рассматривать как наиболее предпочтительные для всех обстоятельств, являются кислородотопливное нагревание и подогрев сырья/стеклобоя.

Если для данных вторичных технологии требуется выдержка времени до следующего восстановительного ремонта, многие печи, работающие на воздушно-топливной смеси, могут обеспечить достижение уровня выбросов в 600-850 мг/Нм<sup>3</sup> только при использовании первичных мер.

Для **листового стекла** НДТ являются первичные меры. Если другие технологии (например, СКВ) используются для достижения заданных уровней, их также можно рассматривать в качестве НДТ. Если для данных технологии требуется выдержка времени до следующего восстановительного ремонта, многие печи, работающие на воздушно-топливной смеси, могут обеспечить достижение уровня выбросов <850 мг/Нм<sup>3</sup> только при использовании модификаций сгорания.

Для **бытового стекла** сложнее сформулировать НДТ, поскольку в секторе более высокие требования к качеству продукта, меньшие объемы производства и более окислительные условия (более высокие уровни нитратов) увеличивают вероятность выбросов NO<sub>x</sub>. Для установок меньшего размера печи с электронагревом являются возможным вариантом и могут рассматриваться в качестве НДТ для свинцового хрустала, хрустального стекла и опалового стекла.

В течение небольшого времени при использовании мер первичного сжигания ожидается уменьшение выбросов до 40% по сравнению с текущим уровнем. В качестве среднесрочного варианта ожидаемые значения находятся в диапазоне 500-700 мг/Нм<sup>3</sup> при использовании следующих мер (или их сочетания), которые рассматриваются в качестве НДТ: первичные меры, кислородотопливное нагревание или СКВ (если их стоимость является допустимой).

Для **специализированного стекла** значения НДТ основаны преимущественно на использовании кислородотопливной плавки и СНКВ или СКВ. Данный сектор является крайне разнообразным, а соответствующие технологии зависят от проблем, характерных для местных условий.

Для **стеклобоя** НДТ является использование кислородотопливной плавки или воздушно-газовых систем, первичных или вторичных мер, которые могут способствовать достижению заданных уровней. [1]

<sup>1</sup> Предполагается, что при установке новой горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub> использование данного мероприятия прекращается.

**Таблица 2: Уровни выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для печей в стекольном производстве [1]**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> (кг/тонну)	Примечания
Листовое стекло	Технологии НДТ (см. текст)	500-700(1,5-1,75)	Переходный режим до следующего восстановительного ремонта или значительного использования нитратов: < 850 (2,2)
Тарное стекло	Технологии НДТ (см. текст)	500-700(0,5-1,1)	Переходный режим до следующего восстановительного ремонта: 500-850(0,9-1,3)
Специализированное стекло	Технологии НДТ (см. текст)	500-700	
Бытовое стекло (свинцовый хрусталь, хрустальное стекло, опаловое стекло)	Электронагрев	(0,2-1,0)	
	Кратковременные модификации: с использованием топливо-воздушной смеси	1000-1500(2,5-3,5)	
	Среднесрочные предельные значения: Первичные меры, <del>ЗР/дожигание</del> , кислородотопливные горелки, СНКВ, СКВ	500-700(0,5-1,75)	
Стеклоцемент	Кислородотопливная плавка	(0,5-1,5)	
	Воздушно-газовые системы и первичные/вторичные меры	500-700	

<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

Для газов сгорания: сухая, 8 % кислорода по объему (плавильные печи непрерывной работы), 13 % кислорода по объему (плавильные печи периодической работы). Для систем с кислородотопливным нагреванием выбросы с поправкой на 8 % кислорода не имеют большого значения, выбросы из данных систем следует рассматривать в зависимости от массы.



### 7.12.3.3 Пыль

Выбросы пыли происходят во всех подсекторах производства стекла на различных технологических этапах. Выбросы пыли в стеклоплавильной промышленности осуществляются преимущественно из печей и, в меньшей степени, при смешивании сырья (использовании порошкообразного, гранулярного или пылевидного сырья), а также чистовой обработке и обдувке стеклопродуктов. Выбросы пыли происходят из дозирочной установки в виде летучих компонентов, которые испаряются и конденсируются из сырья и стекломассы (в основном, сульфата натрия), при смешивании отдельных видов ископаемого топлива, в небольших количествах при транспортировке материалов, погрузке-выгрузке, хранении и смешивании. Выбросы пыли в значительной мере зависят от типа используемого топлива, типа печи и типа получаемого тепла. Помимо природоохранных мер в конце производственного цикла, к возможным вариантам небольшого снижения выбросов пыли относятся: гранулирование стекольной шихты, смена системы нагрева с нагревания с помощью нефти/газа на электронагрев, загрузка большей части стеклянных отходов производства в сырье, и лучший выбор сырья (распределение частиц по размерам). [2]

Выбросы пыли, возникающие при транспортировке, хранении и смешивании, как правило, крупнее, чем при высокотемпературных процессах, которые составляют, как правило, < 1 мкм.<sup>2</sup> Выбросы при хранении можно уменьшить за счет закрытых складов, вентилируемых с помощью подходящего оборудования для уменьшения выбросов пыли. При транспортировке надземными конвейерами необходимо предусмотреть кожух определенного типа, обеспечивающий защиту от ветра, необходимую для предотвращения значительных потерь материала. Рассматриваемые системы можно спроектировать таким образом, чтобы закрыть конвейер со всех сторон. При использовании пневмотранспорта важно обеспечить закрытую систему с фильтром для очистки воздуха транспортировки перед его сбросом. Для уменьшения выбросов пыли в процессе транспортировки и "переноса" мелких частиц из печи в сырье может поддерживаться определенное содержание воды, обычно, 3 -4%. [2]

В процессе плавления с использованием электропечей периодического действия выбросы пыли значительно варьируются. Выбросы пыли из ванн хрустального стекла (<5 кг/тонну расплавленного стекла) выше, чем из других стекольных ванн (<1 кг/тонну расплавленного натриевого и калиевого стекла). Кислородотопливные горелки могут уменьшить объем выбросов отработанного газа и образование летучей золы на 60%. Наиболее важным средством уменьшения выбросов пыли из печей является использование систем, оборудованных либо электрофильтром, либо мешочным фильтром, в сочетании с системами сухой или полусухой очистки от кислого газа. Установка электрофильтров (ЭФ) может снизить выбросы пыли до 30 мг/м<sup>3</sup>, а тканевые (мешочные) фильтры могут уменьшить выбросы до уровня менее 10 мг/м<sup>3</sup>. Уровень выбросов НДТ при использовании указанных технологий составляет 5-30 мг/Нм<sup>3</sup> (равен 0,1 кг/тонну расплавленного стекла), на основе типичного периода осреднения от 30 минут до 24 часов. В отдельных случаях НДТ для выбросов металлов может привести к более низкому уровню выбросов пыли. [1] [2]

Для **тарного, листового, бытового, специализированного стекла, стеклобоя** в качестве НДТ для пыли рассматривается использование электрофильтров или мешочных фильтров, по возможности, в сочетании с системами сухой или полусухой очистки от кислого газа. В отдельных случаях применение НДТ для металлов может привести к более низкому уровню выбросов пыли. [1]

**Таблица 3: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для печей в стекольном производстве [1]**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Тарное стекло	5-30 (<0,1)	
Листовое стекло	5-30 (<0,1)	
Бытовое стекло	5-30 (<0,1)	
Специализированное стекло	5-30	
Стеклоцемент	5-30 (<0,1)	

<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

Для газов сгорания: сухая, 8 % кислорода по объему (плавильные печи непрерывной работы), 13 % кислорода по объему (плавильные печи периодической работы). Для систем с кислородотопливным нагреванием выбросы с поправкой на 8 % кислорода не имеют большого значения, выбросы из данных систем следует рассматривать в зависимости от массы.

#### 7.12.3.4 Летучие органические соединения

Выбросы летучих органических соединений при производстве минерального волокна рассмотрены в разделе "Искусственные волокна (7-13)". Для других операций по изготовлению стекла возможны незначительные выбросы летучих органических соединений, например, при нанесении покрытия холодным способом. Указанные выбросы не считаются существенными и в дальнейшем не рассматриваются.

#### 7.12.3.5 Воздействия на другие среды

Для всех упомянутых выше технологий уменьшения выбросов следует учитывать поступление загрязнителей из одной среды в другую, а также полный диапазон воздействия на окружающую среду и положительные воздействия. Например, дополнительное энергопотребление и повышенное количество отходов или сточных вод могут возникнуть в результате самостоятельных усилий по предотвращению загрязнения, уменьшению или полному устранению выбросов. Для сектора производства стекла повторное использование отфильтрованной пыли (включая отходы сульфатов) может привести к более высоким выбросам SO<sub>x</sub>, при этом могут стать невозможными одновременная минимизация отходов и уменьшение выбросов серы (см. раздел Оксиды серы).

#### 7.12.4 Развивающиеся технологии

В среднесрочной перспективе не ожидается крупных прорывов в технологии. Технологии, которые уже не входят в категорию **развивающихся**, но которые могут пройти дальнейшую разработку - это системы с горелками с малым выбросом NO<sub>x</sub>, кислородотопливное плавление, подогрев стеклобоя и сырья, разработки, касающиеся состава сырья, внедрения процессов сплавания. Инновационные долговременные технологии, рассматриваемые в экспериментальном масштабе, - это системы, использующие керамические фильтры и катализаторы, удаляющие в течение одной операции NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> и пыль (CERCAT®), и ЭФ, использующие заряженные капли воды (TRI-MER®) [1] [10]

### 7.12.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Таблица 4: Сведения о затратах на различные технологии уменьшения выбросов [1]

Технология уменьшения выбросов	Капитальные затраты [тыс €] на 100/300/600 [т/день]	Ежегодные эксплуатационные расходы [тыс €] на 100/300/600 [т/день]	Затраты производства конкретных изделий [€/тонну расплавленного стекла] на 100/300/600 [т/день]
СКВ	615/1000/1800	64/123/330	4,98/2,83/2,99
СНКВ	280/450/1350	28/73/225	2,35/1,49/2,16
малые выбросы NO <sub>x</sub>	100/180/550	21/35/72	1,34/0,72/0,83
Кислородотопливные горелки	-300/-1350/-4800	190/530/1900	4,06/5,05/5,16
3R, включая ремонт, и т.д.	- /270/680	-/185/285	2,87/2,28/1,91
3R, исключая ремонт	-/140/260	-/106/267	2,20/1,35/1,50
СКВ+фильтр	1500/2420/4550	108/200/470	10,2/5,75/5,78
Фильтр+очиститель	875/1420/2750	53/89/186	5,52/3,01/3,06

Значения для производительности 100 [т/день] тарное (11120 м<sup>3</sup> дымового газа/ч), 300 [т/день] тарное 23000 м<sup>3</sup> дымового газа/ч, 600 [т/день] полированное (70000 м<sup>3</sup> дымового газа/ч)

Таблица 5: Эффективность различных технологий снижения выбросов NO<sub>x</sub> при производстве стекла [5]

	Достижимый уровень выбросов	Вторичные меры	Достижимый уровень выбросов
Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub>	40%	3R процесс	85%
Ступенчатое сжигание	35%	СКВ	>70%
кислородотопливное нагревание	<1 кг NO <sub>x</sub> /тонну стекла	СНКВ	до 70 %

**Таблица 6: Затраты производства конкретных изделий для различных сочетаний фильтров (пыль) и очистителей (SO<sub>x</sub>) для стеклоплавильных печей [11]**

Тип стекла	Производство (тонн)расплава в день)	ЭФ и сухой очиститель (CaOH)2 Повторное использование отфильтрованной пыли [€/т ]	ЭФ и сухой очиститель (CaOH)2 Утилизация отфильтрованной пыли [€/т]	ЭФ и сухой очиститель (NaHC03) Повторное использование отфильтрованной пыли [€/т]	ЭФ и сухой очиститель (NaHC03) Утилизация отфильтрованной пыли [€/т]	Мешочный фильтр и сухой очиститель Повторное использование отфильтрованной пыли [€/т ]	Мешочный фильтр и сухой очиститель Утилизация отфильтрованной пыли [€/т]	Мешочный фильтр и полусухой очиститель Повторное использование отфильтрованной пыли [€/т ]	Мешочный фильтр и полусухой очиститель Утилизация отфильтрованной пыли [€/т]	Мокрый очиститель [€/т]
Полированное стекло	500	4,8	6,51				6	7-7,35	9,6 (газ)-13 (нефть)	
Полированное стекло	700	4,27	5,87	4,39	7,75	6,98				
Полированное стекло	900	3,88	5,44					5,82	8,33	
Тарное стекло	100-150	11	14							
Тарное стекло	200		6,7			4,63-5,9	4,8-7			
Тарное стекло (нефть)	200					6,4	9,25			
Тарное стекло (нефть)	300-350	4,52-6	6,31-7,5		7,38-8,33	3,86-5	4,11-7,3	5,3	6,54	
Тарное стекло	450	3,96-5,2	4,77-6,5			2,9	3,6			
Тарное стекло (нефть)	600	3,58	5,1			2,7	3,37			
Тарное стекло (газ)	740	4	5,1							
Тарное стекло (газ)	1240	3,4	4,6							
Тарное стекло (нефть)	1240	3,7	6,2							
Столовая посуда	30-35	15,65	16,7			12,85	13,84			
Столовая посуда	180-200		7,66			3,75-4,35				
Е-стекло кислород	100-120						11			14,4-21,5*
Е-стекло воздух	100-120									15,7-20,5*

\* более высокие значения для утилизации отфильтрованной пыли 400 евро/тонну

**Таблица 7: Затраты производства конкретных изделий для различных методов удаления NOx для стеклоплавильных печей [11]**

Тип стекла	Производство (тонн расплава в день)	СКВ [€/т]	3R [€/т]	СНКВ (рекуперативное) [€/т]	Основные меры по снижению выбросов пох ** [€/т]	Расширенные меры по снижению выбросов NOx*** [€/т]	Разогрев только с кислородом (€/Нм <sup>3</sup> ) с диносовым сводом * [€/т]	Разогрев только с кислородом (€/Нм <sup>3</sup> ) с литым сводом * [€/т]
Полированное стекло	500	3,3	6-6,25		0,85-1,1		6,83 (0,06)	11,35(0,06)
Полированное стекло	700	2,6-2,9	5,25-5,6			2,33		
Полированное стекло	900	2,6			0,58	1,82		
Тарное стекло	150						3,07 (0,06)	5,28 (0,06)
Тарное стекло	200-225	2,56	4,5	2,28	0,76	1,63	3,27 (0,06)	5,39 (0,06)
Тарное стекло	300	2,13	4	1,88	0,59	1,34		
Тарное стекло	450	1,84			0,47	1,09	5,18(0,06)	7,16(0,06)
Тарное стекло Печь с поперечным направлением пламени	450		3,73		1,02	1,5 (расчетн.)		
Столовая посуда (рекуперативное)	30-35	8					(при 0,10)-4,32	
Столовая посуда (регенеративное)	70						(при 0,10)+12,76	
Столовая посуда (регенеративное)	100	4,9						
Столовая посуда (регенеративное)	150					8 (E-boost)		
Столовая посуда (регенеративное)	190				0,7			
Специализированное стекло (нагревание с использованием кислорода)	250			3,34				
Специализированное стекло регенеративный нагрев	700			2,8				
Е-стекло	100			4,1			6,20 (0,08)	

\* Стоимость кислорода в евро на Нм<sup>3</sup> приведена в скобках  
 \*\* Основные меры по снижению выбросов Nox: регулируемые горелки, кислородные датчики, коррекция подачи топлива по давлению наддува  
 \*\*\* Расширенные меры по снижению выбросов Nox: основные меры плюс модифицированные выходные отверстия горелок и камера сгорания

### 7.12.6 Список литературы, использованной в главе 7.12

---

1 European Commission. 2001: "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry." <http://eippcb.irc.es/pages/FActivities.htm>

2 UNECE 2006. Draft background document: Assessment of technological developments: Best Available Techniques (BAT) and limit values. Submitted to the Task Force on Heavy Metals of UNECE CLTRAP

3 Technical background documents for the actualisation and assessment of UNECE protocols related to the abatement of the transboundary Transport of nitrogen oxides from stationary sources, DFIU, 1999.

4 UNECE 2003. Background document on the sector of glass industry. Geneva (available on the EGTEI website: [http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei\\_index.htm](http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm))

5 DEFRA 2006: Sector Guidance Note IPPC SG2 - Secretary of State's Guidance for A2 Activities in the Glassmaking Sector, <http://www.defra.gov.uk>

6 UNECE 1999. Draft guidance documents on control techniques and economic instruments to the protocol to abate acidification, eutrophication and ground level ozone.

7 Bingham and Marshall: Reformulation of container glasses for environmental benefit through lower melting temperatures. Glass Technology, 2005, 46 (1), pp 11-19.

8 VDI 2578. Verein Deutscher Ingenieure: Emission control Glassworks, VDI/DIN Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3, 1999

9 IFC 2007. International Finance Corporation (World Bank Group): Environmental, Health, and Safety Guidelines for Glass Manufacturing

10 CPIV Expert communication 05.05.2009

11 Beerkens 2007 Evaluation of costs associated with air pollution control for glass melting furnaces -A study to support the revision of the IPPC reference document on best available techniques in the glass manufacturing industry 2008, Ordered by CPIV, Brussels, Belgium.

#### General References:

US Environmental Protection Agency (US EPA). 1995. "AP-42 Section 11.15, Glass Manufacturing." Washington, DC.

US Environmental Protection Agency (US EPA). Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart CC - Standards of Performance for Glass Manufacturing Plants, 40 CFR Part 60. Washington, DC.

US EPA 1995 Glass Manufacturing Point Source Category. Subpart E - Float Glass Manufacturing Subcategory 40 CFR Part 426. Washington, DC.

## 7.13 Производство искусственного волокна

### 7.13.1 Объем рассматриваемой информации

В сектор производства искусственного минерального волокна входят установки для изготовления стекловолокна с непрерывной нитью, минеральной ваты и теплостойкой изоляционной ваты с плавильной мощностью более 20 тонн в день. К минеральной вате относятся изоляционные материалы на основе стекловаты и каменной ваты, т.е. произвольно переплетенные волокна, соединенные связующим веществом на основе смол.[1][2]

### 7.13.2 Источники выбросов

Отдельные технологические операции и экологические проблемы в секторе "производство искусственных волокон" аналогичны выполняемым в секторе "производство стекла", поэтому в дальнейшем приведена дополнительная информация для основных производственных технологий, НДТ, и т.д. сектора "производства стекла".

**Стекловолокно с непрерывной нитью** производят с использованием рекуперативных печей или печей, работающих на кислородно-топливной смеси. Стекло вытекает из печи в передней горн и проходит через выходные отверстия в основании. Стекло протягивают через наконечники в виде щетки, получая непрерывные нити. Нити собирают вместе и протягивают на ролике или ремне, которые наносят водорастворимое покрытие на каждую нить. Нити с покрытием собирают в пучки (пряжи) для дальнейшей обработки.

Печи для **стекловаты**, как правило, представляют собой электрические плавильные печи, рекуперативные печи с газовым нагревом, или печи, работающие на смеси кислорода и топлива. Стекло вытекает в передней горн и через отдельные выходные отверстия во вращающиеся центробежные аппараты для намотки. Волокнообразование происходит за счет центрифугального действия с ослаблением за счет использования газов факела пламени. На волокна распыляется водный раствор фенольной смолы, распыляемый на волокна. Волокно с покрытием из смолы под вакуумом направляют на движущийся конвейер, а затем пропускают через печь для сушки и отверждения продукта.

**Каменную вату**, как правило, производят в вагранке с подогревом дутья, работающей на коксе. Расплавленный материал собирают в поде печи, далее он протекает по намоточному устройству. Воздух используется для вытягивания волокон и направления их на ленту, водный раствор фенольной смолы наносят на волокна с использованием ряда распылительных сопел. В остальном, процесс происходит аналогично процессу для стекловаты.

**Керамические волокна** производят с применением электропечей. Образование волокон из расплава осуществляется либо при использовании колес, вращающихся с высокой скоростью, или форсунки высокого давления, а волокна наматывают на ленту. На данном этапе продукцию либо пакетируют, либо превращают в полотнище, которое затем пакетируют как готовый продукт, или свойлачивают.

#### **Минеральная вата**

В секторе производства минеральной ваты, в основном, используют рекуперативные и электропечи, в дополнение к печам для производства стекловаты, работающим на газообразном кислороде.

Как и в стеклоплавильной промышленности, основными экологическими проблемами являются выбросы в атмосферу (печи на ископаемом топливе и оксидация атмосферного азота при высокой температуре приводят к возникновению выбросов SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> и пыли) и энергопотребление.

В дополнение к выбросам, характерным для сектора производства стекла, существуют еще два важных источника выбросов: область формования (нанесение связующего вещества на волокна) и вулканизационная печь (высушивание и отверждение связующего вещества). В области формования происходят выбросы пыли, фенола, формальдегида и аммиака, в вулканизационной печи происходят выбросы летучих компонентов связующего вещества, продуктов распада и продуктов сгорания. Для производства теплоизоляционной стекловаты используют только электропечи. Таким образом, наиболее существенными являются лишь выбросы пыли, и, в малой степени, некоторых органических соединений. [2]  
[3]

### 7.13.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

#### 7.13.3.1 SO<sub>2</sub>

При производстве каменной ваты важными источниками выбросов SO<sub>2</sub> (в дополнение к коксу) являются использование шлака доменных печей и цементных брикетов в качестве сырья. Доступность кокса с низким содержанием серы и шлака характеризуется ограниченной поставкой в пределах экономически целесообразных расстояний транспортировки. Как правило, шлак можно удалить из большей части сырья (за исключением, например, белых волокон для отдельных вариантов применения). Использование брикетов отходов с цементным связыванием предусматривает баланс между минимизацией отходов и уменьшением выбросов SO<sub>2</sub>.

[2]

Для стекловолнока с непрерывной нитью в качестве НДТ рассматривается использование вторичного уменьшения выбросов пыли с применением сухой или полусухой очистки от кислого газа, если это применимо. Верхняя граница диапазона соответствует повторному использованию пыли (в ином случае, можно ожидать получения лишь низких значений). [2]

При производстве стекловаты выбросы SO<sub>2</sub> нередко невысоки и без использования специализированного оборудования для уменьшения выбросов, поскольку нагрев практически всех печей производят электрически или с помощью газа, при этом уровни выбросов сульфатов крайне невелики. При использовании печей, работающих на нефтяном топливе, как правило, может потребоваться очистка от кислого газа для защиты оборудования для уменьшения выбросов пыли. [2]

Для производства каменной ваты приведенные значения для НДТ соответствуют условиям, когда приоритетным является повторное использование производственных отходов. Если невозможно получить указанные значения, очистка от кислого газа может стать НДТ (сухая очистка может стать наиболее рентабельной). [2]

Таблица 1: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для печей в производстве волокон [2]

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> (кг/т)		Примечания
	нагревание с помощью газа	нагревание с помощью нефти	
Стекловолоконно с непрерывной нитью	< 200; (0,9)	500-1000 (2,25-4,5)	При наличии сульфатов в сырье возможно нагревание с помощью газа до 800 (3,6). Для нагревания с помощью нефти верхняя граница диапазона относится к повторному использованию пыли.
Стекловата	в общем случае, < 50 (0,1)	300-1000 (0,6-2,0)	В общем случае, стекло с низким содержанием сульфатов.
Каменная вата (с нагревом коксом) с минимизацией отходов и повторным использованием в качестве приоритетной цели.	< 600(1,5) < 1100 (2,7) < 1400 (3,4)		(a) Доза камня (b) брикеты с цементным связыванием 45 % (c) Брикеты цемента, включая отфильтрованную пыль
Каменная вата (с нагревом коксом) с уменьшением выбросов SO <sub>2</sub> в качестве приоритетной цели.	< 200(0,5) < 350(0,8) < 400(1,0)		(a) Доза камня (b) брикеты с цементным связыванием 45 % (c) Брикеты цемента, включая отфильтрованную пыль
Керамические волокна (электроплавка)	< 0,5 кг/тонну расплава		Только электропечи, концентрация зависит от конкретного случая.
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.<sup>^</sup></p> <p>Для газов сгорания: сухая, 8% кислорода по объему (плавильные печи непрерывной работы), 13% кислорода по объему (плавильные печи периодической работы). Для систем с кислородотопливным нагреванием выбросы с поправкой на 8% кислорода не имеют большого значения, выбросы из данных систем следует рассматривать в зависимости от массы.</p>			



### 7.13.3.2 NO<sub>x</sub>

Для **стекловолокна с непрерывной нитью** в качестве наиболее вероятного НДТ рассматривается кислородотопливная плавка, тем не менее, это не является абсолютно точным заключением. Использование СКВ маловероятно в ближайшем будущем вследствие возможной конденсации боратов в катализаторе. При использовании сжигания в обогащенной кислородом среде следует обращать особое внимание на энергосбережение, с тем, чтобы не снизить потенциал уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>.

Для **производства стекловаты** в качестве НДТ для NO<sub>x</sub> рассматривается нагревание с помощью кислорода или, предпочтительно, электроплавка, стандартное сжигание в сочетании с первичными или вторичными мерами также можно считать НДТ в случае, когда достигаемые выбросы находятся в пределах диапазона.

Вагранки с использованием каменной ваты, как правило, не становятся источником значительных выбросов NO<sub>x</sub>, хотя при использовании ванн-печей уровни НДТ NO<sub>x</sub> соответствуют приведенным для производства стекловаты. [2]

**Таблица 2: Уровни выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для печей в производстве волокон [2]**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Стекловата с непрерывной нитью, сжигание в обогащенной кислородом среде	(0,5-1,5)	
Стекловата с непрерывной нитью, иные технологии, кроме сжигания в обогащенной кислородом среде	500-700	Сектор в переходном периоде, касающийся регулирования выбросов NO <sub>x</sub> , выбросы, как правило, превышают 1000 мг/Нм <sup>3</sup> (4,5 кг/тонну), при стандартном сжигании можно получить значения 800 мг/Нм <sup>3</sup> (3,6 кг/тонну)
Стекловата	500-700 (0,5-1,4)	
Каменная вата	(0,5)	Для ванн-печей: см. уровень для стекловаты
Керамическое волокно	(0,1-0,5)	
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p>Для газов сгорания: сухая, 8% кислорода по объему (плавильные печи непрерывной работы), 13% кислорода по объему (плавильные печи периодической работы). Для систем с кислородотопливным нагреванием выбросы с поправкой на 8% кислорода не имеют большого значения, выбросы из данных систем следует рассматривать в зависимости от массы.</p>		

### 7.13.3.3 Пыль

Многие положения из раздела, касающегося изготовления стекла, применимы и для производства искусственных волокон, например, что кислородотопливные горелки могут уменьшить объем отработанного газа и летучей пыли на 60%. Технологии в конце производственного цикла для предотвращения и регулирования выбросов пыли, в большинстве случаев, включают в себя установку электрофильтров (ЭФ), уменьшающих выбросы до 30 мг/м<sup>3</sup>, и тканевых (мешочных) фильтров, уменьшающих выбросы до уровня менее 10 мг/м<sup>3</sup>. [1]

Для **стекловолокна с непрерывной нитью** НДТ для пыли является использование электрофильтров или мешочных фильтров, работающих, если это целесообразно, в сочетании с системами сухой или полусухой очистки от кислого газа. Для данного сектора охлаждение отработанного газа и размещение системы уменьшения выбросов крайне важны для оптимизации эффективности. Если существующее оборудование может обеспечить достижение уровня выбросов в 50 мг/Нм<sup>3</sup>, стоимость замены до следующего восстановительного ремонта может стать непропорциональной получаемым преимуществам. [2]

Для производства **минеральной ваты (стекловата и каменная вата)** в качестве НДТ рассматривается использование электрофильтров или мешочных фильтров, в то время как использование систем очистки от кислого газа не является необходимым вследствие преобладания электронагрева или газового нагрева). Для процессов глубокой переработки в качестве НДТ рассматривается использование мокрого электростатического очистителя, насадочного очистителя или фильтра каменной ваты (только для процессов изготовления каменной ваты).

При **производстве стекловаты** охлаждение отработанного газа и размещение системы уменьшения выбросов крайне важны для оптимизации эффективности. Если существующее оборудование может обеспечить достижение уровня выбросов в 50 мг/Нм<sup>3</sup>, стоимость замены до следующего восстановительного ремонта может стать непропорциональной получаемым преимуществам.

Для производства **керамического волокна** электроплавка с использованием системы мешочных фильтров рассматривается в качестве НДТ. [1]

**Таблица 3: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для печей в производстве волокон [2]**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> , мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/тонну)	Примечания
Стекловолокно с непрерывной нитью	5-30; (<0,14)	Электрофильтр или мешочный фильтр (плюс сухой или полусухой очиститель от кислого газа, в соответствующих условиях) Если существующее оборудование обеспечивает уровень выбросов 50 мг/Нм <sup>3</sup> , стоимость крупных модификаций до восстановительного ремонта может стать непропорционально высокой
Стекловата	5-30 (<0,1)	Электрофильтр или мешочный фильтр. Если существующее оборудование обеспечивает уровень выбросов 50 мг/Нм <sup>3</sup> , стоимость крупных модификаций до восстановительного ремонта может стать непропорционально высокой
Каменная вата		
Процессы глубокой переработки для установок производства минеральной ваты	20-50 5-30	сочетание формования и вулканизационных печей для каменной ваты
Керамические волокна	<10	
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p>Для газов сгорания: сухая, 8% кислорода по объему (плавильные печи непрерывной работы), 13% кислорода по объему (плавильные печи периодической работы). Для систем с кислородотопливным нагреванием выбросы с поправкой на 8% кислорода не имеют большого значения, выбросы из данных систем следует рассматривать в зависимости от массы.</p>		

#### 7.13.3.4 Летучие органические соединения

При производстве искусственных минеральных волокон выбросы летучих органических соединений можно уменьшить за счет перехода на растворитель с низким содержанием органических компонентов, содержащий связующие вещества, и/или за счет адсорбции и сжигания летучих органических соединений.

Для процессов производства **каменной ваты** в качестве НДТ рассматривается использование установки термического окисления сернистых соединений для уменьшения выбросов из вулканизационной печи.

В таблице 4 приведены уровни выбросов, которые можно получить при переходе со стандартных связующих веществ на соединения с измененным составом, и за счет удаления выбросов, происходящих на этапах формования и отверждения (каталитическое окисление сернистых соединений или адсорбция с предшествующим осаждением пыли). [1]

**Таблица 4: Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ, для производства волокон [2]**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> , мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/тонну)	Примечания
Стекловата	10-50 [1] (0,12) [4]	область формования и сочетание выбросов при формовании и отверждении
Каменная вата	<10	вулканизационные печи: Использование установки термического окисления сернистых соединений рассматривается в качестве НДТ
Керамическое волокно	10-20	

<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

#### **7.13.3.5 Воздействия на другие среды**

Для всех упомянутых выше технологий уменьшения выбросов следует учитывать поступление загрязнителей из одной среды в другую, а также полный диапазон воздействия на окружающую среду и положительные воздействия. Например, дополнительное энергопотребление и повышенное количество отходов или сточных вод могут возникнуть в результате самостоятельных усилий по предотвращению загрязнения, уменьшению или полному устранению выбросов.

#### **7.13.4 Развивающиеся технологии**

К развивающимся технологиям относится Plasma Melter, в которой используется электропроводимость расплавленного стекла, выбросы пыли в ходе применения которой пренебрежимо малы. Тем не менее, не предполагается, что данная технология плавки станет практически осуществимой в обозримом будущем.

### 7.13.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Общие сведения о затратах для технологий уменьшения выбросов см. в разделах 7-12 (производство стекла).

**Таблица 5: Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов (только производство волокон)**  
[1]

Технология уменьшения выбросов	Стандартный расход Нм <sup>3</sup> /ч	NO <sub>x</sub> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Пыль мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Летучие органические соединения мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Капиталовложения для новых процессов млн. €	Капиталовложения для существующих процессов млн. €	Эксплуатационные расходы млн.€/год
Контактный очиститель + циклон	150000-300000	-	50 (1,8)	30 (1,8)	1,3+30 %	1,6+40 %	0,1+0,02
Контактный очиститель + циклон+ влажный электростатический осадитель	150000-300000	-	20 (1,2)	30 (1,8)	3,8+30 %	4,6+40 %	0,12+0,02
Износостойкость очиститель + циклон+ насадочный очиститель	150000-300000	-	50 (1,8)	25 (1,8)	3,5+30 %	4,2+40 %	0,21+0,02
Фильтр с вставкой из каменной ваты	150000-250000	-	20 (0,7)	25 (1,0)	1,3+30 %	1,5+30 %	0,2+0,1
Мусоросжигатели	150000-300000	200 <sup>(3)</sup> (0,6)	20 (0,1)	10(0,04)	1,3+40 %	1,6+30 %	0,2+0,1
Дымовые трубы	150000-300000				0,7+40 %	0,8+40 %	-

### 7.13.6 Список литературы, использованной в главе 7.13

- 1 UNECE 2006. Draft background document: Assessment of technological developments: Best Available Techniques (BAT) and limit values. Submitted to the Task Force on Heavy Metals of UNECE CLTRAP
- 2 European Commission. 2001: "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry." <http://eippcb.irc.es/pages/FActivities.htm>
- 3 UNECE. 2003. Background document on the sector of glass industry. Geneva (available on the EGTEI website: [http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei\\_index.htm](http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm))
- 4 Old version of the guidance document

#### General References:

US Environmental Protection Agency (US EPA). 1995. "AP-42 Section 11.15, Glass Manufacturing." Washington, DC.

US Environmental Protection Agency (US EPA). Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart CC - Standards of Performance for Glass Manufacturing Plants, 40 CFR Part 60. Washington, DC.

US EPA. 1995 .Glass Manufacturing Point Source Category. Subpart E - Float Glass Manufacturing Subcategory40 CFR Part 426. Washington, DC.

Technical background documents for the actualisation and assessment of UN/ECE protocols related to the abatement of the transboundary Transport of nitrogen oxides from stationary sources, DFIU, 1999.

## **7.14 Керамика**

### **7.14.1 Объем рассматриваемой информации**

В данном секторе рассматриваются промышленные установки для изготовления керамических изделий за счет обжига, в частности, черепицы, кирпичей, жароупорных кирпичей, плитки, гончарных изделий или фарфора, с производительностью более 75 тонн в день и/или с производительностью печи более 4 м<sup>3</sup> и с плотностью усадки на печь свыше 300 кг/м<sup>3</sup>. [6]

### **7.14.2 Источники выбросов**

Изготовление керамических изделий происходит в различных типах печей с разнообразными видами сырья. Тем не менее, общий процесс изготовления керамических изделий достаточно равномерный, за исключением того, что для некоторых изделий используется многоступенчатый процесс обжига. [1] К основным технологическим этапам относятся:

- Подготовка сырья и смешивание компонентов
- Формование изделия, отделка
- Сушка изделия
- Обжиг изделия
- Чистовая обработка изделий
- Добавление вспомогательных материалов [2]

В общем случае, происходит смешивание и формование сырья, которое запрессовывают или выдавливают в форму. Воду, используемую для тщательного смешивания и формования, испаряют в сушилках, изделия либо помещают в печь вручную (в особенности, печи с выкатным подом с периодическим режимом работы), либо на вагонетки, транспортируемые в постоянно работающие туннельные печи или в печи с роликовым подом. Для изготовления керамзита используют печи с роликовым подом. При розжиге необходим крайне точный температурный градиент, обеспечивающий правильную обработку изделий. В настоящее время природный газ, сжиженный нефтяной газ и легкое дистиллятное топливо, в основном, используют для разогрева, а в качестве источника энергии для горелок можно также применять тяжелое нефтяное топливо, сжиженный природный газ, электроэнергию, получаемую из биогаза/биомассы, и твердое топливо. К основным экологическим проблемам относятся выбросы в атмосферу в виде пыли, а также газообразные выбросы (оксиды углерода, оксиды азота, оксиды серы, и т.д.). [1] [3]

### **7.14.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

Для всех перечисленных далее загрязнителей снижения выбросов можно добиться за счет уменьшения энергопотребления. Для этого в качестве НДТ рассматривается сочетание следующих технологий:

- Усовершенствованная конструкция печей и сушилок
- Повторное использование избыточного тепла печей, в особенности, их зоны охлаждения
- Применение перехода на другой вид топлива в процессе розжига печи (замена тяжелого нефтяного топлива и твердого топлива)
- Модифицирование керамических материалов

Более того, в качестве НДТ рассматривается уменьшение первичного энергопотребления за счет применения когенерации с учетом потребностей в полезной теплоте, в рамках схем регулирования энергопотребления, которые являются экономически рентабельными. [1]

#### **7.14.3.1 SO<sub>2</sub>**

Выбросы SO<sub>2</sub>, содержащегося в отработанном газе из керамических печей, зависят от содержания серы в топливе и отдельных сырьевых материалах (сульфат кальция, пирит, и т.д.). Однако, наличие карбонатов в сырье может снизить выбросы серы. В общем случае, технологии уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> включают в себя использование топлива с низким содержанием серы (например, природного газа или сжиженного природного газа), сырья с низким содержанием серы и присадок с низким содержанием серы. Дальнейшее уменьшение выбросов возможно за счет оптимизации процесса нагрева и снижения температуры обжига, а также использования сухих или мокрых очистителей. [4]

**Таблица 1: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для производства керамических изделий [1]**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup>	Примечания
Дымовой газ при розжиге печи	<500 500-2000	Содержание серы в сырье <0,25% Содержание серы в сырье >0,25%; более высокий уровень относится только к сырью с очень высоким содержанием серы [Примечание: В руководящем документе IFC приведено общее значение 400 для работы печи при 10% O <sub>2</sub> ]
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p>Исходные условия: содержание кислорода 18%</p>		

#### 7.14.3.2 NO<sub>x</sub>

Технологии снижения выбросов газообразных веществ при изготовлении керамических изделий можно обобщить следующим образом: уменьшение ввода предшествующих продуктов для загрязнителей (сырье и добавки) и оптимизация кривой нагрева (оптимальная пиковая температура пламени, компьютеризированное управление розжигом печи). Для керамзита в качестве НДТ рассматривается поддержание выбросов из вращающейся печи на уровне ниже заданного значения для НДТ за счет сочетания первичных мер/технологий. [1] [4]

**Таблица 2: Уровни выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для дымового газа при розжиге печи в ходе производства керамических изделий [1]**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup>	Примечания
Дымовой газ при розжиге печи	<250  <500	Среднесуточное значение для NO <sub>2</sub> при температуре топочного газа ниже 1300 °С Среднесуточное значение для NO <sub>2</sub> при температуре топочного газа 1300 °С или выше [Примечание В руководящем документе IFC приведено общее значение 600 для работы печи при 10% O <sub>2</sub> ]
Дымовой газ при розжиге печи (керамзит)	<500	Среднесуточное значение
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p>Исходные условия: содержание кислорода 18%</p>		

### 7.14.3.3 Пыль

#### Общие НДТ

Обработка глины и другого сырья для керамики неизбежно приводит к образованию пыли, в особенности, сушка, дробление, механическое измельчение, просеивание, смешивание и транспортировка, могут привести к выбросам мелкой пыли; топливо также способствует увеличению подобных выбросов. В то время как выбросы рассеянной пыли следует минимизировать за счет применения соответствующих мер (использование складов для бестарного хранения пылеобразных порошковых материалов или закрытых площадок хранения в пределах зданий, или закрытых контейнеров/упаковки), для канализованных выбросов пыли в качестве НДТ рассматривается использование тканевых фильтров.

Для процессов осушки в качестве НДТ рассматривается очистка сушилки, предотвращение накопления остатков пыли в сушилке и использование соответствующих протоколов технического обслуживания.

Для розжига печи в качестве НДТ рассматривается использование малозольного топлива, минимизация образования пыли при загрузке изделий в печь, и применение очистки дымовых газов фильтрами или системами с уплотненным слоем адсорбента. [1] [2]

#### НДТ, характерные для данного сектора

Для стеновой и напольной плитки, бытовой керамики, сантехники и технической керамики, глазурованных керамических труб в качестве НДТ рассматривается уменьшение канализованных выбросов пыли при процессах напыления глазури за счет применения тканевых фильтров или спеченных многослойных фильтров.

Для стеновой и напольной плитки, бытовой керамики, технической керамики в качестве НДТ рассматривается уменьшение канализованных выбросов пыли при процессах распылительной сушки за счет применения тканевых фильтров или циклонов в сочетании с мокрыми пылеуловителями для существующих установок, если возможно повторное использование промывочной воды. Для керамзита в качестве НДТ рассматривается уменьшение канализованных выбросов из горячих отработанных газов за счет применения электрофильтров или мокрых пылеуловителей.

Для стеновой и напольной плитки в качестве НДТ рассматривается уменьшение выбросов пыли из дымовых газов в процессе розжига печи, применения очистки дымового газа с помощью тканевого фильтра. [1]

**Таблица 3: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для производства керамических изделий [1]**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup>	Примечания
<b>Общие НДТ</b>		
Канализованные выбросы при любых операциях, кроме сушки, распылительной сушки или обжига	1-10	Среднее значение за полчаса при применении тканевого фильтра; может быть выше при определенных условиях
Процессы сушки	1-20	Среднесуточное значение
Розжиг печи	1-20	Среднесуточное значение; очистка дымового газа фильтром
	<50	Среднесуточное значение; очистка дымового газа с применением каскадных систем с уплотненным слоем адсорбента
<b>НДТ, характерные для данного сектора</b>		
Напыление глазури (Для стеновой и напольной плитки, бытовой керамики, сантехники, технической керамики, глазурованных керамических труб)	1-10	
Распылительная сушка (для стеновой и напольной плитки, бытовой керамики, технической керамики)	1-30	Получасовое среднее значение; тканевые фильтры
	1-50	Циклоны в сочетании с мокрыми пылеуловителями для существующих установок, если возможно повторное использование промывочной воды
Керамзит	5-50	Среднесуточное значение
Розжиг печи (для стеновой и напольной плитки)	1-5	Среднесуточное значение
<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше. Исходные условия: содержание кислорода 18%		

#### 7.14.3.4 Летучие органические соединения

Выбросы летучих органических веществ (летучих органических соединений) происходят при неполном сгорании и из органических материалов в сырье (например, связующие вещества, пластификаторы, смазочные вещества).

Для кирпичей и черепицы, огнеупорных изделий, технической керамики, неорганических абразивов со связкой в качестве НДТ рассматривается уменьшение выбросов летучих органических соединений из дымовых газов в процессе розжига - при концентрации неочищенного газа свыше 100 - 150 мг/м<sup>3</sup>, в зависимости от характеристик неочищенного газа, например, состав, температура - до заданного значения НДТ за счет применения термического дожигания в одно- или трехкамерном термореакторе.

Для огнеупорных изделий, обрабатываемых органическими веществами, в качестве НДТ рассматривается уменьшение выбросов при небольших объемах отработанного газа при обработке органическими веществами за счет применения фильтров с активированным углем. Для больших объемов газа в качестве НДТ рассматривается уменьшение выбросов летучих органических соединений при обработке органическими веществами за счет применения термического дожигания. [1] [5]



**Таблица 4: Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ, для производства керамических изделий [1]**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup>	Примечания
Дымовые газы в процессе розжига для кирпичей и черепицы, огнеупорных изделий, технической керамики, неорганических абразивов со связкой	5-20	При концентрации неочищенного газа свыше 100-150 мг/м <sup>3</sup> ; среднесуточное значение (общее С); при применении дожига, в 1 или 3-камерном термореакторе
Огнеупорные изделия	5-20	Термическое дожигание

<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

#### 7.14.3.5 Воздействия на другие среды

Для всех упомянутых выше технологий уменьшения выбросов следует учитывать поступление загрязнителей из одной среды в другую, а также полный диапазон воздействия на окружающую среду и положительные воздействия. Например, дополнительное энергопотребление и повышенное количество отходов или сточных вод могут возникнуть в результате самостоятельных усилий по предотвращению загрязнения, уменьшению или полному устранению выбросов.

#### **7.14.4 Развивающиеся технологии**

Использование горелок с радиантными трубами (пламя находится внутри термостойкой трубки, технология находится в стадии разработки) может способствовать снижению выбросов фторводорода и SO<sub>2</sub>. Целью розжига с помощью микроволн и применения микроволновых сушильных устройств являются более короткие циклы обжига и меньшее количество избыточного тепла. Крупные огнеупорные изделия можно сушить с большей степенью эффективности за счет помещения стальной пленки или углеродных волокон в качестве нагревательного элемента в огнеупорную массу. [1]

## 7.14.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Таблица 5: Данные о затратах для различных технологий уменьшения выбросов при производстве керамики [1]

Система/тип очистки	Область применения	Абсорбент/ адсорбент	Стандартные размеры/ расход для производства керамики (фактич. м <sup>3</sup> /ч) <sup>1</sup>	Примерные инвестиционные директивы (евро)	Техническое обслуживание (евро/год)	Стоимость сорбентов (евро/тонну) (евро/год)	Эксплуатационные расходы евро/т
<b>Уменьшение выбросов пыли</b>							
Тканевый/мешочный фильтр	Замкнутые участки на заводе, участки подготовки, транспортировки, хранения формования, перегрузка между участками, и т.д.		от 900 до 70000	6000-150000 (в зависимости от размера и количества каналов)			0,03-0,1
Основное вакуумное пылеотсасывающее устройство	Замкнутые участки на заводе, участки подготовки, транспортировки, хранения формования, перегрузка между участками, печные вагонетки и т.д.		от 900 до 1000	25000 - 65000 (в зависимости от количества каналов/труб)			
Система очистки печных вагонеток (в другом исполнении: Неподвижное сопло, подвижное сопло, подъем и регулировка плато)	Печные вагонетки		от 8000 до 30000	40000 -200000 (в зависимости от размера и исполнения)			
Электрофильтр	Уменьшение выбросов пыли для горячих и значительных потоков отработанного газа		До 100000				

<b>Уменьшение выбросов неорганических газовых соединений</b>							
Модульная система	В основном, уменьшение выбросов фторводорода	пористая структура Ca(OH) <sub>2</sub>	Очень низкий расход	45000-100000	~500	~46000 евро/год	23400 - 4800
Каскадная система с уплотненным слоем адсорбента	В основном, уменьшение выбросов фторводорода	CaCO <sub>3</sub>	от 2500 до 140000 (без нижнего или верхнего предела)	40000 - 500000	~2000	30-55 евро/тонну (поставка) 4000 – 30000 евро/год	
Каскадная система с уплотненным слоем адсорбента	В основном, уменьшение выбросов фторводорода, хлорида водорода и SO <sub>2</sub>	Модифицированный/готовый абсорбент	от 2500 до 140000 (без нижнего или верхнего предела)	40000 - 500000	~2000	95-110 евро/тонну (поставка) до 60000 евро/год	
Противоточная система с уплотненным слоем адсорбента/последовательный модуль	В основном, уменьшение выбросов фторводорода, хлорида водорода и SO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> и модифицированный/готовый абсорбент	от 2500 до 140000 (без нижнего или верхнего предела)	80000 - 800000	~2500	30-55 евро/тонну (поставка), соответственно, 95 - 110 евро/тонну (поставка)	107500-130700
Сухая абсорбция с использованием тканевого фильтра (поточная система)	В основном, уменьшение выбросов фторводорода, хлорида водорода, SO <sub>2</sub> и твердых частиц	Ca(OH) <sub>2</sub> разного качества	от 2500 до 140000 (без нижнего или верхнего предела)	80000-1000000	~4000	95-110 евро/тонну (поставка) 8000 – 45000 евро/год	107500-130700
Сухая абсорбция с использованием тканевого фильтра (поточная система) с очисткой продукта реакции	В основном, уменьшение выбросов фторводорода, хлорида водорода и SO <sub>2</sub> и твердых частиц	Ca(OH) <sub>2</sub> разного качества (с добавлением небольшого количества воды)	от 2500 до 140000 (без нижнего или верхнего предела)	200000 - 1600000	~6500	95-110 евро/тонну (поставка) 8000 – 45000 евро/год	

Мокрый очиститель	В основном, уменьшение выбросов хлорида водорода и SO <sub>2</sub>	Водный раствор щелочи	от 2500 до 140000 (без нижнего или верхнего предела)	400000 -2000000	До 8000	95-110 евро/тонну (поставка) 8000 – -45000 евро/год + вода	
<b>Уменьшение выбросов летучих органических соединений</b>							
Термическое дожигание в термореакторе (внешнем)	Уменьшение выбросов летучих органических соединений		10000-50000	180000-420000	500-4500		
Внутреннее обогащение сгорание газа	Уменьшение выбросов летучих органических соединений			42000 - 300000	500 - 8000		

Примечание: В столбце 'стандартные размеры/расход' и в столбце 'примерные инвестиционные директивы' приведены диапазоны значений. Рационально предположить, что небольшая фактическая величина м<sup>3</sup>/ч соответствует малым значениям капитальных расходов в евро, и что высокие фактические значения м<sup>3</sup>/ч соответствуют высоким значениям капиталовложений в евро. Между указанными величинами повышение происходит нелинейно, как правило, чем большее фактическое количество м<sup>3</sup>/ч находится в обработке, тем ниже становятся капиталовложения на фактический м<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>) Значения расхода представлены в виде величины 'фактический м<sup>3</sup>' (в отличие от стандартного м<sup>3</sup>, стандартные условия), поскольку необходимо выполнять обработку фактического дымового газа.

### 7.14.6 Список литературы, использованной в главе 7.14

[1] European Commission. 2007: "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramics Manufacturing Industry." <http://eippcb.irc.es/pages/FActivities.htm>

[2] DEFRA 2007: Sector Guidance Note IPPC SG7 - Secretary of State's Guidance for the A2 Ceramics Sector including Heavy Clay, Refractories, Calcining Clay and Whiteware. <http://www.defra.gov.uk>

[3] Rentz, O., A. Schmittinger, R. Jochum and F. Schultmann (2002): Exemplarische Untersuchung der praktischen Umsetzung des integrierten UMBteltschutzes in der Keramischen Industrie unter Beachtung der IVU-Richtlinie und der Erstellung von BVT-Merkblättern, DFIU-IFARE Karlsruhe, report on behalf of UMBtreltbundesamt, Germany, 221 pp.

[4] IFC 2007. International Finance Corporation (World Bank Group): Environmental, Health, and Safety Guidelines for Ceramic Tile and Sanitary Ware Manufacturing

[5] US Environmental Protection Agency (US EPA). 1995. "AP-42 Section 11.15, Glass Manufacturing." Washington, DC.

#### General References

US Environmental Protection Agency (US EPA). Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart CC - Standards of Performance for Glass Manufacturing Plants, 40 CFR Part 60. Washington, DC.

US EPA 1995 .Glass Manufacturing Point Source Category. Subpart E - Float Glass Manufacturing Subcategory40 CFR Part 426. Washington, DC.

Beerens 2007 Evaluation of costs associated with air pollution control for glass melting furnaces - A study to support the revision of the IPPC reference document on best available techniques in the glass manufacturing industry 2008, Ordered by CPIV, Brussels, Belgium.

European Commission. 2007: Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Industrial Emissions (Integrated Pollution Prevention and Control) (Recast)

## 7.15 Производство целлюлозы

### 7.15.1 Объем рассматриваемой информации

В данной главе рассмотрены наиболее широко распространенные процессы изготовления целлюлозы с применением сульфатов (сульфатная варка) и сульфита. Процессы изготовления целлюлозы [5] являются источниками выбросов оксида азота (NO<sub>x</sub>), диоксида серы (SO<sub>2</sub>) и пыли (ОВЧ).

### 7.15.2 Источники выбросов

Для химических процессов получения целлюлозы, например, сульфатной варки, требуется дерево. Прежде всего, с дерева снимают кору, затем превращают в стружку с ее последующей отсортировкой. Материал, удаленный в ходе работ по отсортировке, можно использовать в ходе процесса в качестве твердого топлива или продавать для применения в других целях. Затем отсортированный материал варят в специальной установке с добавлением различных химических веществ, в зависимости от процесса. Этап варки может производиться либо непрерывно, либо периодически.

**Сульфатная варка или крафт-процесс** представляет собой наиболее распространенный процесс получения целлюлозы вследствие качества получаемого продукта и применимости процесса для всех видов дерева.

На этапе варки в ходе крафт-процесса волокна отделяют от сортированной стружки с использованием раствора белого щелока для растворения лигнина. Белый щелок состоит из гидроксида натрия и сульфида натрия.

Целлюлоза, получаемая на установке варки, содержит волокна и использованный варочный щелок; черный щелок. Черный щелок удаляют из целлюлозы на этапе промывки и направляют на восстановление. В ходе процесса восстановления происходит восстановление химических веществ и энергии. Как правило, система восстановления обеспечивает самообеспечение теплом и энергией в ходе всего производственного процесса.

По завершении этапа варки удаление лигнина можно продолжить за счет кислородной делигнификации. Затем выполняют очистку целлюлозы.

Следующим этапом процесса является отбеливание, необходимое только для осветления целлюлозы в ходе крафт-процесса. Отбеливание, как правило, происходит в несколько отдельных последовательных этапов (4-5). В ходе данных этапов в качестве отбеливателя можно использовать диоксид хлора, кислород, озон и перекись водорода.

После отбеливания целлюлозу очищают.

В зависимости от типа завода; целлюлозный или целлюлозно-бумажный завод, полученную в ходе процесса целлюлозу сушат для транспортировки или используют непосредственно в текущем состоянии. [1],[5].

После этапа варки черный щелок извлекают и направляют на восстановление. Для использования в качестве рабочего топлива восстановленный черный щелок должен пройти процесс сгущения. Его сгущают испарением до содержания сухих твердых веществ в 65-75%. В процессе испарения происходит улавливание неконденсирующихся газов и конденсатов. Неконденсирующиеся газы сжигают с газами с неприятным запахом, в то время как конденсаты очищают и используют в качестве химических веществ при промывке целлюлозы.

Концентрированный черный щелок сжигают в котле-утилизаторе для извлечения натрия и серы в подходящей химической форме для регенерации химических веществ для варки целлюлозы и восстановления энергии из дымовых газов. [1],[5].

Система восстановления также позволяет регенерировать химические вещества; расплав из котла-утилизатора извлекают и растворяют в воде или белом щелоке. Затем происходит очистка раствора и его подщелачивание известью для образования гидроксида натрия, который затем используют для производства белого щелока.

Карбонат кальция, полученный при подщелачивании, используют в печи для обжига извести для восстановления извести.

Источниками выбросов в атмосферу в ходе данного процесса, в основном, являются котлы-утилизаторы, печи для обжига извести, вспомогательные котлы и сушилку целлюлозы.

Тем не менее, **котел-утилизатор** является основным источником выбросов в ходе крафт-процесса. Котел заправляют концентрированным черным щелоком, который становится источником выбросов NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> и пыли. На данные типы выбросов воздействует эффективность сжигания и содержание серы в черном щелоке.

**Печь для обжига извести** является источником выбросов, аналогичных наблюдаемым при производстве извести.

Коревой котел и другие типы котлов используют в крафт-процесса в качестве вспомогательных, позволяя обеспечить энергопотребление при производстве целлюлозы. Указанные типы котлов работают на твердом, жидком или газообразном топливе. [1]

**Сульфитную варку** используют реже, чем крафт-процесс, вследствие более низкого качества получаемой целлюлозы и его неприменимости для отдельных видов дерева. Решение экологических проблем, в большинстве случаев, является более затратным, чем для крафт-процесса.

При сульфитной варке используют те же процессы, различаются лишь химические вещества. Следовательно, существуют незначительные различия в этапах восстановления и регенерации.

Белый щелок, используемый в установке для варки, состоит из сульфита магния и бисульфита магния. Этап варки большую часть времени представляет собой периодический процесс.

Как и в ходе крафт-процесса, происходит восстановление химических веществ и энергии, позволяющее сделать производственный процесс самодостаточным в плане тепла и энергии.

Источники выбросов в атмосферу в ходе данного процесса аналогичны проявляющимся в крафт-процессе, котел-утилизатор также является основным источником выбросов. [1]

### 7.15.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

Если не указано иное, данные относятся к среднегодовым значениям, стандартные условия и исходное содержание кислорода при этом составляют:

- 6% при использовании твердого топлива или биотоплива;
- 3% при использовании жидкого или газообразного топлива

**SO<sub>2</sub>:**

#### Крафт-процесс

Котел-утилизатор является основным источником выбросов SO<sub>2</sub>. Следовательно, НДТ для снижения выбросов SO<sub>2</sub> при производстве целлюлозы, в первую очередь, является уменьшение выбросов из данного котла.

Газы с неприятным запахом из установки варки, появившиеся на этапе делигнификации или испарения черного щелока, необходимо уловить и сжечь в печи для обжига извести, котле-утилизаторе или вспомогательных котлах. Выбросы при сжигании необходимо регулировать.

В котле-утилизаторе использование черного щелока с высоким содержанием сухих твердых веществ является первичным мероприятием для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub>. Высокое содержание сухих твердых веществ >75% позволяет в значительной степени уменьшить выбросы.

Для снижения выбросов SO<sub>2</sub> из котла-утилизатора, можно установить мокрый очиститель дымового газа в качестве вторичного мероприятия. Очистка обеспечивает удаление SO<sub>2</sub> и пыли. pH контролируют и регулируют за счет добавления щелока или гидроксида натрия. SO<sub>2</sub> вступает в реакцию с очищающей жидкостью для образования сульфита натрия (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) или сульфата натрия (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Обычная эффективность удаления при очистке составляет > 90 %. Для исходных уровней концентрации 50 - 200 мг/Нм<sup>3</sup> можно добиться величины в 10 - 50 мг/м.

Уменьшение выбросов SO<sub>2</sub> из других котлов предусматривает использование топлива с низким содержанием серы или применение очистителя для регулирования выбросов. [1]

В следующей таблице приведены общие сведения по уровням выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемым с НДТ, для крафт-процесса получения целлюлозы с использованием различных технологий.

**Таблица 1: Выбросы SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в ходе крафт-процесса для получения целлюлозы. [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг S/Нм <sup>3</sup> )
Котел-утилизатор (5% O <sub>2</sub> )	Система очистки SO <sub>2</sub> If с высоким содержанием твердых сухих веществ в черном щелоке (>75%)	10-50 доходит до 5 - 10
Вспомогательные котлы	Использование топлива с низким содержанием серы	100-200 <sup>1</sup> 25 - 50 <sup>2</sup> <5 <sup>3</sup> <15 <sup>4</sup>
	Система очистки SO <sub>2</sub>	50-100 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> работает на угле или тяжелом нефтяном топливе

<sup>2</sup> работает на газойле

<sup>3</sup> работает на газе

<sup>4</sup> работает на биотопливе



### Сульфитная варка

Как и для крафт-процесса варки целлюлозы, котел-утилизатор является источником большинства выбросов SO<sub>2</sub> в процессе сульфитной варки.

Аналогичные первичные меры можно применять для уменьшения выбросов.

Для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> из котла-утилизатора можно использовать многоступенчатый очиститель дымового газа. Выбросы SO<sub>2</sub> из других котлов можно уменьшить за счет использования тех же технологий восстановления, что и для крафт-процесса.

В следующей таблице приведены общие сведения по уровням выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемым с НДТ, для процесса сульфитной варки целлюлозы с использованием различных технологий.

**Таблица 2: Выбросы SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в ходе процесса сульфитной варки. [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг S /Нм <sup>3</sup> )
Котел-утилизатор (5% O <sub>2</sub> ) Вспомогательные котлы	Многоступенчатый очиститель SO <sub>2</sub>	50-150
	Использование топлива с низким содержанием серы	100-200 <sup>1</sup> 25 - 50 <sup>2</sup> <5 <sup>3</sup> <15 <sup>4</sup>
	Система очистки SO <sub>2</sub>	50-100 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> работает на угле или тяжелом нефтяном топливе

<sup>2</sup> работает на газойле

<sup>3</sup> работает на газе

<sup>4</sup> работает на биотопливе

### NO<sub>x</sub>:

#### Крафт-процесс

Основными источниками выбросов NO<sub>x</sub> в ходе крафт-процесса являются печи для обжига извести и котел-утилизатор. Котел-утилизатор является источником большинства выбросов NO<sub>x</sub> за счет сжигаемого черного щелока. Горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub> и изменение условий сгорания со ступенчатой системой подачи воздуха могут способствовать уменьшению уровня выбросов.

Высокая температура сгорания в печи для сжигания извести также является источником выбросов NO<sub>x</sub>. На уровень выбросов воздействует тип используемого топлива. Первичные меры, такие как регулировка параметров функционирования, таких как форма пламени или распределение воздуха, могут способствовать регулированию выбросов NO<sub>x</sub>.

Диапазон размеров вспомогательных котлов в целлюлозной промышленности значительно различается (от 10 до более 200 МВт).

Следовательно, можно применять различные меры для небольших и больших котлов. В небольших котлах рентабельными являются структурные и первичные меры, в то время для больших котлов можно также применять вторичные меры. [1]

В таблице ниже приведены общие сведения по уровням выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемым с НДТ, для крафт-процесса производства целлюлозы.

**Таблица 3: Выбросы NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в ходе крафт-процесса для получения целлюлозы. [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Котел-утилизатор (5% O <sub>2</sub> )	Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> , ступенчатая система подачи воздуха	80-120
Печь для обжига извести	параметры регулирования: нагрев с помощью нефти нагрев с помощью газа	80-180 <sup>5</sup> 300 - 540 <sup>5</sup>
Вспомогательные котлы	структурные и первичные меры	80-110 <sup>1</sup> 45 - 60 <sup>2</sup> 30 - 60 <sup>3</sup> 60-100 <sup>4</sup>
	СНКВ	50 - 80 <sup>1</sup> 40 - 70 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> работает на угле или тяжелом нефтяном топливе

<sup>2</sup> работает на газойле

<sup>3</sup> работает на газе

<sup>4</sup> работает на биотопливе

<sup>5</sup> Согласно СНДТ, возможно, это ошибка]

#### Сульфитная варка

Основным источниками выбросов NO<sub>x</sub> в процессе сульфитной варки являются котлы. Таким образом, выбросы NO<sub>x</sub> из данных котлов также можно уменьшить за счет применения тех же технологий снижения выбросов, что и для крафт-процесса. В следующей таблице приведены общие сведения по уровням выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемым с НДТ, для сульфитной варки в целлюлозной промышленности.

**Таблица 4: Выбросы NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в ходе сульфитной варки для получения целлюлозы. [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Котел-утилизатор (5% O <sub>2</sub> )	Горелки с малым выбросом NO <sub>x</sub> , ступенчатая система подачи воздуха	200 - 300
Вспомогательный котел	структурные и первичные меры	80-110 <sup>1</sup> 45 - 60 <sup>2</sup> 30 - 60 <sup>3</sup> 60-100 <sup>4</sup>
	СНКВ	50 - 80 <sup>1</sup> 40 - 70 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> работает на угле или тяжелом нефтяном топливе

<sup>2</sup> работает на газойле

<sup>3</sup> работает на газе

<sup>4</sup> работает на биотопливе

## Пыль:

### Крафт-процесс

На целлюлозных заводах, использующих крафт-процесс, пыль появляется из различных источников, в основном, из печи для обжига извести, вспомогательного котла и котла-утилизатора. Выбросы можно регулировать за счет применения электрофильтра и/или очистителей SO<sub>2</sub>, в зависимости от источника выбросов. Помимо того, можно использовать мешочные фильтры. [7]

Очистители SO<sub>2</sub>, используемые для котлов, также обеспечивают регулирование выбросов пыли.

Для новых котлов использование одних ЭФ рассматривается в качестве НДТ для уменьшения уровня выбросов пыли. Для существующих котлов необходимо сочетать ЭФ и очистители. Очиститель SO<sub>2</sub> в сочетании с ЭФ может обеспечить уровень в 15 мг/Нм<sup>3</sup> выбросов пыли.

В таблице ниже приведены общие сведения по уровням выбросов пыли, ассоциируемым с НДТ, для крафт-процесса производства целлюлозы.

**Таблица 5: Выбросы пыли, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в ходе крафт-процесса для получения целлюлозы. [1] [2]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Печь для обжига извести	ЭФ	<b>Пыль:</b> 30 - 50
Котлы-утилизаторы (5% O <sub>2</sub> )	ЭФ и очистители SO <sub>2</sub>	<b>Пыль:</b> 30 - 50
Вспомогательные котлы	ЭФ	<sup>1</sup> <b>пыль:</b> 10-30 <sup>2</sup> <b>пыль:</b> 10-40 <sup>3</sup> <b>пыль:</b> <5

<sup>1</sup> работает на угле или биотопливе, или газойле

<sup>1</sup> работает на тяжелом нефтяном топливе

<sup>3</sup> работает на газе

### Сульфитная варка

На целлюлозных заводах, использующих сульфитную варку, пыль появляется из различных источников, в основном, из печи для обжига извести, вспомогательного котла и котла-утилизатора. Выбросы можно регулировать за счет использования тех же систем, что и для крафт-процесса.

В таблице ниже приведены общие сведения по уровням выбросов пыли, ассоциируемым с НДТ, для процесса сульфитной варки при производстве целлюлозы.

**Таблица 6: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов в процессе сульфитной варки при производстве целлюлозы.[1], [2]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Котлы-утилизаторы (5% O <sub>2</sub> )	ЭФ и очистители SO <sub>2</sub>	<b>Пыль:</b> 5 - 20
Вспомогательные котлы	ЭФ	<sup>1</sup> <b>пыль:</b> 10-30 <sup>2</sup> <b>пыль:</b> 10-40 <sup>3</sup> <b>пыль:</b> <5

<sup>1</sup> работает на угле или биотопливе

<sup>1</sup> работает на тяжелом нефтяном топливе

<sup>3</sup> работает на газе

#### 7.15.4 Развивающиеся технологии

Использование установки СНКВ для котлов-утилизаторов, основного источника выбросов NO<sub>x</sub>, считается развивающейся технологией уменьшения выбросов при производстве целлюлозы, поскольку рассматривается как новый вариант применения данной стандартной технологии. Капиталовложения для полной установки СНКВ (*процесс NO<sub>x</sub>OUT*) для котлов-утилизаторов (загрузка черного щелока: 1600 т сухих твердых веществ/день) составляет около 2,2 - 2,8 млн. евро.

Вследствие низкой частотности употребления не выявлены развивающиеся технологии уменьшения выбросов в процессе сульфитной варки. [1]

#### 7.15.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Очистители SO<sub>2</sub> на котлах-утилизаторах обычно получают от поставщика в комплекте. Капитальные затраты на завод по производству беленой крафт-целлюлозы с производительностью 250000 и 500000 т/год доходят до 7,2 млн. евро и 10,4 млн. евро, соответственно. К ним относятся очиститель, насосы перекачки очистительной жидкости, циркуляционные насосы, электрификация и КИП. Эксплуатационные расходы доходят до 0,58 млн. евро/год и 0,92 млн. евро/год, соответственно. [1]

Капиталовложения, необходимые для внедрения процесса СНКВ при использовании коревых котлов для завода с той же производительностью, составляют примерно 0,7-1,15 млн. евро. К капитальным расходам относятся расходы на оборудование впрыска, трубы, насосы, баки и восстановительный ремонт/приемку котла. Эксплуатационные расходы, в основном, обусловлены при потреблении мочевины, при этом требуется около 1-2 кг мочевины на кг удаляемого NO<sub>x</sub>. [1]

Стоимость установки электрофильтра составляет ориентировочно 3-4 млн. евро для коревого котла (вспомогательный котел) и 5-6 млн. евро для печи для обжига извести. Эксплуатационные расходы составляют менее 0,3 млн. евро/год в обоих случаях. [1] Затраты на технологии с малым выбросом NO<sub>x</sub> в вспомогательных котлах или печах для обжига извести составляют 0,5 - 0,8 млн. евро.

#### 7.15.6 Список литературы, использованной в главе 7.15

- [1] Reference document on Best Available Techniques in the pulp and paper industry, December 2001.
- [2] EPA 42 - volume 1 chapter 1, September 1998.
- [3] Auswertung von staub- und Feinstaubemissionsdaten der Datenbank nordrhein-westfälischer Emissionserklärungen, LUA NRW, 2003.
- [4] Arrêté du 3 avril 2000 relatif a l'industrie papetiere, JO 17-06-2000.
- [5] Comments from Almut Reichart, UBA, 12/2008
- [6] "Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc", EGTEI, 02/2009.
- [7] Comments from Thomas Krutzler, UBA Austria, 03/2009.
- [8] "EGTEI-State of progress.doc", for WGSR, March 2009.

## 7.16 Производство азотной кислоты

### 7.16.1 Объем рассматриваемой информации

Азотная кислота (HNO<sub>3</sub>) является одним из наиболее часто производимых химических веществ. Выбросы в атмосферу при производстве азотной кислоты, которые представляют собой наиболее серьезную проблему, - это выбросы закиси азота (N<sub>2</sub>O) и оксидов азота (NO<sub>x</sub>). В Гетеборгском протоколе рассматривается трансграничное загрязнение воздуха, в особенности, с сопутствующим подкислением и заболачиванием. В нем установлены предельные значения выбросов серы, оксида азота, летучих органических соединений, аммиака и пыли, но не рассмотрен N<sub>2</sub>O, являющийся газом с тепличным эффектом, способствующим глобальному потеплению. Следовательно, в данной главе основное внимание уделяется уменьшению выбросов NO<sub>x</sub>.

### 7.16.2 Источники выбросов

HNO<sub>3</sub> производят из аммиака (NH<sub>3</sub>), который испаряют, фильтруют и окисляют для образования оксида азота (NO). Необходима фильтрация аммиака для удаления всей пыли. При этом предотвращается взаимодействие частиц пыли и катализаторов, при котором происходит окисление аммиака. NO, образующийся при окислении, затем также окисляется, образуя диоксид азота (NO<sub>2</sub>). Затем NO<sub>2</sub> поглощается в H<sub>2</sub>O с образованием азотной кислоты и оксида азота. Процесс абсорбции является важным источником выбросов NO<sub>x</sub>; следовательно, необходимо регулировать и уменьшать выбросы NO<sub>x</sub>. Для уменьшения выбросов в наличии имеются различные технологии.

### 7.16.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

#### Первичные меры

Основные выбросы NO<sub>x</sub> происходят на этапе образования HNO<sub>3</sub>. Одна из различных применимых технологий уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> предусматривает оптимизацию на этапе абсорбции. Чем более эффективно проходит абсорбция, тем больше образуется HNO<sub>3</sub> и тем ниже выбросы NO<sub>x</sub>. [1]. Повышение эффективности абсорбции основано на оптимизации 3 параметров; **температура, давление и контакт между NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O.**

- Вследствие экзотермии в ходе реакции теплоотведение должно оптимизировать температурный процесс. Этап абсорбции происходит в первой трети колонны, таким образом, теплоотведение можно применять до колонны.
- Высокое давление повышает эффективность абсорбции и впоследствии образование азотной кислоты. Оно также снижает образование NO<sub>x</sub>.
- Оптимизация контакта в абсорбционной колонне, в основном, означает изменение конструкции колонны. Объем, количество поддонов и время выдержки являются основными параметрами, изменяемыми для оптимизации абсорбции. Чем больше время выдержки, тем больше восстановление NO<sub>x</sub> и образование азотной кислоты. Увеличение количества поддонов и объема также увеличивает образование азотной кислоты.

Уровень концентрации остаточного газа 82-103 мг/Нм<sup>3</sup> технически целесообразен при полностью оптимизированной абсорбции (теплоотвод, высокое давление, оптимизированный контакт).

Выход HNO<sub>3</sub> также можно увеличить за счет добавления H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> на последнем этапе абсорбции. При этом не требуется применение СКВ.[1]

#### Вторичные меры

Выбросы NO<sub>x</sub> можно уменьшить за счет обработки остаточного газа, например, комбинированной технологии уменьшения выбросов N<sub>2</sub>O и NO<sub>x</sub> или СКВ.

Комбинированная технология уменьшения выбросов N<sub>2</sub>O и NO<sub>x</sub> предусматривает применение 2 слоев катализатора. В первом слое происходит восстановление N<sub>2</sub>O до N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>. Во втором слое NO<sub>x</sub> восстанавливаются за счет добавления NH<sub>3</sub> (сопоставимо с СКВ), при этом также происходит дальнейшее разложение N<sub>2</sub>O. В результате данного процесса можно уменьшить выбросы NO<sub>x</sub> на 99 %. Рассматриваемый процесс применим для заводов азотной кислоты при температуре остаточного газа более 400 градусов Цельсия. [1]

Для установок с температурой остаточного газа более 340 градусов Цельсия выбросы N<sub>2</sub>O и NO<sub>x</sub> можно уменьшить при применении комбинированной системы уменьшения выбросов N<sub>2</sub>O и NO<sub>x</sub> с добавлением углеводородов. [4] Как и в комбинированном процессе уменьшения выбросов N<sub>2</sub>O и NO<sub>x</sub> используют два слоя катализатора. В первом из них происходит удаление NO<sub>x</sub> при реакции с NH<sub>3</sub>, а N<sub>2</sub>O извлекают при каталитическом восстановлении с использованием углеводородов (природный

газ или пропан) на втором этапе. При этом можно ожидать сходных уровней выбросов, как при использовании технологий уменьшения выбросов N<sub>2</sub>O и NO<sub>x</sub>. [1]

В таблице ниже приведены общие сведения по уровням выбросов NO<sub>x</sub>, ассоциируемым с НДТ, для производства азотной кислоты.

**Таблица 1: Выбросы NO<sub>x</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов при производстве азотной кислоты.**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>
Производство азотной кислоты	Оптимизация на этапе абсорбции, Комбинированная технология уменьшения выбросов NO <sub>x</sub> и N <sub>2</sub> O, СКВ, добавление H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> на последнем этапе абсорбции	Новые установки 10-154 Существующие установки 10-185 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> выбросы преобразованы из числа частей на миллион по объему в мг/Нм<sup>3</sup> с помощью: 1 числа частей на миллион по объему = 2,05 мг NO<sub>2</sub> / Нм<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> до 307 мг/Нм<sup>3</sup>, при этом соображения безопасности вследствие отложений нитрата аммония ограничивают воздействие СКВ или при добавлении H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> вместо применения СКВ.

#### 7.16.4 Развивающиеся технологии

Не существует развивающихся технологий в промышленности обработки цветных металлов для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub>, пыли или NO<sub>x</sub>. [1].

#### 7.16.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Капиталовложения для комбинированной установки обработки N<sub>2</sub>O и NO<sub>x</sub> составляют около 1,7 млн. евро. Сравнение различных стратегии уменьшения N<sub>2</sub>O не демонстрирует значительных различий между затратами - эффективностью и стоимостью на тонну HNO<sub>3</sub>. Эксплуатационные расходы находятся в диапазоне 0,71-0,87 евро на тонну восстановленного CO<sub>2</sub> и 0,98 - 1,20 евро на тонну восстановленного HNO<sub>3</sub>. Информация о затратах на внедрение технологии добавления углеводов отсутствует.

Общая стоимость технологии СКВ составляет около 1,3 долларов США на тонну производимого HNO<sub>3</sub>. Данная оценка выполнена в 1998 г. с учетом определенной стоимости катализатора и топлива, которая на данный момент значительно отличается.[1]

Затраты производства при внедрении добавления H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> на последнем этапе абсорбции составляет 2,5 доллара США на тонну HNO<sub>3</sub>.

#### 7.16.6 Список литературы, использованной в главе 7.16

- [1] Reference document on Best Available Techniques for the manufactures of large volume chemicals - ammonia, acids and fertilizers, August 2007.
- [2] Comments from Birgit Brahner, German Federal Environment Agency, 12/2008
- [3] "Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc", EGTEI, 02/2009.
- [4] Comments from Thomas Krutzler, UBA Austria, March 2009.
- [5] EGTEI-State of progress.doc", for WGSR, March 2009.

## 7.17 Производство серной кислоты

### 7.17.1 Объем рассматриваемой информации

Производство серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) в количественном отношении является наиболее важным процессом при промышленном химическом производстве. Производство  $H_2SO_4$  варьируется в зависимости от источников  $SO_2$ . Выбросы в атмосферу при производстве серной кислоты, представляющие собой наибольшую проблему, - это выбросы диоксида серы ( $SO_2$ ). В данной главе рассмотрено химическое производство серной кислоты.

### 7.17.2 Источники выбросов

$H_2SO_4$  производят из диоксида серы или элементарной серы. Элементарную серу получают при десульфуризации природного газа или неочищенной нефти.  $SO_2$  получают в процессе образования дымовых газов, например содержащих  $SO_2$  газов из серы, при обжиге минералов с цинком и/или свинцом, регенерации отработанных кислот, производстве цветных металлов или сжигании отработанного газа...

В первую очередь,  $SO_2$  окисляется с помощью катализаторов до  $SO_3$ . Используют катализаторы на основе ванадиевых соединений, платины и оксидов железа. [6]

Затем происходит поглощение  $SO_3$  в  $H_2SO_4$  с образованием серной кислоты. Высокие уровни выбросов  $SO_2$  также появляются на данном этапе процесса; следовательно, необходимо использовать меры для уменьшения выбросов  $SO_2$ .

### 7.17.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

#### $SO_2$ : [1]

Основным источником выбросов  $SO_2$  является остаточный газ при процессе абсорбции. Выбросы  $SO_2$  зависят от скорости преобразования в ходе процесса. Оптимизацию процесса можно рассматривать в качестве наилучшей доступной технологии уменьшения выбросов.

Допускается комбинировать различные технологии для увеличения скорости преобразования  $SO_2$  с тем, чтобы получить уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ.

Двухконтактный процесс/процесс двойной абсорбции повышает выход при преобразовании  $SO_2$  из остаточного газа. Переход от одинарной к двойной абсорбции может в значительной степени уменьшить выбросы  $SO_2$ .

Добавление катализатора пятого слоя в двухконтактном процессе может увеличить скорость преобразования до 99,9 %. Данная технология, как правило, применима для двухконтактных заводов, при условии наличия достаточного пространства [1]. Обычно при применении двухконтактного процесса максимальная скорость преобразования составляет 99,8% в установившемся режиме работы, при работе в условиях переходных процессов максимальная скорость преобразования - 99,6%. Но при применении данной технологии на существующих установках возникают две основные проблемы: высокие капитальные и эксплуатационные затраты вследствие необходимости в наружном обогреве из-за трудностей, связанных с достижением соответствующей температуры для работы катализатора, и с динамическими характеристиками установленных вентиляторов [6].

Использование катализатора, активируемого Cs, также может понизить скорость преобразования  $SO_2$ . На самом деле катализаторы, активируемые Cs, можно использовать при более низкой температуре (380 - 620°C), чем стандартные катализаторы (420 - 660°C)

Замена преобразователей с кирпичным сводом, являющихся более пористыми, может повысить скорость преобразования  $SO_2$ .

Использование процесса мокрого катализа позволяет выполнить преобразование мокрых газов  $SO_2$ .

В заключение, для поддержания высокой скорости преобразования требуется регулярное техническое обслуживание вспомогательного оборудования и замена катализаторов.

Также можно применять вторичные меры;

Остаточный газ можно очищать с использованием водного раствора ZnO или раствора  $NH_3$ , или другого щелочного раствора, например, гидроксида натрия, а также перекиси водорода. При подобной очистке можно получать побочные продукты, которые впоследствии используют на месте или продают. [4] **Erreur !**

**Source du renvoi introuvable.**

НДТ для уменьшения выбросов  $SO_2$  представляет собой сочетание упомянутых раньше процессов и технологий уменьшения выбросов, позволяющих добиться уровня выбросов согласно следующей таблице.

В таблице ниже приведены общие сведения по уровням выбросов  $SO_2$ , ассоциируемым с НДТ, для производства серной кислоты.

**Таблица 1: Выбросы SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов при производстве серной кислоты.**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> ) <sup>12</sup>
Производство серной кислоты	Сжигание серы, двойной контакт/двойная абсорбция	Существующие установки: 30-680 Новые установки: 30-340
	Двойной контакт/двойная абсорбция иного типа	200-680
	Одинарный контакт/одинарная абсорбция Прочее	100-450 14-170

<sup>1</sup> К данному уровню может относиться воздействие очистки остаточного газа.

<sup>2</sup> Выражается в виде среднесуточного значения.

#### 7.17.4 Развивающиеся технологии

Данные отсутствуют

#### 7.17.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Добавление пятого слоя в процессе двойного контакта предусматривает инвестиции примерно в 1 миллион евро. Затраты производства конкретных изделий, относящиеся к уменьшению выбросов SO<sub>2</sub>, составляют 629 евро на тонну восстановленного SO<sub>2</sub>. [1]

Капиталовложения для применения катализатора, активируемого Cs, в двухконтактном процессе, на 21 700 евро/год превышают исходные затраты на традиционные типы катализаторов. Затраты производства конкретных изделий, относящиеся к уменьшению выбросов SO<sub>2</sub>, составляют 12 евро на тонну восстановленного SO<sub>2</sub>. Данные затраты увеличиваются до 930 евро на тонну восстановленного SO<sub>2</sub> для одноконтактного процесса. [1]

В таблице далее приведены общие сведения по затратам и скорости преобразования SO<sub>2</sub> для различных технологий уменьшения выбросов при производстве серной кислоты [8].



Таблица 2: Стоимостные и эксплуатационные сведения по технологиям, используемым для регулирования выбросов SO<sub>2</sub> при производстве серной кислоты.

№	Производительность (тH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /день)	% содержание SO <sub>2</sub>	Конструкция		Среднее значение для преобразования SO <sub>2</sub> -(%)		Затраты		Объем предотвращаемых выбросов SO <sub>2</sub> (т/год)	Затраты в годовом исчислении (€/год)	Объем не уменьшенных выбросов SO <sub>2</sub> (т/год)
							€/т SO <sub>2</sub>	€/т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
			до	после	до	после	уменьшено	дополнительно			
	250	5-7	4 слойная SC/SA	Базовый вариант A1	98,00	-	0	0	0	0	1143
3			4 слойная SC/SA	+ Cs в слое 4	98,00	99,10	3	0,02	628	1 763	
1			4 слойная SC/SA	4 слойная DC/DA	98,00	99,60	1 317	13,76	914	1 203 985	
2			4 слойная SC/SA	4 слойная DC/DA + Cs в слое 4	98,00	99,70	1 159	12,87	971	1 125 848	
4			4 слойная SC/SA	+ триглицинсульфат процесс Peracidox	98,00	99,87	1 048	12,80	1 068	1 119 881	
5		4 слойная SC/SA	+ триглицинсульфат (щелочь)	98,00	99,87	1 286	15,70	1 068	1 373 446		
		9-12	4 слойная DC/DA	Базовый вариант A2	99,60	-	0	0	0	0	228
6			4 слойная DC/DA	+ Cs в слое 4	99,60	99,70	367	0,24	57	20 858	
7			4 слойная DC/DA	5 слойная DC/DA + Cs в слое 5	99,60	99,80	3 100	4,03	114	352 656	
8			4 слойная DC/DA	+ триглицинсульфат процесс Peracidox	99,60	99,94	3 910	8,68	194	759 562	
9	4 слойная DC/DA		+ триглицинсульфат (щелочь)	99,60	99,94	6 636	14,73	194	1 287 390		
	500	5-7	4 слойная SC/SA	Базовый вариант B1	98,00	-	0	0	0	0	2286
12			4 слойная SC/SA	+ Cs в слое 4	98,00	99,10	5	0,04	1 257	6 285	
10			4 слойная SC/SA	4 слойная DC/DA	98,00	99,60	867	9,06	1 829	1 584 685	
11			4 слойная SC/SA	4 слойная DC/DA + Cs в слое 4	98,00	99,70	835	9,27	1 943	1 622 590	
13			4 слойная SC/SA	+ триглицинсульфат процесс Peracidox	98,00	99,87	718	8,77	2 137	1 535 220	
14		4 слойная SC/SA	+ триглицинсульфат (щелочь)	98,00	99,87	883	10,78	2 137	1 886 839		
		9-12	4 слойная DC/DA	Базовый вариант C1	99,60	-	0	0	0	0	457
15			4 слойная DC/DA	+ Cs в слое 4	99,60	99,70	363	0,24	114	41 278	
16			4 слойная DC/DA	5 слойная DC/DA + Cs в слое 5	99,60	99,80	1 559	2,03	228	354 762	
17			4 слойная DC/DA	+ триглицинсульфат процесс Peracidox	99,60	99,94	2 209	4,90	389	858 349	
18	4 слойная DC/DA		+ триглицинсульфат (щелочь)	99,60	99,94	4 591	10,19	389	1 783 465		
	1000	9-12	4 слойная DC/DA	Базовый вариант C2	99,60	-	0	0	0	0	914
19			4 слойная DC/DA	+ Cs в слое 4	99,60	99,70	356	0,23	228	81 023	
20			4 слойная DC/DA	5 слойная DC/DA + Cs в слое 5	99,60	99,80	1 020	1,33	455	464 258	
21			4 слойная DC/DA	+ триглицинсульфат процесс Peracidox	99,60	99,94	1 359	3,02	777	1 055 922	
22			4 слойная DC/DA	+ триглицинсульфат (щелочь)	99,60	99,94	3 432	7,62	777	2 667 020	

**Гипотеза:**

- Скорость восстановления зависит от технических данных (конструкция, установки, концентрация, источник SO<sub>2</sub>). Точность 0,1%.
- Содержание SO<sub>2</sub>: 5 - 7%: при расчете с 5% и 9 - 12% при расчете с 10%,
- Содержание O<sub>2</sub>: 5 - 7% SO<sub>2</sub> + 6 - 9% O<sub>2</sub> и 9 - 12% SO<sub>2</sub> + 8 - 11 % O<sub>2</sub>,
- срок эксплуатации всех установок: 10 лет,
- фиксированные эксплуатационные расходы: 3%,
- процентная ставка: 4%,
- стоимость H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 20€/т с завода
- трудозатраты: 37 тыс. €/человеко-год
- вспомогательное оборудование для триглицинсульфата в процессе Peracidox и щелочной абсорбции: +30% капиталовложений
- гарантированное содержание SO<sub>2</sub> после триглицинсульфата: < 200 мг SO<sub>2</sub>/Нм<sup>3</sup> = < 70 частей на миллион SO<sub>2</sub>
- Стоимость пара: 10€/т
- SC = одинарный контакт, SA = одинарная абсорбция, DC = двойной контакт, DA = двойная абсорбция

### 7.17.6 Список литературы, использованной в главе 7.17

- [1] Reference document on Best Available Techniques for the manufactures of large volume chemicals - ammonia, acids and fertilizers, August 2007.
- [2] Comments from Birgit Brahner, German Federal Environment Agency, 12/2008.
- [3] "Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc", EGTEI, 02/2009.
- [4] Comments from Erik Kiekens, PVS, European sulphuric acid association, March 2009.
- [5] Comments from Dawn Christensen, Ineos, European sulphuric acid association, March 2009.
- [6] Comments from Aldo Zucca, Portovesme, European sulphuric acid association, March 2009.
- [7] Comments from Thomas Krutzler, UBA Austria, March 2009.
- [8] Retrofitting of old plants, ESA expert group, May 2009.

## **7.18 Сжигание коммунальных, медицинских и опасных отходов**

### **7.18.1 Объем рассматриваемой информации**

В данном разделе рассмотрено сжигание коммунальных (или бытовых) твердых отходов, опасных и медицинских отходов, а также сжигание осадков при обработке сточных вод.

Коммунальные твердые отходы (КТО), в основном, состоят из бумаги, картона, стекла, металлов, пластмассы, резины, кожи, текстиля, дерева, пищевых отходов, дворовых отходов и различных неорганических отходов [1].

Опасные отходы, как правило, возникают в ходе промышленных производственных процессов (например, пепел, осадок и другие отходы производства), выработки энергии, проектировании и строительстве гражданских объектов (например, строительный мусор, отходы со стройплощадки и при дорожном строительстве), а также при сжигании отходов (зольная пыль) [1].

### **7.18.2 Источники выбросов**

Коммунальные твердые отходы, осадки сточных вод и опасные отходы можно, например, обрабатывать на мусоросжигательных заводах. Коммунальные твердые отходы сжигают преимущественно в государственных мусоросжигателях, хотя определенное количество сжигают на промышленных участках сжигания [2].

Для различных видов отходов применяют различные типы термообработки, тем не менее, не все варианты термообработки приспособлены для всех отходов. В данном параграфе описаны основные технологии термообработки отходов [3].

**Коммунальные твердые отходы** можно сжигать с помощью нескольких систем сжигания, включая сжигание с движущейся колосниковой решеткой и в кипящем слое [4]. Для технологии сжигания в кипящем слое требуются КТО с частицами в определенном диапазоне размеров - для этого обычно требуется определенная предварительная обработка и/или избирательный сбор отходов [3].

**Для сжигания опасных** и медицинских отходов чаще всего используют вращающиеся печи и мусоросжигатели с решеткой, но помимо того, применяют печи для сжигания в псевдооживленном слое.

**Сжигание осадка сточных вод** происходит во вращающихся печах, печах для сжигания в псевдооживленном слое или многоподовых печах, но также применяется совместное сжигание в системах слоевого сжигания, установках сжигания угля и промышленных процессах [5][6][7]. Осадок сточных вод следует высушить или механически обезводить перед сжиганием, для обеспечения стабильного сжигания часто необходимо дожигание.

**Технология слоевого сжигания.** Сжигание коммунальных отходов является основным вариантом использования мусоросжигателей данного типа, которые можно рассчитать на обработку больших объемов отходов [2]. В Европе практически в 90% установок, обрабатывающих КТО, используются решетки.

Различные системы слоевого сжигания, например, с качающейся колосниковой, наклонно-переталкивающей, подвижной, цепной колосниковой решеткой (с каждой из них и с водяным охлаждением или без него) разработаны и могут различаться способом транспортировки отходов через различные зоны в камере сгорания. Различные системы слоевого сжигания должны соответствовать особым требованиям, касающимся подачи первичного воздуха, скорости транспортировки и перегревания, а также смешивания отходов. Основными дополнительными особенностями являются оптимальные характеристики регулирования и прочная конструкция, позволяющая выдержать тяжелые условия в камере сгорания [1].

**Печи для сжигания в псевдооживленном слое** пригодны только для достаточно однородных материалов, и, следовательно, основным вариантом оборудования для сжигания осадков сточных вод, но также для механически или биологически предварительно обработанных потоков отходов [2].

Предварительно нагретый воздух попадает в камеру сгорания через отверстия в основании, образуя кипящий слой с песком, находящимся в камере сгорания. Отходы нагнетают в реактор посредством насоса, секторного питателя или винтовой конвейер. В кипящем слое сушка, испарительный перенос, воспламенение и сжигание происходят при температуре от 850 до 950°C. Над кипящим слоем создается вторая зона сжигания для обеспечения времени выдержки более двух секунд при температуре более 850°C. Если подача воздуха в кипящий слой является достехиометрической (лямбда <1), температура слоя значительно ниже, например, 650°C. В данном случае, только процесс газификации происходит в самом слое, а большая часть тепла вырабатывается в зоне вторичного сгорания, т.е. над кипящим слоем, за счет реакций газофазного окисления [1].

Преимуществом систем сжигания в кипящем слое является простое и быстрое прекращение подачи отходов и более низкая температура, приводящая к меньшему образованию NO<sub>x</sub> [2] [8]. Тем не менее, при полной остановке (например, для удаления материала слоя или проведения технического обслуживания) или при холодном запуске охлаждение или разогрев системы сжигания в кипящем слое занимают больше времени, чем для решетчатой системы, поскольку необходимо охладить или нагреть весь песок до рабочей температуры.

**Вращающаяся печь.** Во вращающихся печах можно сжигать практически все отходы, в зависимости от типа и состава, а температурные ограничения при эксплуатации не настолько строгие, как в случае с печами для сжигания в псевдооживленном слое или многоподовыми печами [1]. Их преимуществом является оптимальное перемешивание отходов и обеспечение полного сгорания, при условии, что время выдержки отходов в печи является достаточным. Их можно использовать в сочетании с другими вариантами конструкции для обеспечения дополнительного сжигания пепла [2]. Вращающаяся печь состоит из цилиндрической емкости, слегка наклоненной вдоль горизонтальной оси. Транспортировка отходов в печи происходит за счет силы тяжести при вращении печи. Для обеспечения полного разложения токсичных отходов, в общем случае, необходима вторичная камера сгорания [1].

**Многоподовые печи,** в основном, применяют для сжигания осадка. Осадок сточных вод загружают в колошник, откуда он перемещается вниз через различные топки против потока воздуха сгорания, который подают в под печи. В верхних топках печи находится зона осушения, где осадок обезвоживают при охлаждении дымовых газов. Центральные топки предназначены для сжигания, а нижние топки обеспечивают полное сгорание. Температура воспламенения ограничена 980°C, поскольку при превышении данной температуры можно добиться температуры плавления зольного шлама и формирования клинкера. Во избежание утечек горячих токсичных дымовых газов многоподовые печи всегда работают при небольшом разрежении [8].

Разработаны и **другие процессы,** которые основаны на разделении фаз, которое происходит в мусоросжигателе: сушка, испарительный перенос, пиролиз, цементация и окисление отходов; Также применяется газификация с применением агентов газификации, например, пара, воздуха, оксидов углерода или кислорода.

### 7.18.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

#### 7.18.3.1 SO<sub>2</sub>

Диоксид серы, а также HCl и фторводород, образуется при сжигании содержащих серу соединений (хлориды- и фториды-), которые находятся в отходах. Их количество, в основном, определяется объемом соединений, содержащих серу (хлориды- и фториды-), которые находятся в отходах, но условия эксплуатации и применяемые технологии сжигания также могут оказывать незначительное воздействие.

Концентрация сырого газа SO<sub>2</sub>, как правило, находится в диапазоне от 400 до 1000 мг/Нм<sup>3</sup>, концентрация чистого газа, в основном, должна быть значительно более низкой [3] [1], вследствие чего неизбежной становится очистка дымового газа.

В общем случае, SO<sub>2</sub> удаляют из дымового газа посредством мокрых очистителей, распылительных сухих очистителей и сухих очистителей.

Использование первичных мер, таких как выбор топлива, технологии выбора или отделения, рассматриваются в качестве НДТ [2].

Три основных технологии, мокрая, полусухая и сухая очистка, рассматриваются в качестве НДТ для удаления SO<sub>2</sub> при сжигании осадков сточных вод, коммунальных и медицинских отходов [2].

Для мокрых очистителей и полумокрых FGT можно достичь уровня < 20 мг/м<sup>3</sup> с необходимым потреблением воды (при этом могут образовываться выбросы). При этом можно добиться скорости восстановления 96-98,4%. Для сухих очистителей можно добиться уровня выбросов от < 40 до < 20 мг/м<sup>3</sup>, в зависимости от реагента.

**Таблица 1: Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов SO<sub>x</sub> с сопутствующими уровнями выбросов при сжигании отходов**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни эксплуатационных выбросов SO <sub>x</sub> , ассоциируемые с НДТ <sup>12</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> )
<b>Сжигание бытовых или коммунальных отходов</b>		
Мусоросжигатель с решеткой	Сухой очиститель	1-40[3]
Вращающаяся печь	Распылительный сухой очиститель	1 -40
Сжигание жидкого топлива в слое	Мокрый очиститель	1 -40
<b>Сжигание промышленных отходов (опасные и медицинские отходы)</b>		
Мусоросжигатель с решеткой	Сухой очиститель	1 -40
Вращающаяся печь	Распылительный сухой очиститель	1 -40
Сжигание жидкого топлива в слое	Мокрый очиститель	1 -40
<b>Сжигание осадков при очистке сточных вод</b>		
Вращающаяся печь	Сухой очиститель	1 -40
Многоподовая печь	Распылительный сухой очиститель	1 -40
Сжигание жидкого топлива в слое	Мокрый очиститель	1 -40
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p><sup>2</sup> ПУВ директивы по сжиганию отходов ЕС для SO<sub>2</sub> составляет 50 мг/м<sup>3</sup></p>		

### 7.18.3.2 NO<sub>x</sub>

Выбросы оксидов азота происходят на мусоросжигательных заводах. Во многих случаях их измеряют с помощью устройств непрерывного мониторинга выбросов. Выбросы на современных заводах, как правило, оценивают в диапазоне от 30 до 200 мг/Нм<sup>3</sup>. (чистый газ, среднесуточное значение, 11% O<sub>2</sub> [3]).

Выбросы NO<sub>x</sub>, в общем случае, можно уменьшить за счет снижения объема сжигаемых отходов. Этого можно добиться за счет использования различных стратегий обработки отходов, включая программы повторного использования и компостирования органических материалов.

Оксиды азота, в основном, образуются в виде NO и NO<sub>2</sub>. В отличие от высокотемпературных процессов, источником большинства оксидов азота, получаемых при сжигании отходов, (температура печи от 800 до 1200°С) является азот, содержащийся в отходах (топливо-NO<sub>x</sub>) [1]. Следовательно, эффективность первичных мер для снижения выбросов, в общем случае, ограничена, так как большинство оксидов азота получают из азота, связанного с топливом, и поскольку на количество азота, связанного с топливом и преобразуемого в оксиды азота, могут повлиять в ограниченном объеме только изменения в конструкции завода и его функционировании [9]. Тем не менее, первичные меры имеют большое значение для уменьшения образования NO<sub>x</sub> на этапе сжигания. В основном, они относятся к обработке и подготовке отходов, и, в частности, к применяемой тепловой обработке [3].

Первичные меры разработаны для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> из источника в процессе сжигания за счет регулирования характеристик пламени, таких как температура и смесь топливо-воздух. Вторичные меры применяют после процесса сжигания, они позволяют предотвратить выбросы NO<sub>x</sub> из дымового газа.

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NO<sub>x</sub>, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

Для сжигания осадка сточных вод, а также коммунальных и медицинских отходов при использовании первичных мер, например, рециркуляция дымовых газов, ступенчатое сжигание с вдуванием воздуха, выбор топлива, горелки с малым выбросом NO<sub>x</sub> в сочетании со вторичными мерами (например, СКВ, СНКВ) рассматривается в качестве НДТ.

В общем, СКВ считается НДТ в случае, если необходима большая эффективность уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> (т.е. уровни NO<sub>x</sub> неочищенного дымового газа высоки) и требуется низкая конечная концентрация NO<sub>x</sub> в выбросах дымового газа. Фактически, СКВ является зарекомендовавшей себя технологией в секторе сжигания отходов, позволяющей добиться высокого коэффициента уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> (как правило, более 90%) [1] [3] и выбросов NO<sub>x</sub> менее 50 мг/м<sup>3</sup> [11].

Для СНКВ добавление аммиака и мочевины является наиболее подходящим материалом и рассматривается в качестве НДТ. Уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> за счет СНКВ до 75% требует добавления большего количества восстановителя. При применении СНКВ можно добиться концентрации NO<sub>x</sub> в выбросах в 70 мг/м<sup>3</sup> (среднесуточное значение) [1] [3].

Эффективное регулирование выбросов NO<sub>x</sub> благодаря СКВ или СНКВ может привести к большим выбросам NH<sub>3</sub> (проскок NH<sub>3</sub>), который можно повторно преобразовать в NO<sub>x</sub>. Для обеспечения низкого уровня общих выбросов азота, помимо прочего, необходим контроль выбросов NH<sub>3</sub> (можно добиться уровня выбросов NH<sub>3</sub> < 10 мг/м<sup>3</sup>). [3]

**Таблица 2 Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов NO<sub>x</sub> с сопутствующими уровнями выбросов при сжигании отходов**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни эксплуатационных выбросов NO <sub>x</sub> , ассоциируемые с НДТ <sup>12</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> )
Сжигание отходов	СКВ	40-100
	без СКВ	120-180

<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>2</sup> ПУВ директивы по сжиганию отходов ЕС для NO<sub>x</sub> составляет 200-400 мг/м<sup>3</sup> (в зависимости от производительности завода и его статуса - существующий/новый)

Эффективный контроль систем уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>, включая дозировку реагентов, способствует уменьшению выбросов NH<sub>3</sub>. Мокрые очистители поглощают NH<sub>3</sub> и переносят его в поток сточных вод. В качестве НДТ рассматриваются выбросы NH<sub>3</sub> <10 мг/м<sup>3</sup> (СНДТ другое значение: <5);

### 7.18.3.3 Пыль

Выбросы пыли из мусоросжигателей, в основном, состоят из мелкого пепла в процессе сжигания, вовлекаемого в поток газа [3]. Уровни пыли, как правило, измеряют непрерывно, с подтвержденными уровнями выбросов после обработки в рамках <0,05 и 15 мг/Нм<sup>3</sup> (11% O<sub>2</sub>) [3].

Технологии удаления пыли можно разделить на предварительное и окончательное пылеудаление. В то время как основной целью предварительного пылеудаления является сбор остатков различного состава по отдельности и устранение эксплуатационных неполадок оборудования по переработке, главным предназначением окончательного пылеудаления является уменьшение конечных выбросов пыли

Сухой и мокрый электрофильтр и тканевые фильтры относятся к трем наиболее часто используемым типам для удаления твердых частиц в дымовых газах. ЭФ эффективны при сборе пыли с размером частиц в диапазоне от 0,1 мкм до 10 мкм, а общая эффективность сбора составит от 95 до 99 процентов [10].

Тканевые фильтры (ТФ) рассматриваются в качестве НДТ для сжигания осадков сточных вод, а также коммунальных и медицинских отходов. Они представляют зарекомендовавшую себя технологию, и, при надлежащей эксплуатации и техническом обслуживании, обеспечивают надежное удаление твердых частиц до уровня менее 5 мг/м<sup>3</sup>. Эффективность удаления крайне велика для более широкого диапазона размеров частиц.

В общем, как мокрые, так и сухие электрофильтры (ЭФ) не способны уменьшить выбросы твердых частиц в том же объеме, что и тканевые фильтры [2]. В сочетании с мокрыми очистителями их рассматривают в качестве НДТ. В зависимости от конструкции системы и места в системе обработки дымового газа (предварительное или окончательное пылеудаление) можно добиться концентрации выбросов твердых частиц от 5 до 25 мг/м<sup>3</sup> [3]. При использовании мокрого ЭФ, который представляет собой особый вариант ЭФ, очистка происходит постоянно под действием потока воды. Данный вариант применяют для окончательного пылеудаления после мокрого очистителя. При этом можно добиться крайне низкого уровня выбросов твердых частиц менее 5 мг/м<sup>3</sup>[3].

**Таблица 3 Источники выбросов и выбранные НДТ регулирования выбросов пыли с сопутствующими уровнями выбросов при сжигании отходов**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни эксплуатационных выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ <sup>1,2</sup> (мг/м <sup>3</sup> )
Сжигание отходов		1-5
<p><sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.</p> <p><sup>2</sup> ПУВ директивы по сжиганию отходов ЕС для пыли составляет 10 мг/м<sup>3</sup></p>		

#### 7.18.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

**Таблица 4 Сведения о затратах для различных технологий уменьшения выбросов [11], [3]**

Меры регулирования	Капитальные затраты (ЕВРО)			Затраты на техническое обслуживание (ЕВРО/т)		
	Объем производства на линию (т/год)			Объем производства на линию (т/год)		
	75 000	100 000	150 000	75 000	100 000	150 000
СКВ	1 200 000	1 500 000	2 000 000	0,30	0,30	0,30
СНКВ	700 000	800,000	1 000 000	0,19	0,16	0,13
Система мокрого пылеудаления	1 500 000	2 000 000	2 500 000	0,30	0,30	0,30
Сухая очистка дымового газа абсорбцией	1 725 000	2 175 000	3 000 000	0,23	0,22	0,20
ЭФ	1 000 000	1 200 00	1 600 000	0,27	0,24	0,21
Сухая очистка дымового газа тканевым фильтром	1 150 000	1 450 000	2 000 000	0,15	0,15	0,13

### 7.18.5 Список литературы, использованной в главе 7.18

- [1] DFIU/IFARE: Draft Background document on the sector Waste Incineration. In preparation of the 1<sup>st</sup> EGTEI panel Meeting, Paris, June 2002
- [2] UK Environment Agency: Guidance for the incineration of waste and fuel manufactured from or Including waste, UK Technical Guidance : S5.01, July 2004
- [3] European commission: Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, August 2006
- [4] Donnelly, J. R.: Waste Incineration Sources - Refuse, in: Buonicore, A. J.; Davis, T. W. (eds.): Air Pollution Engineering Manual, New York, 1992
- [5] Brunner, R. C.: Waste Incineration Sources - Sewage Sludge, in: Buonicore, A. J.; Davis, T. W. (eds.): Air Pollution Engineering Manual, New York, 1992
- [6] N.N.: Mitverbrennung von Klärschlamm im Kohlekraftwerk, in: Abfallwirtschaftsjournal, 6(1994)12
- [7] Stäubli, B.; Keller, C: Stoffflußanalyse bei zwei Klärschlammverbrennungsanlagen, in: Müll und Abfall, 25(1993)2
- [8] Rentz, O; Schleef, H.-J.; Dorn, R.; Sasse, H.; Karl, U.: Emission Control at Stationary Sources in the Federal Republic of Germany, Sulphur Oxide and Nitrogen Oxide Emission Control, UFOPLAN-Ref. No. 104 02 360, Karlsruhe, August 1996
- [9] Rentz, O; Ribeiro, J.: Operating experience with NO<sub>x</sub> Abatement at Stationary Sources, NO<sub>x</sub> Task Force, Karlsruhe, 1992
- [10] R. Meij, B. Winkel: The emissions and environmental impact of PM10 and trace elements from a modern coal-fired power plant equipped with ESP and wet FGD, Fuel Processing 85, 641-656.
- [11] J. Stubenvoll, S. Böhmer, I. Szednyj: State of the Art for Waste Incineration Plants, Federal Environment Agency-Austria, Vienna, November 2002



## 7.19 Промышленная деревообработка

### 7.19.1 Объем рассматриваемой информации

Деревообрабатывающая промышленность предусматривает выполнение многих операций. К основным операциям, осуществляемым в данном секторе, относятся лесопильные заводы, укладка настила, производство панелей, производство мебели.

Деревообработка, в основном, является источником выбросов пыли.

В данной главе рассмотрены различные виды деятельности в рамках деревообрабатывающей промышленности. Хотя в деревообрабатывающей промышленности используется дерево для растопки котлов, сжигание дерева не рассмотрено в данной главе.

### 7.19.2 Источники выбросов

Виды деятельности по деревообработке распределяются между первичным и вторичным этапом обработки. Первичная обработка предусматривает операции по обработке необработанных пиломатериалов, в то время как при вторичной обработке выполняются действия по видоизменению дерева после первичной обработки. При первичной обработке дерево рубят, снимают с него кору, распиливают или спрессовывают. Затем производится вторичная обработка дерева с получением дощатого настила, панелей, мебели, игрушек и т.д.

В деревообрабатывающей промышленности используют различные виды дерева; они приведены в таблице далее. [1]

**Таблица 1: Процессы деревообработки (источники выбросов пыли) в зависимости от типов используемого дерева.**

Процесс	Сухое дерево	Сырое дерево	Лесоматериалы	Панель
Рубка дерева		X	X	
Разделение на части		X	X	
Первичная рубка		X	X	
Хранение мелких древесных опилок и стружки	X	X		
Разделение на волокна, распиливание и снятие стружки		X	X	X
Сушка листов, частиц и древесных опилок		X	X	X
Сортировка				
Выдержка лесоматериалов и сушка панелей			X	X
Прессовка панелей	X			X
Резка	X		X	X
Полирование	X		X	X
Другие виды обработки (обработка края, выравнивание, и т.д.)	X		X	X
Заводская очистка	X	X	X	X

Уровень и характеристики выбросов пыли зависят от 2 основных факторов:

- типа обрабатываемого дерева,
- содержания воды в обрабатываемом дереве.

Следовательно, в приведенной выше таблице соблюдается подразделение на сухое дерево, сырое дерево, лесоматериалы и панели.

### 7.19.3 Имеющиеся технологии, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

Технологии, используемые для уменьшения выбросов пыли, зависят от размера частиц, который, в свою очередь, зависит от применяемого процесса и используемого типа дерева. Следовательно, необходимо различать первичную и вторичную обработку.

### Этапы первичной обработки [1]

К этапам первичной обработки преимущественно относятся снятие коры, разделение на части, первичная рубка, фрезерование, распиливание, снятие стружки и прессовка. Указанные процессы не являются основными источниками выбросов мелких частиц. Выбросы, в основном, состоят из частиц диаметром более 700 мкм, за исключением процессов фрезеровки, являющихся источником частиц с диаметром более 100 мкм.

#### *Снятие коры, разделение на части, первичная рубка и фрезерование:*

В ходе указанных процессов выбросы пыли, в основном, происходят за счет крупных частиц. Для уменьшения выбросов пыли распыление воды на ствол может считаться достаточным в процессе снятия коры, который является источником выбросов более низкого уровня, в то время как циклоны можно применять для регулирования выбросов пыли при разделении на части, первичной рубке и фрезеровании.

#### *Распиливание и снятие стружки:*

В большинстве случаев, лесопильный завод относится к открытому типу, и выбросы пыли высоки. Тем не менее, сбор выбросов может осуществляться аспирационной системой, а уровни выбросов пыли можно уменьшить за счет использования тканевых фильтров.

#### *Прессовка:*

Для уменьшения уровня выбросов пыли при сборе выбросов в процессе прессовки можно использовать мокрый электрофильтр.

### Этапы вторичной обработки [1]

Этапы вторичной деревообработки являются источниками серьезных проблем, касающихся выбросов мелких частиц. Более высокий уровень выбросов T<sub>C10</sub> и T<sub>C2,5</sub> можно объяснить тем фактом, что на этапах вторичной обработки используется сухое дерево.

Процессы сушки, полировки и обработки края являются основными источниками высоких уровней выбросов пыли. В основном, в ходе рассматриваемых процессов, происходят выбросы мелких частиц, таким образом, необходимо собирать и обрабатывать выбросы. Мультициклоны или сочетание циклонов и система мокрой очистки могут использоваться для обработки выбросов систем сушки. Тканевые фильтры можно использовать для уменьшения выбросов пыли при полировке или обработки края.

Поскольку нагретый воздух, используемый в установках сушки, обычно поступает из котлов, работающих на древесном топливе, пыль также поступает из котла, и уровни выбросов необходимо снизить до подачи в сушилку.

Уловленную пыль из тканевых фильтров или полученную за счет применения других технологий уменьшения выбросов сухой пыли следует собирать и повторно использовать в процессе в максимально возможной степени или применять в качестве биотоплива. Уловленную пыль или древесные опилки следует транспортировать на различных этапах процесса в закрытом конвейере, оборудованном аспирационной системой и системой обработки пыли.

Выбросы из складов древесных опилок, в основном, являются нестойкими. Следовательно, склады необходимо защитить от ветра и обеспечить надлежащее обращение с продукцией. Правильная эксплуатация также может способствовать уменьшению выбросов пыли.

Выбросы пыли также можно уменьшить за счет использования электрофильтров, но данная технология очень дорогостоящая и, очевидно, нерентабельна в деревообрабатывающей промышленности. Тем не менее, ее можно рассматривать в качестве имеющейся технологии для новых установок, в то время как тканевые фильтры можно считать имеющимися технологиями для существующих установок на большинстве этапов процесса, где регистрируется образование выбросов.

Производство панелей следует рассматривать отдельно от других процессов деревообрабатывающей промышленности. В деревообрабатывающей промышленности существует множество небольших компаний с менее чем 20 сотрудниками, в то время как предприятия по производству панелей значительно крупнее. Следовательно, вторичные меры для снижения уровня выбросов пыли более рентабельны в промышленности по изготовлению панелей, чем на небольших предприятиях деревообрабатывающей промышленности.

**Таблица 2: Выбросы пыли, ассоциируемые с НДТ для уменьшения выбросов при производстве панелей. [1]**

Источник выбросов	Технологии	Сопутствующий уровень выбросов (мг/Нм <sup>3</sup> )
Сушилки при производстве древесностружечных плит	Циклон	100-230
	Система мокрой очистки	15-75
	Сочетание циклона и система мокрой очистки	25
Сушилки при производстве древесноволокнистых плит	Циклон	7
Машинная обработка при производстве древесноволокнистых плит	Мешочные фильтры	0,03-0,6
Сушилки для ориентированно-стружечных плит	Циклонный фильтр	60-70

#### 7.19.4 Развивающиеся технологии

Для деревообрабатывающей промышленности не предусмотрено развивающихся технологий.

#### 7.19.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

В следующей таблице приведены общие сведения о затратах на различные технологии уменьшения выбросов в промышленности по производству древесностружечных плит.

**Таблица 3: Себестоимость технологий для регулирования выбросов ТЧ в промышленности по производству древесностружечных плит. [2]**

Технология	Капиталовложения (Евро/1000 м <sup>2</sup> плиты) <sup>1</sup>
Циклон	5.4
Гидроциклон	7.2
Тканевые фильтры	21.6
Сухой ЭФ	28.8
Мокрый ЭФ	32.3

<sup>1</sup> Используемый коэффициент преобразования: 1C\$/1000 м<sup>2</sup> = 7,19€/1000м<sup>2</sup>.

#### 7.19.6 Список литературы, использованной в главе 7.19

- [1] Technique de dépoussiérage utilisées dans l'industrie en 2006, ADEME, décembre 2007
- [2] Carte routière technologique - panneaux de particules, Strategis Canada, 1998.
- [3] EGTEI-State of progress.doc", for WGSR, April 2009.



## **7.20 Морские операции**

Будет завершено впоследствии



## **7.21 Распределение бензина (от станций отправки установки переработки минерального масла (бензин) до заправочных станций, включая транспортировку и хранилища (бензин))**

### **7.21.1 Объем рассматриваемой информации**

Рассмотренные операции относятся к транспортировке и распределению бензина со станций отправки установки переработки минерального масла или нефтехранилищ на заправочные станции, нередко через промежуточные хранилища. Нефтехранилище представляет собой любой объект, используемый для хранения и выгрузки бензина в автомобильные, железнодорожные цистерны или на суда, включая все хранилища на территории данного объекта. Для нефтеперерабатывающего завода может предусматриваться собственное нефтехранилище с заполнением через трубопровод, находящийся в непосредственной близости, но не в пределах территории нефтеперерабатывающего завода или станции отправки, расположенной на нефтеперерабатывающем заводе. Заправочная установка представляет собой установку, в которой происходит перекачка бензина в топливные баки автомобилей из стационарных подземных хранилищ [1].

### **7.21.2 Источники выбросов**

В нефтехранилищах хранение бензина осуществляют в резервуарах с внешней плавающей крышей или внутренней плавающей крышей.

Транспортировка бензина производится за счет сочетания средств автомобильного, железнодорожного и водного транспорта и по трубопроводу; в последнем случае значительных выбросов не наблюдается.

В нефтехранилищах используют различные средства для погрузки передвижных контейнеров (автоцистерны, железнодорожные цистерны, баржи и танкеры). Используется загрузка контейнеров снизу и сверху. Выбросы летучих органических соединений зависят от типа загружаемого контейнера, степени насыщения паров в грузовом танке [2], а также способа загрузки.

Бензин доставляют на заправочные станции, откуда его направляют в подземные хранилища и далее в цистерны автомобильного топлива. На станциях заправки заполнение подземных резервуаров осуществляется через фиксированную вертикальную трубу, установленную в цистерне, к которой с помощью шланга подключают автоцистерну. Выбросы летучих органических соединений возникают при загрузке резервуара для хранения и дыхании резервуара, хотя в последнем случае выбросы минимальные, поскольку цистерна находится под землей и, следовательно, не подвержена суточным изменениям при солнечном обогреве.

На станциях заправки, в дополнение к выбросам при подаче топлива, возникают выбросы при заправке автомобилей.

Операции по заправке автомобилей считаются основным источником выбросов летучих органических соединений. Эти выбросы вызываются парами, вытесняемыми из автомобильной цистерны перекачиваемым бензином. Основные факторы, воздействующие на количество выбросов, включают в себя объем перекачиваемого бензина, его температуру, температуру в баке автомобиля, давление паров бензина и скорость рассеивания. Температура в баке автомобиля имеет особенно важное значение в части выбросов при заправке современных автомобилей с впрыском бензина. Указанные выбросы летучих органических соединений можно регулировать посредством систем балансировки паров, так называемых средств регулирования Этапа II, которые разрешены федеральным законодательством во многих странах ЕС, или посредством системы укрупненных систем угольных фильтров, которая санкционирована в США.

### **7.21.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

Варианты средств регулирования выбросов при заполнении баков автомобилей и резервуара заправочной станции, в основном, обозначают как средства регулирования этапа I. В ЕС указанные операции подпадают под действие Директивы Европейского парламента и Совета 94/63/ЕС от 20 декабря 1994 г. по регулированию выбросов летучих органических соединений при хранении бензина и его распределении из нефтехранилищ на заправочные станции [1].

Варианты регулирования выбросов, касающихся заправки автомобилей, как правило, обозначают как средства регулирования этапа II.

В рамках стратегической программы, касающейся выбросов в атмосферу, ЕС выпустил директивное предложение, касающееся этапа II улавливания паров бензина, при заправке легковых автомобилей [11]. НДТ, сопутствующие уровни выбросов.

### 7.21.3.1 Хранение бензина

НДТ описаны в главе 7.5.

#### 7.21.3.2 Средства регулирования этапа I

К средствам регулирования этапа I, в основном, относятся линии балансировки паров и установки для улавливания паров (УУП) для восстановления бензина. Изменение типа загрузки, например, загрузка автоцистерн снизу, приводит к меньшей утечке паров, чем загрузка сверху. Загрузка снизу обеспечивает уменьшение выбросов летучих органических соединений по сравнению с загрузкой сверху и, что наиболее важно, обеспечивает более эффективное улавливание паров, чем при использовании модифицированных рукавов для загрузки сверху.

Пары, улавливаемые на заправочных станциях при выбросе бензина из автоцистерн, можно возвращать с помощью автоцистерн и повторно использовать в концевой УУП. Принцип работы УУП основан на адсорбции с помощью активированного угля, абсорбции, мембранной сепарации или применение комбинированных систем, сочетающих охлаждение/абсорбцию и сжатие/абсорбцию/мембранную сепарацию [9]. Общая эффективность УУП находится в диапазоне от 95 до более 99% [9]. Средства регулирования этапа I также означают внедрение модификаций автоцистерн и железнодорожных цистерн, а также судов и барж. В последних случаях следует обращать особое внимание на поддержание стандартов безопасности, в особенности, для предотвращения воспламенения и избыточного или недостаточного давления в грузовых танках.

#### 7.21.3.3 Средства регулирования этапа II

Выбросы летучих органических соединений при заправке автомобилей можно регулировать за счет систем балансировки паров, так называемых средств регулирования этапа II, или за счет увеличения размера бака автомобиля для улавливания газов горячего просачивания топливной системы. Средства регулирования этапа II технически рассчитаны на величину восстановления в 85-92% (в зависимости от эффективности улавливания). Затраты на этапе II в достаточной степени зависят от местных условий и варьируются в широком диапазоне.

Для уменьшения выбросов летучих органических соединений при заполнении бака автомобиля на заправочных станциях можно использовать системы активного улавливания паров. Они работают по следующему принципу: смесь паров бензина и воздуха, просачивающаяся из резервуара при заполнении, засасывается в паровой наконечник головки с последующим возвратом паров в резервуар для хранения. Смесь воздуха/паров следует возвращать пропорционально скорости потока перекачиваемого бензина. К компонентам открытой активной системы улавливания паров бензина относятся:

- Головка улавливания паров,
- Шланг, через который происходит улавливание паров, и труба, через которую пары поступают в подземный резервуар
- Вакуумный насос и система регулирования соотношения объема восстановленных паров и бензина, перекачиваемого в бак автомобиля.

Соотношение пары/бензин (П/Б) должно находиться в диапазоне от 95% до 105/110% объема. Не допускается использовать большее соотношение П/Б во избежание дополнительного подъема давления и, следовательно, выброса летучих органических соединений через клапаны сброса давления резервуара для хранения.

Регулировать соотношение можно за счет применения пропорционального клапана с гидро- или электроуправлением. Наиболее часто используются электронные системы регулирования. Тем не менее, различают две системы: Улавливание паров с электронным управлением (УПЭУ) - разомкнутый контур - без регулирования, и Улавливание паров с электронным управлением - самокалибрующийся газ - с регулированием.

При использовании активных систем УПЭУ без регулирования эффективность летучих органических соединений невозможно поддерживать с достаточной степенью эффективности в течение всего срока эксплуатации системы. При отсутствии тщательного и периодического технического обслуживания и осмотров эффективность снижается, поскольку соотношение П/Б резко отклоняется от оптимальных величин. Утечка в вентиляционном трубопроводе снизит объем возвращаемых паров и, следовательно, эффективность улавливания.

При использовании активных систем УПЭУ с регулированием контроль за улавливанием паров корректируют после каждой операции заполнения. Каждое отклонение от оптимального значения компенсируется электронными средствами. Следовательно, эффективность остается стабильной в течение всего срока эксплуатации системы.

В обоих случаях теоретическая эффективность улавливания выбросов летучих органических соединений составляет примерно от 85 до 92% веса. Тем не менее, в действительности, эффективность УПЭУ с регулированием является постоянной и, следовательно, выше, чем эффективность УПЭУ без регулирования. Можно обеспечить выявление неисправностей и сигнализацию во избежание выхода за пределы оптимальных значений при эксплуатации. При выявлении неисправности можно прекратить подачу бензина до ее устранения [3]. Данный тип эксплуатации в настоящее время используется в отдельных странах, таких как Германия, Швейцария и Великобритания.



Хотя опыт эксплуатации систем этапа II первого поколения был неудовлетворительным, сочетание типовых испытаний в сухом состоянии (которые электронными средствами имитируют поток жидкости и измеряют объем всасываемого воздуха), регулярных внешних осмотров персоналом заправочной станции и установки системы 'кода отказа' (которая проверяет надлежащую работу оборудования, например, работоспособность паровых насосов и функционирование клапанов регулировки подачи пара в установленных пределах) может обеспечить постоянную высокую эффективность улавливания при затратах примерно в одну десятую расходов на автоматические системы мониторинга.

Для обеспечения общей эффективности улавливания летучих органических соединений примерно в 95% веса соотношение П/Б следует увеличить на коэффициент от 1,3 до 1,5 [4]. Тем не менее, системы улавливания паров с соотношением П/Б более 100-110% можно использовать только в том случае, если применяются дополнительные типы систем, способные предотвратить создание избыточного давления и, следовательно, выброс летучих органических соединений через клапаны сброса давления резервуара для хранения. Работа данных систем основана на применении мембран или сжатию и конденсации [4], [6]. Например, мембранную установку размещают параллельно вентиляционной трубе подземного резервуара. Пар, отсасываемый при заправке автомобиля, всегда возвращают в хранилище с помощью активной системы. Тем не менее, используемое соотношение П/Б становится выше. Следовательно, избытки паров создают повышенное давление в резервуаре для хранения. Манометр вакуумного насоса мембранной установки контролирует давление. При определенном давлении вакуумный насос запускается, и давление в резервуаре сбрасывается посредством мембранного модуля в атмосферу. При этом обеспечивается общая эффективность в 95% в соответствии с документом 4.

Допускается применение других систем улавливания паров, в которых улавливание паров бензина происходит на заправочной колонке, после чего их направляют непосредственно на продажу. К оборудованию относится активная система всасывания паров с применением вакуумного насоса, теплообменника и компрессора, который конденсирует пары бензина, а также резервуар, в котором вода отделяется от восстановленного бензина. Восстановленный бензин направляется на заправочную колонку для заправки автомобилей.

**Таблица 1: Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов летучих органических соединений на станции отправки бензина на нефтеперерабатывающем заводе**

Источник выбросов	НДТ и эффективность уменьшения выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, *кг летучих органических соединений /м <sup>3</sup> /кПа [2], [9]
Заполнение автоцистерн, налив снизу или сверху и балансировка паров при предыдущем сливе, а также установки для улавливания паров	УУП с эффективностью от 95 до 99% [9]	0,0228 x 0,05 до 0,0228 x 0,01
Железнодорожная цистерна, с наливом сверху, а также установки для улавливания паров		0,0108 x 0,05 до 0,0108 x 0,01
Морская цистерна, типовое состояние грузовой цистерны		0,004 x 0,05 до 0,004 x 0,01
Баржа – типовое состояние грузовой цистерны		0,007 x 0,05 до 0,007 x 0,01

\*Отсутствует в документе [9], но рассчитывается в документе [2].

**Таблица 2: Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов летучих органических соединений в промежуточных хранилищах бензина**

Промежуточный склад		
Источник выбросов	НДТ и эффективность уменьшения выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, * кг летучих органических соединений /м <sup>3</sup> /кПа [2], [9]
Бензохранилище	Внутренняя плавающая крыша Внешняя плавающая крыша Другая конструкция резервуаров и соответствующая окраска от 97 до 99,5%, по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без измерения* [12]	См. приведенную величину эффективности
Заполнение автоцистерн, налив снизу или сверху и балансировка паров при предыдущем сливе, а также установки для улавливания паров	УУП с эффективностью от 95 до 99% [9]	0,0228 x 0,01 до 0,0228 x 0,05

\*Отсутствует в документе [9], но рассчитывается в документе [2].

**Таблица 3: Уровни выбросов при использовании имеющихся технологий уменьшения выбросов летучих органических соединений из заправочных станций**

Заправочные станции			
Источник летучих органических соединений	Имеющиеся технологии	Эффективность уменьшения выбросов	Уровень выбросов кг летучих органических соединений /м <sup>3</sup> /кПа [2] и [6]
Заполнение подземного резервуара	Возврат паров в передвижной контейнер (потери от дыхания не рассмотрены)	Эффективность возврата паров > 95%	0,0011
Заправка автомобиля	Активные системы с надлежащим управлением и техническим обслуживанием со стандартным соотношением пар/бензин от 95 до 105% (объемное соотношение)	Эффективность возврата паров > 85% (весовое соотношение)	0,0367x0,15

кПа представляет собой фактическое давление паров получаемого продукта, м<sup>3</sup> бензина

#### 7.21.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Имеются сведения по затратам для вариантов этапа I и этапа II для заправочных станций. Затраты для заправочных станций зависят от размера станции. Оценку затрат можно выполнить на основании приведенной ниже таблицы. Капитальные затраты для этапа I приведены в данных EGTEI [5]. Капитальные затраты для стандартных УПЭУ без регулирования у заправочной колонки содержатся в предоставленных изготовителем данных [7], а стоимость выполнения работ - из документа [8]. Указанные расходы определены в еще не опубликованном исследовании ADEME (Управление по надзору/контролю энергетики и экологии Франции), выполненном в 2007 г. центром CITEPA [6].

Таблица 4: Затраты на этап I и этап II на заправочных станциях различного размера

		Выбросы	Предотвращаемые выбросы	Капиталовложения	Эксплуатационные расходы	Общие годовые затраты	Затраты на тонну уменьшенных выбросов летучих органических соединений
		кг летучих органических соединений /год	кг летучих органических соединений /год	€	€/год	(10 лет и процентная ставка 4%) €/год	€/т предотвращенных выбросов летучих органических соединений
RI01 < 100 м <sup>3</sup> / год	Без уменьшения	90					
	Этап I	59	32	6 400		789	24 955
	Этап I и II	16	74	14 300	100	1 863	25 194
RI02 от 100 до 500 м <sup>3</sup> /год	Без уменьшения	588					
	Этап I	382	206	9 800		1 208	5 879
	Этап I и II	107	481	22 600	200	2 986	6 213
RI03 от 500 до 1000 м <sup>3</sup> / год	Без уменьшения	1 582	0				
	Этап I	1 028	553	12 600		1 553	2 807
	Этап I и II	288	1 294	30 200	400	4 123	3 186
RI04 от 1000 до 2000 м <sup>3</sup> / год	Без уменьшения	4 067					
	Этап I	2 645	1 423	15 200		1 874	1 317
	Этап I и II	740	3 328	37 900	600	5 273	1 584
RI05 от 2000 до 3000 м <sup>3</sup> / год	Без уменьшения	5 197					
	Этап I	3 379	1 818	17 500		2 158	1 187
	Этап I и II	945	4 252	45 000	800	6 348	1 493
RI06 от 3000 до 4500 м <sup>3</sup> / год	Без уменьшения	7 909					
	Этап I	5 142	2 767	19 800		2 441	882
	Этап I и II	1 438	6 471	52 100	1 000	7 423	1 147
RI07 > 4500 м <sup>3</sup> / год	Без уменьшения	19 208					
	Этап I	12 488	6 719	27 000		3 329	495
	Этап I и II	3 493	15714	79 000	2 000	11 740	747

Для активных систем коэффициент рентабельности зависит от размера станций и снижается при уменьшении размера. Расходы находятся в диапазоне от 900 до 1 350 €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений для станций производительностью свыше 3 000 м<sup>3</sup> в год, 1 700 - 1 800 €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений для станций производительностью от 1 000 до 3 000 м<sup>3</sup> в год, и увеличиваются для станций меньшего размера: 3 500 €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений для станций производительностью от 500 до 1000 м<sup>3</sup> в год, 6 500 €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений для станций производительностью от 100 до 500 м<sup>3</sup> в год, и 25 400 €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений для станций с производительностью менее 100 м<sup>3</sup> в год.

### 7.21.5 Список литературы, использованной в главе 7.21

- [1] European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (NMVOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations
- [2] CONCAWE  
Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries  
Report n° 1/2009 - 2009 edition
- [3] VDI 4205 Part 5  
Measurement and test methods for the assessment of vapour recovery systems on filling station  
System test of automatic monitoring systems of active vapour recovery systems - September 2006
- [4] Klaus Ohlrogge and Jim Wind  
Membrane based vapour recovery at petrol stations - GKSS forschungszentrum
- [5] EGTEI - Distribution of gasoline - Service stations - 2003  
[http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei\\_doc-Fuel distribution.htm](http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_doc-Fuel_distribution.htm)
- [6] NMVOC emissions from service stations - ADEME 2007- Not publicly available  
VOC emissions from service stations - Synthesis - ADEME 2007 -
- [7] TOKHEIM data provided to CITEPA - July 2006
- [8] Data from Total - 2007
- [9] European Commission - Reference document on best available techniques for mineral oil and gas refineries - BREF - February 2003 - European commission - Available at: <http://eipccb.jrc.es>
- [10] EPA - Emission factor documentation for AP42 section 7.1 - Organic liquid storage tanks  
Final report - September 2006
- [11] Proposal for a European Parliament and Council Directive on Stage II petrol vapour recovery during refueling of passenger cars at service stations, {SEC(2008) 2937}, {SEC(2008) 2938} 4.12.2008, COM(2008) 812 final
- [12] European Commission - reference document on BAT on emissions from storage - February 2003 - Available at: <http://eipccb.jrc.es>

## **7.22 Хранение и переработка органических веществ (за исключением бензина, что рассмотрено в главах 7.5 и 7.21)**

### **7.22.1 Объем рассматриваемой информации**

В данной главе рассмотрено хранение и обращение с органическими веществами (давление паров более 10 Па при 20°C), осуществляемое в промышленности по производству органических химикатов, при использовании растворителей, в промышленности по производству чистых химикатов... Хранение и обращение с бензином рассмотрено в главах 7.5 и 7.21.

### **7.22.2 Источники выбросов**

Хранение и обращение с жидкими органическими веществами (давление паров выше 10 Па при 20°C) может стать источниками выбросов летучих органических соединений.

### **7.22.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

Описание НДТ взято из документов 1 и 2.

#### **Конструкция**

##### **резервуара для хранения**

НДТ для оптимальной конструкции должны учитывать, как минимум, следующее:

- физические и химические свойства хранимого вещества
- способ эксплуатации хранилища, необходимый уровень КИП, количество операторов, и их нагрузка
- способ информирования операторов об отклонениях от нормальных условий процесса (сигнализация)
- степень защиты хранилища от отклонений от нормальных условий эксплуатации (инструкции по технике безопасности, системы блокировки, ограничители давления, обнаружение утечек и их ликвидация, и т.д.)
- тип установленного оборудования, в основном, принимая во внимание прошлый опыт эксплуатации продукта (конструкционные материалы, качество клапанов, и т.д.)
- необходимые меры по техническому обслуживанию и осмотрам, а также по упрощению их проведения (доступ, схема расположения, и т.д.)
- тактику действий в аварийных ситуациях (расстояние до других резервуаров, сооружений и до разграничительной линии, противопожарные мероприятия, доступ для аварийного обслуживания, например, для пожарной команды, и т.д.).

##### **Осмотры и техническое обслуживание**

НДТ является применение инструмента составления упреждающих планов технического обслуживания и разработки планов инспектирования с учетом фактора риска, таких как методика технического обслуживания с учетом рисков и надежности.

Инспекционные работы подразделяются на текущие осмотры, наружные осмотры в процессе эксплуатации и внутренние осмотры в нерабочем состоянии.

##### **Окраска резервуара**

НДТ является применение либо окраски резервуара со способностью отражения теплового или светового излучения минимум в 70%, или применение солнечного экрана для наземных резервуаров, содержащих летучие вещества.

##### **Принцип минимизации выбросов при хранении веществ в резервуарах**

НДТ предусматривает уменьшение выбросов из резервуаров для хранения, при перекачке и обращении с веществами.

### ***Резервуар с внешней плавающей крышей:***

Сопутствующий уровень выбросов, ассоциированный с НДТ, для крупного резервуара составляет, как минимум, 97% (по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без применения каких-либо мер), такой величины можно добиться, если 95 % окружности зазора между крышей и стенкой менее 3,2 мм, а уплотнения механические, жидкостного типа. При установке жидкостных первичных уплотнений и вторичных уплотнений, располагаемых по краю, можно добиться уменьшения выбросов в атмосферу до 99,5% (по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без применения каких-либо мер). Тем не менее, выбор уплотнения зависит от надежности, например, башмачные затворы предпочитают вследствие их продолжительного срока эксплуатации, и, следовательно, благодаря более высокому обороту.

НДТ является применение плавающих крыш прямого контакта (двойных), тем не менее, существующие плавающие крыши неконтактного типа (понтон) также рассматриваются в качестве НДТ.

К дополнительным мерам для уменьшения выбросов относятся:

- применение обратного клапана в направляющей стойке с прорезью.
- применение соединительной муфты над направляющей стойкой с прорезью, и/или
- применение 'мешков' над опорами крыши.

### ***Резервуары с фиксированной крышей***

Резервуары с фиксированной крышей используют для хранения легковоспламеняемых и других жидкостей, таких как нефтепродукты и химические вещества всех классов токсичности.

Для хранения летучих веществ, которые относятся к категориям 1 и 2 токсичных (Т), крайне токсичных (Т+), канцерогенных, мутагенных и токсичных для репродуктивной системы в резервуаре с фиксированной крышей, в качестве НДТ рассматривается применение установки для обработки паров.

Для других веществ в качестве НДТ рассматривается использование установки для обработки паров, или установка внутренней плавающей крыши.

Выбор технологии обработки паров зависит от таких критериев, как стоимость, токсичность продукта, эффективность уменьшения выбросов, количества остаточных выбросов и возможностей регенерации энергии, и должен осуществляться отдельно для каждого конкретного случая. Уменьшение уровней выбросов, ассоциируемых с НДТ, составляет, как минимум 98% (по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без применения каких-либо мер).

Достижимое снижение выбросов для крупного резервуара с внутренней плавающей крышей составляет, как минимум 97% (по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без применения каких-либо мер), такой величины можно добиться, если 95% окружности зазора между крышей и стенкой менее 3,2 мм, а уплотнения механические, жидкостного типа. При применении жидкостных первичных уплотнений и вторичных уплотнений, располагаемых по краю можно добиться более значительного уменьшения выбросов. Тем не менее, чем меньше емкость резервуара и количество циклов, тем менее эффективной является плавающая крыша.

## **Перекачка и обращение**

### **Осмотры и техническое обслуживание**

НДТ является применение инструмента составления упреждающих планов технического обслуживания и разработки планов инспектирования с учетом фактора риска, таких как методика технического обслуживания с учетом рисков и надежности;

### **Программа обнаружения утечек и ремонта**

Для более крупных хранилищ, в зависимости от свойств хранимых продуктов, НДТ является применение программы обнаружения утечек и ремонта. Необходимо обращать особое внимание на ситуации, в которых наиболее вероятно образование выбросов (например, газ/светлая жидкость при высоком давлении и/или температуре).

### **Принцип минимизации выбросов при хранении веществ в резервуарах**

НДТ является снижение выбросов из резервуаров при хранении, перекачке и обращении, которые значительно ухудшают состояние окружающей среды. Это применимо для крупных хранилищ, предполагающих некоторый временной промежуток для практической реализации.

### **Процедуры эксплуатации и обучение**

НДТ предусматривает внедрение и выполнение соответствующих организационных мероприятий, и обеспечение обучения и инструктирования обучаемых для безопасной и ответственной эксплуатации установки

## **Трубопроводы**

НДТ является применение наземных закрытых трубопроводов в новых условиях. Для существующих подземных трубопроводов в качестве НДТ рассматривается применение методики технического обслуживания с учетом рисков и надежности.

Фланцы с болтовым креплением и уплотненные соединения представляют собой важный источник неорганизованных выбросов. НДТ является сведение к минимуму количества фланцев за счет их замены сварными соединениями, в пределах эксплуатационных требований к техническому обслуживанию оборудования или гибкости системы транспортировки,

К НДТ для фланцев с болтовым креплением относятся:

- установка глухих фланцев на нечасто используемые клапаны для предотвращения случайного открытия
- использование глухих муфт или заглушек для открытых линий, но не для клапанов
- обеспечение выбора прокладок соответственно процессу
- обеспечение правильной установки прокладки
- обеспечение надлежащей сборки и загрузки фланцевого соединения
- при перекачке токсических, канцерогенных и других опасных веществ, установке прокладок высокой степени надежности, таких как прокладки со спиральной намоткой, типа *kamprofile* или кольцевые соединения.

Причиной коррозии внутренней поверхности может стать коррозионный характер перекачиваемой продукции, НДТ для предотвращения коррозии является:

- выбор конструкционных материалов, устойчивых к продукту
- применение надлежащих методов конструирования
- планово-предупредительное техническое обслуживание, и
- если применимо, нанесение внутреннего покрытия или добавление ингибиторов коррозии.

Для предотвращения коррозии наружной поверхности трубопроводов НДТ является применение одно-, двух или трехслойной системы покрытий в зависимости от конкретных условий на площадке (например, близость к морю). Покрытие, как правило, наносят на трубопроводы из пластмассы или нержавеющей стали.

## **Обработка паров**

НДТ является применение балансировки паров или обработки наиболее значимых выбросов при погрузке и выгрузке летучих соединений на грузовые машины (или с них), баржи и суда. Значимость выбросов зависит от вещества и объема выбросов, и определяется отдельно для каждого конкретного случая.

## **Клапаны**

К НДТ для клапанов относятся:

- правильный выбор материала уплотнения и конструирования для конкретного процесса
- при мониторинге следует обращать особое внимание на те клапаны, которые наиболее подвержены риску (такие как клапаны управления с выдвижным штоком при непрерывной эксплуатации)
- применение поворотных клапанов управления или насосов с переменным расходом вместо клапанов управления с выдвижным штоком
- в тех местах, где происходит обработка токсических, канцерогенных или опасных веществ, следует установить диафрагмы, сильфоны или двухстеночные клапаны
- направление выбросов через спускные клапаны обратно в систему перекачки или хранения или в систему обработки паров.

## **Насосы и компрессоры**

### **Установка и техническое обслуживание насосов и компрессоров**

Конструкция, установка и эксплуатация насоса или компрессора значительно воздействуют на потенциальный срок службы и надежность системы уплотнений. Далее перечислены некоторые основные факторы, которые составляют НДТ:

- надежное крепление насоса или компрессорной установки к основанию или раме
- обеспечение соответствия сил, действующих на соединительные трубы, рекомендациям изготовителя
- надлежащая конструкция всасывающего трубопровода для сведения к минимуму гидравлического дисбаланса
- центровка вала и кожуха в соответствии с рекомендациями изготовителя
- центровка соединения привод/насос или компрессор в соответствии с рекомендациями изготовителя, если установлены
- надлежащий баланс вращающихся частей
- эффективная заливка насосов и компрессоров перед их запуском в соответствии с рекомендациями изготовителя касательно диапазона эксплуатационных характеристик (Оптимальные эксплуатационные характеристики можно получить в точке максимальной эффективности.)

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

- существующий уровень полезного кавитационного запаса насоса всегда должен превышать значения для насоса или компрессора
- регулярный мониторинг и техническое обслуживание вращающегося оборудования и систем уплотнений в сочетании с программой ремонта или замены.

#### **Система уплотнений в насосах**

НДТ является правильным выбором насосов и типов уплотнений для процесса, предпочтительно, насосов, которые разработаны технологически герметичными, например, экранированные электронасосы, насосы с магнитной муфтой, насосы с несколькими механическими уплотнениями и системой остановки или буферной системой, насосы с несколькими механическими уплотнениями и уплотнениями с осушкой в атмосферу, диафрагменные насосы или сильфонные насосы.

#### **Системы уплотнений в компрессорах**

НДТ для компрессоров, перекачивающих нетоксичные газы, является применение механических уплотнений с газовой смазкой. НДТ для компрессоров, перекачивающих токсичные газы, являются двойные уплотнения с жидким или газовым барьером и продувка технологической части герметичного уплотнения инертным буферным газом. При работе под очень высоким давлением НДТ является применение системы тройных тандемных уплотнений.

**Таблица 1: Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов летучих органических соединений из хранилища органических веществ**

<b>Источники выбросов</b>	<b>Сочетание НДТ</b>	<b>Сопутствующие уровни выбросов летучих органических соединений для НДТ</b>
Резервуары для хранения летучих продуктов	Внутренняя плавающая крыша Внешняя плавающая крыша Другая конструкция резервуаров и соответствующая окраска	от 97 до 99,5%, по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без измерения*

\* Если невозможно добиться требуемой эффективности из-за конкретных характеристик резервуара для хранения (таких как малая производственная мощность, малый диаметр), следует использовать наилучшие доступные первичные и вторичные меры.

#### **7.22.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов**

Данные о затратах отсутствуют.

#### **7.22.5 Список литературы, использованной в главе 7.22**

[1] European Commission - reference document on BAT in emissions from storage July 2006

[2] European Commission - reference document on BAT on emissions from storage - February 2003 - Available at: <http://eipccb.jrc.es>



## **7.23 Изготовление органических химикатов (за исключением производства органических чистых химикатов, глава 7.24)**

### **7.23.1 Объем рассматриваемой информации**

В данной главе промышленность производства органических химикатов представляет собой промышленность, предназначенную для производства следующих типов продуктов:

- Меньшее количество олефинов, таких как этилен и пропилен, появляющихся, в основном, в процессе парового крекинга,
- Ароматические соединения, например, бензол и толуол,
- Окисленные соединения,
- Азотированные соединения,
- Галогенизированные соединения,
- Полимеры (полиэтилен, полипропилен, ПВХ, полиэстеры, полистирол...).

### **7.23.2 Источники выбросов**

При производстве органических химикатов выбросы варьируются в широком диапазоне в зависимости от продуктов и производственных процессов. Часто один продукт производят в ходе различных процессов, у каждого из которых имеются собственные характеристики выбросов летучих органических соединений.

Выбросы летучих органических соединений возникают из нескольких основных источников, перечисленных далее:

- Неорганизованные выбросы. Неорганизованные выбросы летучих органических соединений происходят из негерметичных компонентов оборудования под давлением в технологических установках, например, клапаны, фланцы и соединители, открытые линии и система отбора проб, содержащие летучие жидкости или газы. Летучие продукты определены в CEN (Европейский комитет по стандартизации) 15446 [7] и документе [8] как все продукты, примерно у 20% которых по весу давление паров выше 0,3 кПа при 20°C,
- Выбросы из труб,
- Факельные системы (используются для безопасной утилизации углеводородов или водорода, который невозможно уловить в процессе),
- Хранение и обращение с химическими веществами рассмотрено в главе 7.22.

### **7.23.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

Новые установки :

При разработке новых процессов и при крупных модификациях существующих процессов НДТ является выбор следующих технологий:

- Осуществление химических реакций и процессов сепарации непрерывно, в закрытом оборудовании,
- Осуществление иерархии операций для непрерывных процессов продувки из технологических аппаратов: повторное использование, восстановление, сжигание в оборудовании по контролю за загрязнением воздуха и сжигание в неспециализированном оборудовании
- Минимальное использование энергии и максимальная регенерация энергии,
- Использование соединений с низким или более низким давлением паров.

Изменения процесса, включая модификации сырья и продуктов, в отдельных случаях могут способствовать уменьшению выбросов летучих органических соединений неметанового ряда. Для уменьшения количества нежелательных побочных продуктов можно использовать новые химические реакции или принципы. Улучшения, вносимые в процесс, также должны быть направлены на улавливание и повторное использование побочных продуктов, а также максимальное закрытие кожухами открытого технологического оборудования.

Эффективным мероприятием, позволяющим уменьшить расход отработанного газа и выбросы летучих органических соединений неметанового ряда в процессах окисления и оксихлорирования (например, производство винилхлорида) является использование чистого кислорода вместо воздуха. В новых установках окисления и оксихлорирования обычно используется только чистый кислород.

### **Неорганизованные выбросы летучих органических соединений:**

Для предотвращения и регулирования неорганизованных выбросов летучих органических соединений НДТ считается сочетание программы обнаружения утечек и ремонта и использования высокопроизводительного оборудования:

- Программа обнаружения утечек и ремонта, заключающаяся в измерении концентрации летучих органических соединений в атмосфере вокруг места потенциальной утечки с последующим отбором оборудования с утечками, превышающими определенное пороговое значение, и, в конечном итоге, выполнение ремонта негерметичных изделий.

Программа ПОУР основана на следующих принципах [6]:

- Определение утечек и исправление соответствующих пороговых значений,
- Определение частоты осмотров,
- Перечисление и идентификация включенных компонентов,
- Процедуры по ремонту негерметичных компонентов, в зависимости от категории утечки.

Срочный мелкий ремонт, например, герметизацию негерметичного оборудования, можно выполнить сразу же. Техническое обслуживание и комплексный ремонт следует спланировать заранее. Их можно выполнить при плановом останове.

Герметизацию оборудования можно выполнить, не прерывая его работы (за исключением клапанов дистанционного управления (например, затяжка болтов для устранения утечек из штоков клапанов или фланцев, установка герметизирующих колпачков на открытые концы...).

Техническое обслуживание с демонтажом оборудования или его заменой можно выполнять только при останове установки с изоляцией цепей и дегазированием. Следовательно, при останове завода можно осуществлять два типа программ технического обслуживания в зависимости от ситуации [6]:

- Базовое техническое обслуживание: техническое обслуживание оборудования (фланцы + клапаны) для снятия отдельных деталей или замены оборудования новым, работающим по той же технологии.
- Крупный ремонт: полная замена клапанов арматурой более высокого качества, работающих по технологии отсутствия утечек. Базовое техническое обслуживание выполняют для фланцев.

- Использование высокопроизводительного оборудования, например [1]:

- Клапаны: клапаны с малой скоростью утечки с двойными сальниковыми уплотнениями, сильфонными уплотнениями для применения в зонах высокого риска,
- Насосы: двойные уплотнения с жидким или газовым барьером или герметичные насосы,
- Компрессоры и вакуумные насосы: двойные уплотнения с жидким или газовым барьером, или бессальниковые насосы, или технология простого уплотнения с эквивалентным уровнем выбросов,
- Фланцы: сведение количества к минимуму, использование эффективных прокладок,
- Открытые концы: глухие фланцы, муфты и заглушки на нечасто используемые клапаны, использование замкнутой промывки в точках сбора жидкости, и, для анализаторов систем сбора, оптимизация объема/частоты сбора, сведение к минимуму длины пробоотборных линий или оснащение их кожухами,
- Предохранительные клапаны: установка до предохранительной диафрагмы.

### **Выбросы летучих органических соединений из дымовых труб:**

Содержание летучих органических соединений в отходящих газах можно контролировать за счет стандартных методов регулирования выбросов органических загрязнителей из стационарных источников, т.е. адсорбции, абсорбции, конденсации, мембранных процессов, термического и каталитического окисления сернистых соединений, а также модификации процесса. Данные технологии представлены в главе 5.3.2.

Выбросы из факельных систем:

- Во избежание выбросов из факельных систем НДТ является:
  - Сведение к минимуму необходимости в ликвидации углеводородов сжиганием на факеле за счет надлежащего проектирования завода и управления им
  - К НДТ для конструкции и эксплуатации мачтового факела относится обеспечение постоянного контроля запальной горелки, эффективное смешивание, контролируемое соотношение потока углеводородов и удаленный мониторинг системой видеонаблюдения
  - Эффективность разложения более 99% для мачтового факела и 99,5% для наземного факела.

## Летучие органические соединения при хранении, обращении и перекачке [1] и [2]:

К НДТ для хранения, обращения и перекачки, в дополнение к описанным в главе 7.22, относится соответствующее сочетание или выбор, в числе прочего, следующих технологий:

- Внешняя плавающая крыша с вспомогательными уплотнениями (не для веществ с повышенным уровнем опасности), фиксированная крыша
- резервуары с внутренней поднимающейся крышкой и уплотняющими затворами (для более летучих соединений), резервуар с фиксированной крышей
- с подушкой инертного газа, герметичное хранилище (для веществ с повышенным уровнем опасности или неприятным запахом)
- соединение резервуаров для хранения и передвижных контейнеров уравнительными трубопроводами
- минимизация температуры в хранилище
- КИП и процедуры, предотвращающие переполнение
- непроницаемая вторичная защитная оболочка резервуара с производительностью 110% для самого крупного резервуара
- улавливание летучих органических соединений с вентиляционных клапанов (за счет конденсации, абсорбции или адсорбции) перед повторным использованием или
- их уничтожение при сжигании в установке получения энергии, мусорожигателе или факеле
- постоянный мониторинг уровня жидкости и его изменений
- трубопроводы заполнения резервуаров, которые проходят ниже поверхности жидкости
- загрузка снизу во избежание распыливания
- измерительные устройства на загрузочных рукавах для обнаружения больших, чем необходимо, перемещений
- самогерметизирующиеся соединения шлангов / сухо-разъемное соединение

### 7.23.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Стоимость установки находится в диапазоне от -100 до + 180 €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений в соответствии с мерами по уменьшению выбросов, рассмотренными согласно EGTEI [9], для внедрения программы ПОУР по снижению неорганизованных выбросов для установки парового крекинга. Отрицательные значения стоимости указывают на значительную экономию и компенсацию расходов. Диапазон затрат на установку может быть более значительным и находится в пределах, например, от 310 до 1050 €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений в соответствии с мерами по уменьшению выбросов, рассмотренными при производстве ПВХ [10].

### 7.23.5 Список литературы, использованной в главе 7.23

- [1] European Commission - Reference document on BAT in the large volume organic chemical industry - February 2003
- [2] European Commission - Reference document on BAT in the production of polymers - 2006
- [3] European Commission - Reference document on BAT for the manufacture of organic fine chemicals August 2006
- [4] European Commission - reference document on BAT in common waste water and waste gas treatment / management systems in the chemical sector - February 2003.
- [5] European Commission - reference document on BAT in storage to be completed - February 2003.
- [6] EGTEI background document on the organic chemical industry.
- [7] EN15446:2008 Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors - Measurement of fugitive emission of vapours generating from equipment and piping leaks
- [8] EPA - Protocol for equipment leak - Emission estimates EPA 453-95-017 - 1995
- [9] EGTEI - Organic chemical industry - steam cracking - synopsis sheet -15 October 2005  
<http://www.citepa.Org/forums/egtei/10-Synopsis-sheet-steam-cracking-15-10-05.pdf>
- [10] EGTEI - Organic chemical industry - Production of PVC - synopsis sheet - 3 October 2005  
<http://www.citepa.Org/forums/egtei/11-synopsis-sheet-PVC-suspension-03-10-05.pdf>



## **7.24 Производство органических чистых химикатов**

### **7.24.1 Объем рассматриваемой информации**

Промышленность по производству органических химикатов объединяет производство различных типов химикатов партиями, на многоцелевых и многопрофильных заводах (фармацевтические активные ингредиенты, биологические продукты, пищевые добавки, фотографические химикаты, красители и промежуточные продукты, пестициды и другие специализированные продукты...) [1].

Изготовление фармацевтической продукции является частью промышленности по производству органических химикатов и предусматривает:

- Производство первичной фармацевтической продукции: производство бестарных фармацевтических препаратов, промежуточных продуктов и активных ингредиентов за счет синтеза, ферментации, экстракции или других процессов, на многоцелевых и многопрофильных заводах, а также серийное производство.
- Операции, относящиеся к составу готовых лекарственных веществ и лекарств, с использованием активных ингредиентов, поставляемых с механизированного склада сыпучих материалов (осуществляются в отделочных установках). Активные ингредиенты преобразуют в готовую для употребления продукцию. При этом учитывается физический состав, заполнение и упаковка.

В данной главе рассмотрены только выбросы летучих органических соединений.

### **7.24.2 Источники выбросов**

Данная промышленность является крайне неоднородной: заводы изготавливают продукцию в широком ассортименте, с использованием большого количества производственных процессов, на них может происходить хранение и использование нескольких сотен видов сырьевых материалов или промежуточных продуктов. Процессы, как правило, осуществляются серийно и на многоцелевых заводах. Для одного активного ингредиента требуется несколько этапов трансформации. Процессы, как правило, предусматривают от 1 до 40 этапов трансформации, в зависимости от молекулярного состава. В ходе этапов процесса осуществляется полный диапазон типовых операций, например: реакции, жидкостная экстракция, сепарация жидкостей или жидкостей/твердых веществ, или газа/твердых веществ, дистилляция, кристаллизация, осушка, адсорбция газа... Производство осуществляется в ходе периодического процесса (или выпуска партиями). Редко используется специализированное оборудование, чаще - многоцелевое. В ходе процессов нередко используют растворители. Любые вступившие в реакцию сырьевые материалы можно либо восстановить, либо использовать повторно, или сбросить в атмосферу после соответствующей обработки.

Благодаря разнообразию используемых в данном секторе процессов невозможно дать их простое описание. Вместо этого представлен краткий обзор характеристик существующих заводов по производству фармацевтических продуктов.

### **Значительное количество точек сброса выбросов летучих органических соединений**

Сети обработки газообразных выбросов являются сложными объектами. Для одного и того же оборудования часто существует несколько точек сброса, в зависимости от выполняемых операций. Большое количество точек сброса возникает в следующих случаях:

- ограничения по качеству, требуемые в данном секторе, для предотвращения перекрестного загрязнения,
- ограничения для обеспечения безопасности, например, во избежание контакта несовместимых газов.

На заводах с ежегодным потреблением растворителя в диапазоне от 900 до 1500 т могут быть предусмотрены от 10 до 50 труб для сброса выбросов летучих органических соединений в атмосферу.

Большое количество точек сброса оборудовано конденсаторами для захвата летучих органических соединений. Для захвата коррозионноактивных или токсических газов отдельные вентиляционные клапаны относятся к абсорбционным колоннам уменьшения выбросов. При применении вторичных технологий уменьшения выбросов необходим сбор сбрасываемого воздуха.

### **Значительные временные вариации выбросов летучих органических соединений**

Концентрации летучих органических соединений могут варьироваться от одной точки сброса до другой. Существуют выбросы с высоким расходом отработанного газа и малой концентрацией; общая вентиляция завода относится к данной группе. Другие выбросы, такие как сбрасываемый воздух производственного оборудования, характеризуются очень низким расходом отработанного газа (несколько Нм<sup>3</sup>/ч) и высокой концентрацией летучих органических соединений.

Выбросы летучих органических соединений представляют собой процесс с крайне высокой временной изменчивостью: высокая изменчивость во времени при выбросах и непостоянных выбросах.

Указанная ситуация приводит к более значительным расходам на обработку выбросов: устройство очистки газа должно быть рассчитано на пиковые уровни выбросов. Выбор параметров технологий уменьшения выбросов должен осуществляться с учетом пиковых уровней выбросов (следует также учитывать частоту появления пиковых уровней выбросов). Таким образом, капиталовложения возрастают по сравнению с более регулярными по времени выбросами.

### **Использование большого количества растворителей**

В ходе подобных операций, хотя 5 растворителей (метанол, толуол, ацетон, этанол, дихлорид метана) составляют около 70% потребления новых растворителей [1], в целом, используются приблизительно 40 различных растворителей. Потребление хлорированных растворителей уже достаточно высоко. Отмеченное большое количество растворителей, наличие хлорированных растворителей, а также ограничения по обеспечению безопасности и качеству затрудняют и удорожают использование вторичных технологий уменьшения выбросов (обработка хлорида водорода, если сжигание ограничило потенциал для сбора и повторного использования растворителей).

### **7.24.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

Для уменьшения потерь растворителей и выбросов в атмосферу в наличии имеется широкий диапазон оптимальных методик и средств усовершенствования процесса, к которым относятся работа в концентрированной среде для уменьшения потребления растворителей, повышенное использование низкотемпературных и легкоконденсирующихся растворителей, изменение конкретных условий эксплуатации для дистилляции (например, дистилляция при обычном давлении вместо вакуумной дистилляции), осуществление надлежащей эксплуатации, увеличенная эффективность конденсации (увеличенная поверхность обменника и повышенная холодопроизводительность), изменение технологии (вакуумные насосы с сухим уплотнением вместо вакуумных насосов с гидравлическим поршнем; закрытые фильтры нагнетания или вакуум-фильтры, которые более герметичны, чем открытые фильтры; вакуумные сушилки с лучшей конденсацией растворителя...).

В список НДТ входит следующее [2]:

- Локализовать и закрыть источники и любые отверстия для минимизации неконтролируемых выбросов,
- Выполнение сушки с использованием замкнутого контура, включая конденсаторы для восстановления растворителя.
- При протирании и очистке растворителями оборудование должно быть плотно закрытым,
- Закрытие ненужных отверстий для предотвращения всасывания воздуха в систему сбора газа через технологическое оборудование,
- Обеспечение воздухонепроницаемости технологического оборудования, в особенности, резервуаров,
- Применение импульсной, а не постоянной инертизации,
- Минимизация объема отработанного газа при дистилляции за счет оптимизации расположения конденсатора,
- Добавление жидкости в резервуары загрузкой снизу или погружной отводкой, за исключением случаев, когда это нецелесообразно вследствие химических реакций и/или соображений безопасности. В подобных случаях добавление жидкости сверху через трубу, направленную к стенке, уменьшает разбрызгивание и, следовательно, нагрузку по органическим загрязнениям вытесненного газа,
- Минимизация накопления пиковых нагрузок и потоков и соответствующих им пиковых значений концентрации за счет оптимизации основного состава продукции и применения сглаживающих фильтров.
- Обработка отработанных газов, содержащих летучие органические соединения. Выбор технологий обработки летучих органических соединений является крайне важной задачей для многоцелевой площадки. Поскольку объемный расход значительно варьируется на многоцелевой площадке, ключевым параметром для выбора технологий является средний массовый поток из точечных источников выбросов в кг/час. Одну из технологий или их сочетание можно применять в качестве системы улавливания/уменьшения выбросов для всей площадки, отдельного производственного корпуса или производственного процесса. Это зависит от конкретной ситуации и влияет на количество точечных источников. Неокислительные технологии улавливания/уменьшения выбросов эффективно работают после минимизации объемного потока, а получаемые уровни концентрации должны соотноситься с соответствующим объемным потоком без разбавления, например, потоками при вентилировании здания или помещения. Термическое окисление/сжигание и каталитическое окисление представляют собой зарекомендовавшие себя технологии для разрушения летучих органических соединений с наибольшей степенью эффективности, но оказывают существенные воздействия на другие среды. При непосредственном сравнении каталитическое окисление требует меньше энергии и образует меньше NO<sub>x</sub> и, следовательно, является предпочтительным вариантом при наличии технической возможности. Термическое окисление предпочтительно в случае, когда вспомогательное топливо можно заменить органическими жидкими отходами (например, отработанные растворители, для которых имеется техническая и экономическая возможность на площадке, и которые невозможно уловить), или в случае, когда автотермический режим работы можно обеспечить за счет отделения органических соединений от потоков отработанного газа. Если отработанные газы также содержат большое количество других

загрязнителей, помимо летучих органических соединений, термическое окисление может обеспечить, например, восстановление быстрореализуемого хлорида водорода или, если термический окислитель снабжен установкой удаления NO<sub>x</sub>, или спроектирован для двухступенчатого сжигания, эффективное уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> за счет термического окисления/сжигания и каталитического окисления также может стать пригодной технологией снижения выбросов веществ с неприятным запахом.

### НДТ является уменьшение выбросов до заданного уровня

На существующих установках можно уменьшить общие выбросы летучих органических соединений до уровня менее 5% подаваемого растворителя за счет использования комбинированной стратегии, предусматривающей следующее:

- Ступенчатое внедрение комплексных мероприятий по предотвращению/уменьшению рассеянных/неорганизованных выбросов и по минимизации массового потока, для которого необходимы меры по уменьшению выбросов
- Применение технологий улавливания/уменьшения большого количества выбросов, таких как термическое/каталитическое окисление или адсорбция активированным углем
- Применение специализированных технологий улавливания/уменьшения выбросов на источнике в пределах площадок меньшего размера с использованием специализированного оборудования, и с применением одного или двух различных объемных растворителей.

**Таблица 1: Избранные меры регулирования выбросов летучих органических соединений, ассоциируемых с НДТ, для органических чистых химикатов**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ
Новые установки:	Сочетание приведенных выше НДТ (первичные меры и использование вторичных мер (оксидация, адсорбция и / или конденсация))	< 3% добавляемого растворителя *
Существующие установки	Сочетание приведенных выше НДТ (первичные меры и использование вторичных мер (оксидация, адсорбция и / или конденсация))	< 5% добавляемого растворителя *

\* Сумма I1 представляет собой количество органических растворителей или их количество в закупленных препаратах, используемых в качестве сырья для процесса, за период расчета баланса массы + I2 количество органических растворителей или их количество в препаратах, восстановленных и повторно используемых в качестве сырья для процесса. (Повторно используемый растворитель считается каждый раз, когда он используется в ходе осуществления какой-либо операции.)

**Таблица 2: Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ, для неокислительных технологий улавливания/уменьшения выбросов [2]**

Этап процесса	Средний уровень выбросов из точечных источников*
Неокислительные технологии улавливания/уменьшения выбросов	0,1 кг С/час* или 20 мг С/м <sup>3</sup> **
*Период осреднения соотносится с профилем выбросов, уровни относятся к сухому газу и представлены в Нм <sup>3</sup>	
**Уровень концентрации соотносится с объемными потоками без разбавления, например, объемными потоками при вентиляции помещения или здания	

**Таблица 3: Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, по общему содержанию органического С для термического окисления/сжигания или каталитического окисления [2]**

Этап процесса	Средний уровень выбросов из точечных источников*		
Термическое окисление/сжигание или каталитическое окисление	Средний массовый поток < 0,05 кг С/ч**	или	Средняя концентрация**

			< 5 мг С/м <sup>3</sup>
*Период осреднения соотносится с профилем выбросов, уровни относятся к сухому газу и представлены в Нм <sup>3</sup>			
** Указанные значения требуют значительных технических ресурсов, особое внимание следует уделять энергосбережению, которое может быть неприемлемым			

#### 7.24.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Затраты варьируются в широком диапазоне. Средние капиталовложения для обеспечения наилучших значений характеристики для существующего завода составляют приблизительно 6700 тыс. €, а общий расход на кг уменьшенных выбросов летучих органических соединений - 2,3 €/кг [8].

#### 7.24.5 Список литературы, использованной в главе 7.24

- [1] Speciality organic chemical industry. EGTEI background document - 24 may 2005  
[http://www.citepa.org/forums/egtei/speciality\\_chemistry\\_290405.pdf](http://www.citepa.org/forums/egtei/speciality_chemistry_290405.pdf)
- [2] European commission - reference document on BAT for the manufacture of organic fine chemicals August 2006
- [3] Council Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0013:EN:HTML>
- [4] Regulation (EC) No 166/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 January 2006 concerning the establishment of a European Pollutant Release and Transfer Register and amending Council Directives 91/689/EEC and 96/61/EC
- [5] Arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et a la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets - (JO n° 62 du 13 mars 2008)
- [6] Comments from André Peeters Weem, Cees Braams from InfoMil, the Dutch Ministry of Environment on GD 7-26 Manufacture of organic fine chemical - version 1
- [7] Comments from Johannes Drotleff, German UMBtreitbundesamt on GD 7-26 Manufacture of organic fine chemical - version 1
- [8] Speciality organic chemical industry. Synopsis sheet - 3 October 2005  
<http://www.citepa.org/forums/egtei/31-Synopsis-sheet-Speciality-organic-chemical-industry-03-10-05.pdf>



## 7.25 Адгезивное покрытие (включая производство обуви)

### 7.25.1 Объем рассматриваемой информации

Секторы, в которых используют клеящие вещества, являются наиболее разнообразными. Производственные процессы и технологии применения в значительной степени различаются. К учитываемым секторам относятся: производство клейкой ленты, многослойной фольги, сектор транспортировок (легковые автомобили, грузовой автотранспорт, передвижные дома-фургоны, железнодорожные вагоны, воздушные суда), изготовление обуви и изделий из кожи, деревообрабатывающая и мебельная промышленность. Непромышленное использование клеящих веществ представляет собой крупный сектор, который изучают отдельно.

### 7.25.2 Источники выбросов

Технологии применения и типы используемых клеящих веществ значительно изменяются в зависимости от сектора. Клеящие вещества можно наносить вручную, распылением или с помощью валика. Эффективность применения зависит от типа используемой технологии. Содержание растворителя в клеящих веществах в значительной степени зависит от типа потребляемого материала. Содержание растворителя в клеящих веществах на базе растворителя может достигать до 80%. В дисперсионных клеях содержание растворителей составляет около 2 - 6%; а, в плавящемся клее растворители отсутствуют. Каждый тип клеящего вещества имеет различные физические и химические свойства.

### 7.25.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

СЗВ НДТ и технологии основаны на данных из документа STS ЧНДТ [1] по изготовлению клейкой ленты, а также данных EGTEI [2] для других секторов.

Технологии уменьшения выбросов повсеместно распространены и пригодны для употребления в секторах, использующих клеящие вещества.

В процессах нанесения адгезивного покрытия на базе растворителей образуется значительное количество выбросов летучих органических соединений, которые можно снизить либо за счет применения первичных мер (замена клеящими веществами содержащими растворители с низким содержанием органических веществ или без них) или вторичных мер для более крупных установок (адсорбция, термическое или каталитическое окисление). Выбор подобных мероприятий, применяемых для избранных основных процессов, приведен в таблице 1.

**Таблица 1: Источники выбросов и избранные меры регулирования летучих органических соединений с сопутствующими уровнями выбросов для адгезивного покрытия и изготовления обуви**

Тип установки	Сочетание мер регулирования	Уровни сопутствующих выбросов летучих органических соединений [Определены для следующего периода осреднения: ежегодно для общего уровня СЗВ]
Изготовление клейкой ленты	Использование конденсации, адсорбции, окисления или сочетания указанных технологий	Общее количество выбросов в 5 % по весу или менее добавляемого растворителя [1]
Изготовление клейкой ленты Адгезивное покрытие в других секторах	Использование клеящих веществ без растворителей	0 г/кг клеящего вещества [2]
	Использование конденсации, адсорбции, окисления или сочетания указанных технологий	< 150 г/кг клеящего вещества [5]
	Использование клеящих веществ на водной основе	20 г/кг клеящего вещества [2]
Обувная промышленность	Использование клеящих веществ на водной основе	20 - 30 г/пару [3]
	Использование биофльтрации	

#### **7.25.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов**

Затраты варьируются в диапазоне примерно 0,1 и 0,7 тыс. €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений в соответствии с типом применяемых мероприятий (т.е. обработка или уменьшение потребления растворителя): затраты на уменьшение выбросов меньше при 100% содержании твердых клеящих веществ по сравнению с продуктами на базе растворителей, но указанные системы не всегда технически целесообразны. Указанные величины затрат являются представительными для крупных установок.

Конкретно для сектора производства обуви внедрение термического окисления обеспечивает уровень расходов на уменьшение выбросов примерно от 8 до 11 тыс.€/т летучих органических соединений, а использование продукции на водной основе - примерно 0,7 тыс. €/т летучих органических соединений, но последняя из указанных технологий, очевидно, неприменима для всех видов производства.

Подробная методика, используемая для ориентировочного определения указанных затрат, рассмотрена в документах EGTEI, касающихся "применения клеящих веществ" [2] и "изготовления обуви" [3].

**Внимание:** указанные документы подвержены изменениям при наличии обновленных данных.

#### **7.25.5 Развивающиеся технологии**

Данные отсутствуют.

#### **7.25.6 Список литературы, использованной в главе 7.25**

[1] STS BREF - August 2007

[2] EGTEI background document/synopsis sheet: Adhesive application -2003/2005

[3] EGTEI background document/synopsis sheet: Manufacture of shoes -2003/2005

[4] Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations

[5] Comments from Birgit Mahrwald - UBA

## 7.26 Процессы нанесения покрытия 1: покрытие автомобилей, кабин грузовых автомобилей, грузовиков и автобусов

### 7.26.1 Объем рассматриваемой информации

В данном секторе рассмотрено нанесение покрытия на пассажирские автомобили, кабины грузовых автомобилей, грузовики и автобусы.

### 7.26.2 Источники выбросов

К основным этапам подобных процессов могут относиться:

- Предварительная очистка, фосфатирование, электрофоретическое покрытие (также обозначаемое как электростатическая окраска или электролитическое покрытие);
- Нанесение грунтовки, ее сушка;
- Нанесение верхнего покрытия (покрытий), его (их) сушка;
- Герметизация днища и швов, защита от коррозии, а также ремонтная окраска перед сборкой.

### 7.26.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

СЗВ НДТ основаны на документе STS СНДТ [1]. Сочетание мер регулирования определено на основании обсуждения с ACEA (Ассоциация Европейских Производителей Автомобилей) [2] и соответствует НДТ.

**Таблица 1: Источники выбросов и избранные меры по регулированию летучих органических соединений с сопутствующими уровнями выбросов для процессов нанесения покрытия**

Тип установки	Сочетание мер регулирования [4]	Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ [Определены для следующего периода осреднения: ежегодно для общего уровня СЗВ]
Производство автомобилей (M1, M2)	<p>Электростатическая окраска: на водной основе (содержание растворителя 5% по весу)</p> <p>Грунтовка: на водной основе (содержание растворителя 8% по весу) - электростатическое применение</p> <p>Верхнее покрытие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Покрытие с высоким содержанием твердых частиц (содержание растворителя 45% по весу) – электростатическое применение, и</li> <li>- первый слой покрытия на водной основе (содержание растворителя 15% по весу) электростатическое применение – и прозрачное покрытие на основе растворителя (содержание растворителя 45 - 55% по весу) - электростатическое применение</li> </ul> <p>План обращения с растворителями, улавливание растворителей при продувке</p>	10 - 35 г летучих органических соединений /м <sup>2</sup> или 0,3 кг/корпус + 8 г/м <sup>2</sup> до 1 кг/корпус + 26 г/м <sup>2</sup>
Изготовление кабин грузовых автомобилей (N1, N2, N3)	<p>Эмали на водной основе</p> <p>Высокопрочное прозрачное покрытие</p> <p>Повышенное улавливание растворителя / уменьшение потребления растворителя</p>	10- 55 г летучих органических соединений /м <sup>2</sup>

	Окисление в печах	
Изготовление грузовых автомобилей (N1, N2, N3)	Грунтовка на водной основе и верхнее покрытие для машин "на ходу" и высокопрочное прозрачное покрытие для специальных заказов Повышенное улавливание растворителя / уменьшение потребления растворителя	15-50 г летучих органических соединений /м <sup>2</sup>
Изготовление автобусов (M3)	Катафорез Эмали на водной основе Высокопрочное прозрачное покрытие Повышенное улавливание растворителя / уменьшение потребления растворителя Окисление при катафорезе при сжигании в среднем слое и в эмалировочных печах	92-150 г летучих органических соединений /м <sup>2</sup>
Изготовление автофургонов	Эмали на водной основе Высокопрочное прозрачное покрытие Повышенное улавливание растворителя / уменьшение потребления растворителя Окисление в печах	15-50 г летучих органических соединений /м <sup>2</sup>

Площадь поверхности определяется как общая площадь электрофоретического покрытия и площадь поверхности любых деталей, которые могут быть добавлены на последующих этапах процесса нанесения покрытия, и которые покрывают теми же типами покрытий, что и используемые для рассматриваемого продукта, или общая площадь поверхности всей продукции, на которое нанесено покрытие на установках.

M1: для транспортных средств, используемых для перевозки пассажиров и предусматривающих не более 8 мест, помимо места водителя.

M2: максимальный вес 5 мг для транспортных средств, используемых для перевозки пассажиров и предусматривающих более 8 мест, помимо места водителя.

M3: вес более 5 мг для транспортных средств, используемых для перевозки пассажиров и предусматривающих более 8 мест, помимо места водителя.

N1: максимальный вес 3,5 мг для транспортных средств, используемых для перевозки грузов.

N2: вес более 3,5 мг, но не более 12 мг для транспортных средств, используемых для перевозки грузов.

N3: вес более 12 мг для транспортных средств, используемых для перевозки грузов.

#### 7.26.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Затраты рассмотрены в документах EGTEI "нанесение покрытия на автомобили" [3], грузовые автомобили, автофургоны [4], покрытие кабин грузовых автомобилей [5] и покрытие для автобусов [6].

Для изготовления автомобилей расходы на уменьшение выбросов, соответствующее НДТ, варьируются в диапазоне от 11 до 25 тыс. €/тонн уменьшенных выбросов летучих органических соединений. Для некоторых технологий затраты будут еще выше.

Для изготовления грузовых автомобилей и автофургонов затраты на уменьшение выбросов находятся в пределах от 12 тыс. €/т летучих органических соединений до 22 тыс. €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений в зависимости от получаемого сопутствующего уровня выбросов (т.е. требования директивы по растворителям или НДТ).

Для изготовления кабин грузовых автомобилей затраты на уменьшение выбросов находятся в пределах от 21 тыс. €/т летучих органических соединений до 33 тыс. €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений в зависимости от получаемого сопутствующего уровня выбросов (т.е. требования директивы по растворителям или НДТ).

Для изготовления автобусов затраты на уменьшение выбросов находятся в пределах от 13 тыс. €/т летучих органических соединений до 23 тыс. €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений в зависимости от получаемого сопутствующего уровня выбросов (т.е. требования директивы по растворителям или НДТ).

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

Подробное описание методов, используемых при определении уровня указанных затрат, рассмотрены в документах EGTEI "нанесение покрытия на автомобили" [3], "грузовые автомобили" [4], "покрытие кабин грузовых автомобилей" [5] и "покрытие для автобусов" [6].

**Внимание:** указанные документы подвержены изменениям при наличии обновленных данных.

### **7.26.5 Развивающиеся технологии**

Количественные данные отсутствуют.

### **7.26.6 Список литературы, использованной в главе 7.26**

[1] STS BREF - August 2007

[2] Internal meeting ACEA/ EGTEI - July 2006

[3] EGTEI background document/synopsis sheet: Car coating - 2003/2005

[4] EGTEI background document/synopsis sheet: Truck coating - 2003/2005

[5] EGTEI background document/synopsis sheet: Truck cabin coating - 2003/2005

[6] EGTEI background document/synopsis sheet: Bus coating - 2003/2005



## 7.27 Процессы нанесения покрытия 2: Нанесение покрытия на обмоточные провода

### 7.27.1 Объем рассматриваемой информации

В данном разделе рассматривается только покрытие металлических проводников, используемых в качестве обмотки трансформаторов, двигателей, и т.д.

### 7.27.2 Источники выбросов

Покрытие на провода наносится при их непрерывном пронесении через ванну с эмалью. Провода с нанесенным покрытием затем сушат в нагревательной камере, где происходит выпаривание растворителей и отверждение пленки под действием высокой температуры. Можно нанести до 30 слоев эмали до получения слоя необходимой толщины. Печи рециркуляционного воздуха используют в современных процессах нанесения проводов на покрытия. Смесь воздуха/растворителя, как правило, обрабатывают в каталитической установке окисления, которая обеспечивает поддержание концентрации остаточных растворителей менее допустимых пороговых значений (как правило, 20 - 30 мг С/Нм<sup>3</sup>). Тепло от установки термического окисления можно использовать в процессе сушки [1].

В зависимости от окончательных требований к продукции, на поверхность провода с покрытием можно нанести пленку или воск перед его намоткой на поставочную катушку. По традиции, парафин применяют при использовании органического растворителя с его содержанием от 98 до 99,9%. Смазочные материалы в форме концентрированных эмульсий, с содержанием растворителя от 50 до 95%, эмульсии на водной основе или даже горячие расплавы без растворителей также используют в промышленности, хотя и с ограниченным успехом [1].

В настоящее время имеются в наличии два метода нанесения твердого воска на поверхность провода. Один из методов предполагает использование покрытой воском нити, контактирующей с поверхностью, и другой - нанесение расплавленного воска на поверхность провода.

### 7.27.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

Варианты уменьшения выбросов на основании документов STS СНДТ [1] приведены в таблице 1 далее.

**Таблица 1: Источники выбросов и избранные меры по регулированию летучих органических соединений с сопутствующими уровнями выбросов для процессов нанесения покрытия на обмоточные провода**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ [Определены для следующего периода осреднения: ежегодно для общего уровня СЗВ]
Все заводы	Использование материалов с низким содержанием растворителей (например, эмалевые покрытия с высоким содержанием твердых веществ и смазочные вещества, не содержащие растворителей) и/или процессов	5 г/кг провода или менее для крупных проводов (диаметром > 0,1 мм)
	и Применение каталитической установки окисления для обработки выбросов, возникающих на этапе нанесения эмалевого покрытия	10 г/кг провода или менее для тонких проводов (диаметром 0,01 - 0,1 мм)

### 7.27.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Расходы определены в документах EGTEI, касающихся "нанесения покрытия на провода" [2]. Расходы на уменьшение выбросов (€/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений) считаются отрицательными, как при замене печи единственным возможным вариантом является покупка более эффективной печи, обеспечивающей энергосбережение.

**Внимание:** указанные документы подвержены изменениям при наличии обновленных данных.

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

#### **7.27.5 Развивающиеся технологии**

Нанесение воска на тонкие провода: в указанной технологии учитываются выбросы растворителей при окончательной сушке воска на тонких проводах (0,01 - 0,1 мм) [1].

#### **7.27.6 Список литературы, использованной в главе 7.27**

[1] STS BREF - August 2007

[2] EGTEI background document/synopsis sheet: Wire coating - 2003/2005



## 7.28 Процессы нанесения покрытия 3: Рулонное покрытие

### 7.28.1 Объем рассматриваемой информации

Нанесений рулонного покрытия (металлической поверхности) представляет собой линейный процесс нанесения защитных и/или декоративных органических покрытий на плоские листы или полосы металла, уложенные рулонами или витками.

### 7.28.2 Источники выбросов

Металлическую полосу проводят через станцию нанесения покрытия, где с помощью роликов наносится покрытие на обе стороны металлической полосы. Роликовые устройства для нанесения покрытий обеспечивают очень высокую эффективность нанесения краски на полосу. Затем полосу проводят через печь, где происходит сушка и отверждение покрытия. На выходе полосы из печи происходит ее охлаждение разбрызгиванием воды и/или воздушной закалкой и повторная осушка. Если линия двойная, как большинство подобных линий, сначала наносят грунтовку, затем верхнее покрытие на одной или обеих сторон полосы.

Наиболее часто используют краски с содержанием растворителя от 40 до 50%. Для использования красок с содержанием растворителя не существует технических ограничений.

### 7.28.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

Потенциальные возможности использования различных покрытий различаются. Использование красок на водной основе практически прекратилось в начале 80-х гг. и с тех пор не используется в значительной мере вследствие технических сложностей, возникающих при их изготовлении, и ограничений по их использованию. Использование покрытий из порошкового материала ограничено, поскольку их применение все еще сопровождается технологическими и экономическими затруднениями. В настоящее время скорость линии транспортировки порошкового материала составляет примерно 10 м/мин. в сопоставлении с 50 - 100 м/мин. для большинства линий жидкой краски, и получение толщины пленки менее 60 мкм является более сложным и дорогостоящим процессом при использовании порошка. Сочетание отмеченных выше факторов способствует неконкурентности порошка в сопоставлении с традиционными рулонными покрытиями на основе растворителей в большинстве вариантов применения.

СЗВ НДТ основаны на данных документа STS СНДТ [1] и на информации ЕССА (Европейская ассоциация кабельных коммуникаций) [4]. Они приведены в таблице 1 далее.

**Таблица 1: Источники выбросов и избранные меры по регулированию летучих органических соединений с сопутствующими уровнями выбросов для процессов нанесения рулонных покрытий**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ [Определены для следующих периодов осреднения: ежедневно для СУVс и ежегодно для СУVf и общего объема СЗВ]
Рулонное покрытие - новые установки	Сочетание вытяжки в области нанесения покрытия, нанесения краски, сушилки/печи и зоне охлаждения и обработки отработанных газов за счет термического или каталитического окисления	от 0,73 до 0,84 г летучих органических углеродов неметанового ряда/м <sup>2</sup> , с неорганизованными выбросами 3 - 5%* (можно добиться концентрации в обработанном отработанном газе в 20 - 50 мг С/м <sup>3</sup> )
Рулонное покрытие - существующие установки		от 0,73 до 0,84 г летучих органических углеродов неметанового ряда/м <sup>2</sup> , с неорганизованными выбросами 3 - 10%* (можно добиться концентрации в обработанном отработанном газе в 20 - 50 мг С/м <sup>3</sup> )

\* Новая информация от ЕССА демонстрирует, что достижимая интенсивность выбросов зависит от широкого диапазона факторов, но указанную величину <2,5 г/м<sup>2</sup> следует использовать для всех возможных ситуаций, в ходе которых применяются НДТ. Поскольку данная величина не подтверждена в СНДТ, она не представлена в таблице выше.

#### **7.28.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов**

Расходы по уменьшению выбросов, соответствующие использованию термического окислителя, варьируются в пределах приблизительно от 200 и 360 €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений в зависимости от размера установки. Подробная методика, используемая для оценки данных расходов, определяется в кратком обзоре EGTEI, касающемся "рулонного покрытия" [2].

**Внимание:** указанный документ подвержен изменениям при наличии обновленных данных.

#### **7.28.5 Развивающиеся технологии**

Первичной технологией является уменьшение вторичных выбросов с помощью окислителей. Технология красок на водной и порошковой основе не является новой, но на обе системы действуют строгие ограничения. В будущем появление радиационно-отверждаемых красок (применение УФ и/или электронно-лучевой сушки) может обеспечить получение красок без летучих органических соединений для данного сектора, но указанные технологии коммерчески не приемлемы на данный момент [4].

#### **7.28.6 Список литературы, использованной в главе 7.28**

[1] STS BREF - August 2007

[2] EGTEI synopsis sheet: Coil coating - 2006

[3] Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations

[4] Comments from ECCA - 09/03/2009

## **7.29 Процессы нанесения покрытия 4: нанесение покрытия на металл, дерево, пластмассу и другие поверхности (ткань, кожа, бумага...)**

### **7.29.1 Объем рассматриваемой информации**

В данном разделе рассмотрено только промышленное использование красок. Использование бытовых и архитектурных красок описано в другом подразделе. Нанесение покрытия на автомобили и другие транспортные средства, рулонное покрытие и покрытие обмоточных проводов раскрыты в других разделах, поскольку применяемые при этом технологии уменьшения выбросов крайне специфичны.

### **7.29.2 Источники выбросов**

В пределах данной категории источников выбросы летучих органических соединений возникают при нанесении краски, из сушильных печей, оборудования очистки и камер окраски. В соответствии с документом [1] вследствие большого разнообразия применяемых технологий и резко различающихся требований к качеству покрытий невозможно выявить технологии равномерного уменьшения выбросов.

Требования к покрытию поверхности значительно различаются в пределах сектора нанесения краски. Содержание растворителя в продукции существенно различается:

#### **a/ Краски с содержанием растворителей**

Стандартные краски с содержанием растворителей содержат приблизительно от 30 до 80% по весу органического соединения.

В красках с высоким содержанием твердых частиц их содержание превышает 65%.

#### **b/ Краски на водной основе**

Краски на водной основе содержат от менее 1% до 18% органических растворителей, используемых в качестве сжижающего реагента, а также для улучшения свойств сырой пленки.

Указанные краски имеются в наличии и широко используются. Диапазон их применения постоянно увеличивается.

#### **c/ Покрытия из порошкового материала**

Покрытия из порошкового материала не содержат растворителей. Чаще всего, происходит повторное использование красочного тумана таким образом, что эффективность переноса становится достаточно высокой. Для сушки материал нагревают, при этом он расплавляется до состояния пленки. Покрытия из порошкового материала, в основном, наносят электростатическим распылением на обрабатываемые изделия. В отдельных секторах данная технология достаточно разработана.

### **7.29.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

СЗВ НДТ основаны на данных документов STS ЧНДТ [2] для крупных установок, потребляющих более 200 тонн растворителя в год, и на данных Директивы по выбросам растворителей (SED) [3] для меньших установок (соответствующие коэффициенты выбросов основаны на расчетах схемы по уменьшению выбросов растворителей).

#### **a/ Общие вопросы**

Для обычного обработанного воздуха в промышленности нанесения покрытий характерен значительный расход и низкое содержание органических растворителей, что подразумевает значительные энергозатраты на реализацию природоохранных мер в конце производственного цикла. Следовательно, при выборе данного варианта следует использовать процессы с низким энергопотреблением и/или высоким коэффициентом регенерации энергии. Еще одним решением является использование этапа предварительной концентрации за счет процессов адсорбции/десорбции. Использование красок и способов очистки с низким содержанием растворителей или без них, в большинстве случаев, является наиболее эффективным средством уменьшения выбросов органических растворителей при промышленном окрашивании.

Более того, для вариантов промышленного применения существуют технологии уменьшения выбросов, например, оптимизация процессов применения: например, электростатические распылители и другие технологии распыления вместо применения стандартных пневматических средств, системы покрытий с низким содержанием растворителей, а также, в некоторых случаях, автоматизация применения. Кроме того, улавливание краски (например, улавливание красочного тумана) является зарекомендовавшим себя вариантом уменьшения выбросов летучих органических соединений в секторах нанесения покрытий на дерево и металл.

#### **b/ Специфические проблемы при нанесении покрытия на дерево**

При нанесении покрытия на древесные материалы покрытия с водной основой не пригодны для дуба; покрытия из порошкового материала пригодны только для древесно-волоконистых плит средней плотности, а радиационно-отверждаемые покрытия пригодны только для плоских участков.

**Таблица 1: Источники выбросов и избранные меры по регулированию летучих органических соединений с сопутствующими уровнями выбросов для процессов нанесения покрытия**

Тип установки	Сочетание мер регулирования	Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ [Определены для следующего периода осреднения: ежегодно для общего уровня СЗВ]
<b>Крупные установки [2]</b>		
Нанесение покрытия на мебель и древесные материалы	Обработка отработанного газа, например, термическое окисление при отсутствии других технологий или невозможности получить требуемый уровень Использование красок с низким содержанием растворителей или без них и максимизация эффективности нанесения краски	0,25 кг или менее летучих органических соединений / кг добавляемых твердых частиц
	Краски с высоким содержанием органических соединений (содержание растворителя 65% от веса) при применении высокоэффективных технологий (роликосое нанесение, заливка, электростатическое распыление, безвоздушное распыление) и надлежащая эксплуатация	40 - 60 г летучих органических соединений / м <sup>2</sup>
	Краски с средним содержанием органических соединений (содержание растворителя 20% от веса) при применении высокоэффективных технологий и надлежащей эксплуатации	10 - 20 г летучих органических соединений / м <sup>2</sup>
	Краски с низким содержанием органических соединений (содержание растворителя 5% от веса) при применении высокоэффективных технологий и надлежащей эксплуатации	2 - 5 г летучих органических соединений / м <sup>2</sup>
Нанесение покрытия на пластмассовые обрабатываемые изделия	Обработка отработанного газа	от 0,25 до 0,35 кг или менее летучих органических соединений/ кг добавляемых твердых частиц
	Использование красок с низким содержанием органических соединений или красок на водной основе и максимизация эффективности нанесения краски	
Нанесение покрытия на металлические поверхности	Обработка отработанного газа	от 0,10 до 0,33 кг или менее летучих органических соединений/ кг добавляемых твердых частиц
	Использование красок с низким содержанием органических соединений или красок на водной основе и максимизация эффективности нанесения краски	
<b>Небольшие установки [3]</b>		
Нанесение покрытия на мебель и древесные материалы	Обработка отработанного газа, например, термическое окисление при отсутствии других технологий или невозможности получить требуемый уровень	от 1 до 1,6 (для установок, потребляющих менее 25 тонн растворителей в год) или менее летучих органических соединений / кг добавляемых твердых частиц
	Использование красок с низким содержанием растворителей или без них и максимизация эффективности нанесения краски Использование красок с низким содержанием растворителей или красок на водной основе и	

	максимизация эффективности нанесения краски	
Нанесение покрытия на металлические и пластмассовые поверхности	Обработка отработанного газа Использование красок с низким содержанием органических соединений или красок на водной основе и максимизация эффективности нанесения краски	от 0,375 до 0,6 (для установок, потребляющих менее 15 тонн растворителей в год) или менее летучих органических соединений / кг добавляемых твердых частиц

Согласно CEPE [7], при нанесении покрытий на металлические и пластмассовые покрытия можно добиться уровня выбросов 0,375 кг летучих органических соединений на кг потребляемых нелетучих веществ за счет сочетания грунтовки с очень высоким содержанием твердых частиц и верхнего покрытия с высоким содержанием твердых веществ при окраске по влажному слою, что является подходящим процессом для многих вариантов применения. Более низкие предельные значения можно применять для металлических поверхностей в случаях, когда используется электроокраска, порошковые или другие материалы высокотемпературной сушки. Для многих низкотемпературных операций, возможно, не удастся обеспечить подобные значения, и возникнет необходимость в реализации дополнительных нежелательных мер по уменьшению выбросов отработанного воздуха из распылительных камер.

#### 7.29.4 Затраты

Затраты определены в документах EGTEI, касающихся "краски в неспециализированной промышленности" [4] и "покрытия, наносимого на дерево" [5].

Для покрытий в промышленности (неспециализированная промышленность, непрерывные процессы, пластиковые покрытия) стоимость уменьшения выбросов варьируется в диапазоне от 2 до 18 тыс. €/тонн уменьшенных выбросов летучих органических соединений в зависимости от размера установки, и является отрицательной для первичных мер (большая эффективность процесса нанесения приводит к снижению потребления растворителей и меньшему использованию продукции).

Для нанесения покрытия на дерево затраты на уменьшение выбросов находятся в пределах от 2 до 16 тыс. €/тонн уменьшенных выбросов летучих органических соединений в зависимости от размера установки, и являются отрицательными, если уменьшение выбросов происходит за счет первичных мер.

**Внимание:** указанные документы подвержены изменениям при наличии обновленных данных.

#### 7.29.5 Развивающиеся технологии

Электростатическое нанесение покрытий из порошковых материалов на непроводящее дерево и древесные материалы на данный момент находится в стадии разработки [2].

#### 7.29.6 Список литературы, использованной в главе 7.29

[1] BAT for paint and adhesive applications in Germany, IFARE - 2002

[2] STS BREF - August 2007

[3] Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations

[4] EGTEI background document/synopsis sheet: Paint in the general industry - 2003/2005

[5] EGTEI background document/synopsis sheet: Wood coating - 2003/2005

[6] Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc- EGTEI - 02/2009 [7] Comments from CEPE - March 2009



## 7.30 Содержание растворителя в продукции 1: Декоративные покрытия

### 7.30.1 Объем рассматриваемой информации

Декоративные краски применяют на месте для зданий.

### 7.30.2 Источники выбросов

Выбросы летучих органических соединений при использовании декоративной краски появляются при испарении летучих органических соединений, которые могут быть существенными компонентами поставляемой краски или добавляться до применения красок на основе растворителя для уменьшения вязкости (разбавители) или использоваться в качестве очищающих растворителей [3].

Все неуплощенные летучие органические соединения можно считать потенциальными выбросами. Основной фактор, воздействующий на данные выбросы, - это количество летучих органических соединений в готовой для использования краске. Краски могут быть либо на водной основе - вязкость которых можно уменьшить за счет добавления воды - или на основе растворителя, в данном случае вязкость уменьшают добавлением растворителя.

Стандартные декоративные краски на основе растворителя, как правило, содержат примерно 50% твердых веществ и 50% органического растворителя. Предельные значения для летучих органических соединений в Директиве 2004/42/ЕС [1] требуют внедрения продукции с более низким содержанием летучих органических соединений.

### 7.30.3 Имеющиеся технологии, достижимая концентрация растворителя

Выбросы летучих органических соединений из декоративных красок происходят при использовании готовых красок и при очистке оборудования в случае, если ее выполняют с применением растворителей. Выбросы летучих органических соединений можно уменьшить за счет применения красок с меньшим содержанием летучих органических соединений, например, за счет перехода с краски на основе стандартного растворителя на краску на водной основе с меньшим содержанием летучих органических соединений, или за счет применения красок на основе растворителя с меньшим содержанием летучих органических соединений. Максимальное содержание летучих органических соединений, допустимое согласно этапу II Директивы 2004/42/ЕС, определяется категорией продукта в соответствии с приведенной далее таблицей 1.

Таблица 1: Достижимые концентрации растворителей для каждого из типов краски

Подкатегория продукта	Тип	Этап II (г/л)*
Внутренние матовые стены и потолки (блеск < 25 при 60°)	WB	30
	SB	30
Внутренние блестящие стены и потолки (блеск > 25 при 60°)	WB	100
	SB	100
Наружные стенки минерального субстрата	WB	40
	SB	430
Внутренние/наружные масляно-алкидные и кровельные краски для дерева и металла	WB	130
	SB	300
Внутренние/наружные масляно-алкидные лаки и морилки, включая непрозрачные морилки	WB	130
	SB	700
Грунтовки	WB	30
	SB	350
Связывающие грунтовки	WB	30
	SB	750
Однокомпонентные покрытия	WB	140
	SB	500
Двухкомпонентные покрытия с реакционным нанесением для специализированного конечного использования	WB	140
	SB	500
Многоцветное покрытие	WB	100
	SB	100

Декоративные покрытия	WB	200
	SB	200

\* г/л, готовые для использования

В европейской промышленности по декоративным краскам предполагается, что указанные выбросы данных летучих органических соединений должны быть практически достижимыми, за исключением красок для внутренних стен на основе растворителей.

Краски для внутренних стен должны стать полностью водными, поскольку предельные значения в 30 г/л и 100 г/л невозможно практически получить при использовании продукции на базе растворителей [3].

#### **7.30.4 Данные о затратах**

Затраты определены в справочном документе EGTEI, касающемся "декоративных красок" [2]. В соответствии с CEPE [3] данный документ является устаревшим. CEPE подготовила документ, в котором указана стоимость продуктов с измененным обозначением: данный документ имеется в наличии для группы [4].

#### **7.30.5 Развивающиеся технологии**

Данные отсутствуют.

#### **7.30.6 Список литературы, использованной в главе 7.30**

[1] Directive 2004/42/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in decorative paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC

[2] EGTEI background document: Decorative paint - 2003

[3] J. WARNON - CEPE - 02/03/2009

[4] Cost impact of Directive 2004/42/EC. CEPE estimate of relabeling costs for the changes in 2010 for Decorative paints



## **7.31 Изготовление покрытий, лаков, красителей и клеящих веществ**

### **7.31.1 Объем рассматриваемой информации**

В данном секторе рассмотрено производство всех типов красок, лаков, морилок, а также чернил и клеящих веществ. Имеется в наличии широкий ассортимент продуктов, состав которых специально подобран для обеспечения соответствия различным требованиям в процессе эксплуатации. Указанные продукты, в числе прочих, предназначены для воздушных судов, автомобилей, кораблей, деревянной и металлической мебели, упаковки, текстильного волокна, бытового использования и т.д.

### **7.31.2 Источники выбросов**

К сырью, используемому при производстве продукции, относятся твердые вещества, связующие вещества, растворители и все виды присадок.

- Твердые вещества обеспечивают цвет, непрозрачность и устойчивость покрытия.
- Связующие вещества представляют собой компоненты, формирующие непрерывную фазу, удерживающие твердые вещества в сухой пленке и способствующие ее плотному прилеганию к поверхности, на которую наносят покрытие. Большинство связующих веществ состоят из смол и олифы, которые в наибольшей степени обеспечивают защитные и общие механические свойства пленки.
- Для регулирования вязкости необходимо применять растворители. Материалы, которые можно использовать в качестве растворителей, включают в себя алифатические и ароматические углеводороды, спирты, эфиры и кетоны.
- Под присадками понимают сырьевые материалы, добавляемые в небольшой концентрации. Они выполняют особую функцию или придают покрытию определенные свойства. К присадкам относятся осушители, загустители, антивспениватели, диспергенты и катализаторы.

В данном случае происходят только физические процессы, например, взвешивание, смешивание, дробление, подкрашивание, разбавление и упаковка; химические реакции отсутствуют. Перечисленные процессы происходят в крупных смесительных резервуарах при температуре практически на уровне комнатной.

Выбросы могут появляться на нескольких этапах в ходе данного процесса. К основным источникам выбросов относятся следующие:

- Потери при заполнении и очистке;
- Потери за счет прилипания продукта к резервуарам и оборудованию;
- Неорганизованные выбросы при смешивании препаратов и хранении растворителей.

### **7.31.3 Имеющиеся технологии, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

При нанесении покрытий возможно внедрение модификаций процесса за счет перехода на краски и клеи с низким содержанием органического растворителя. Помимо того, можно применить технологические меры уменьшения выбросов, например, обеспечение резервуаров крышками или снижение потерь за счет дыхания резервуаров для хранения. Дальнейшие варианты уменьшения выбросов летучих органических соединений предусматривают конденсацию, адсорбцию, термическое и каталитическое окисление. Примеры имеющихся в наличии мер по уменьшению выбросов приведены далее в таблице 1.

**Таблица 1: Источники выбросов и избранные меры регулирования летучих органических соединений с сопутствующими уровнями выбросов при изготовлении красок и клеящих веществ**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни сопутствующих выбросов летучих органических соединений [Определены для следующего периода осреднения: ежегодно для общего уровня СЗВ]
Крупные установки с ежегодным потреблением растворителя > 1000 т		1% по весу добавляемого растворителя [1]
Все другие установки	Правильные методы проведения работ, например: Улавливание паров растворителя при распределении сырья, Выгрузка бочек с помощью вилочных погрузчиков во избежание утечек, Укрытие передвижных установок, Использование растворителей с малой летучестью для уменьшения неорганизованных выбросов, Использование очистителей, содержащих меньшее количество растворителей, Использование автоматических устройств очистки, по возможности, Повторное использование растворов для очистки,	2,5% от веса добавляемого растворителя
	Правильные методы проведения работ и улучшение конденсации или установок адсорбции активированным углем и улавливания растворителя	1,75% от веса добавляемого растворителя

#### 7.31.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Затраты на уменьшение выбросов, соответствующие уровню выбросов менее 2% добавляемого растворителя, составляют около 2200 €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений. Подробная методика определена в кратком обзоре EGTEI, касающемся "изготовления красок, чернил и клея" [2].

**Внимание:** указанный документ подвержен изменениям при наличии обновленных данных.

#### 7.31.5 Развивающиеся технологии

Данные отсутствуют

#### 7.31.6 Список литературы, использованной в главе 7.31

- [1] Comments from UBA -this correspond to the German legislation for large installations  
 [2] EGTEI synopsis sheet: Manufacture of paints, inks and glues - 2005

## 7.32 Процессы печати

### 7.32.1 Объем рассматриваемой информации

Наиболее важными технологиями в секторе печати являются офсетная печать с термоотверждением, флексографическая печать и ротационная глубокая печать в секторе упаковки, глубокой печати и ротационной трафаретной печати.

В соответствии с документом Intergraf [10], печать с полистной подачей бумаги и без сушки обеспечивает очень низкий уровень выбросов летучих органических соединений. Указанные выбросы также сложно измерить, поскольку не осуществляется процесс принудительной сушки, в ходе которого выделяются отработанные газы. Наблюдается тенденция по использованию низколетучих очистителей и отсутствию изопропанола в увлажняющих растворах. Тем не менее, применимость указанных мер уменьшения выбросов в значительной степени зависит от условий на месте и не может быть преобразована в любую предельную величину выбросов. По указанной причине данные процессы невозможно рассмотреть в пределах системы, используемой для других процессов печати, их следует исключить из данного документа.

### 7.32.2 Источники выбросов

#### a/ Офсетная печать с термоотверждением

Офсетная печать означает такой печатный процесс, при котором используется печатная форма, где печатающие и непечатающие участки находятся в одной плоскости. Непечатающие участки обработаны таким образом, чтобы притягивать воду и отталкивать жирную краску. Печатающие участки обработаны для приема и передачи чернил на цилиндр с резиновым покрытием, а с него на печатную поверхность.

Печать с термоотверждением подразумевает процесс офсетной печати, в ходе которого происходит испарение в печи, где используется горячий воздух для нагрева печатного материала (большая часть краски для офсетной печати не высыхает за счет испарения, а при окислении или абсорбции бумагой. Термоотверждающаяся краска представляет собой исключение. Это единственный вид краски, высыхающий, в основном, при испарении [1]).

Источниками выбросов в атмосферу, в первую очередь, являются органические растворители, содержащиеся в краске. Используемая краска состоит из минеральных масел с высокой температурой кипения в качестве растворителей (от 40 до 45% по весу). Примерно 20% минерального масла остается в бумаге, где после охлаждения до комнатной температуры оно больше не подпадает под определение летучих органических углеродов неметанового ряда, остаток испаряется на этапе сушки, которая происходит при высокой температуре (от 200 до 300 °C).

Растворители, используемые при очистке, хранении и обращении с растворителями, а также использование органических растворителей в составе увлажняющих растворов (чаще всего, изопропанол) также являются важными источниками выбросов органических веществ.

#### b/ Глубокая печать

Под ротационной глубокой печатью понимают процесс печати с использованием цилиндрической печатной формы, в ходе которого печатающий участок находится под непечатающим участком, а также используется жидкая краска, высыхающая при испарении. Ячейки заполняют краской, а остатки счищают с непечатающего участка до того, как поверхность коснется цилиндра и примет краску из ячеек. Используют только краски на основе толуола [1]. При выпуске с завод по выпуску краски она содержит 50% толуола. Для получения требуемой концентрации толуола краску разбавляют на полиграфическом предприятии: краска, готовая для подачи в машину, содержит до 80% толуола [2]. Краску разбавляют толуолом, восстановленным на заводе.

#### c/ Флексографическая печать и ротационная глубокая печать для упаковки

Под флексографической печатью понимают процесс печати с использованием печатной формы из резины или эластичных фотополимеров, где печатающие участки находятся над непечатающими участками, а также используется жидкая краска, высыхающая за счет испарения органических соединителей. Процесс, как правило, осуществляется с рулонной подачей и применяется для средних или длинных многокрасочных партий изделий на разнообразных подложках, включая плотную бумагу, древесноволокнистые плиты, металлическую и полимерную пленку. Основными категориями на рынке флексографической печати являются гибкая тара и ламинат, многослойные мешки, картонные пачки для молока, подарочная упаковка, складные коробки, гофрированный картон (с полистовой подачей), бумажные чашки и тарелки, этикетки, лента и конверты. Печать практически всех картонных пачек для молока и многослойных мешков, а также половины гибкой тары осуществляется в ходе данного процесса.

Краски на базе растворителей могут содержать различное количество растворителя при покупке, но готовые для использования краски содержат от 80 до 90% растворителей (с учетом очистителей). При этом возможна замена продукцией на водной основе (с содержанием растворителя около 5%), красками с УФ сушкой и 2-компонентными клеящими веществами. Краски на водной основе при флексографической печати регулярно используют в упаковочной промышленности, например, для бумажных мешков и полиэтиленовых сумок [1].

### 7.32.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)

СЗВ НДТ и технологии основаны на данных документов STS СНДТ [3], при наличии информации, (для крупных установок, потребляющих более 200 тонн растворителя в год), и на данных Директивы по выбросам растворителей (SED) [4] или сведениях EGTEI для меньших установок. Для трафаретной печати данные взяты из исследования от 1999 г. [5], поскольку EGTEI отдельно не рассматривала данный сектор.

#### а/ Офсетная печать с термоотверждением

Выбросы летучих органических углеродов неметанового ряда при печати без термоотверждения краски состоят из изопропанола (IPA), выделяемого увлажняющими растворами, очистителями, а также выбросов дымовых газов из сушилок. НДТ является уменьшение общего количества неорганизованных выбросов и обработка выбросов летучих органических соединений из труб в ходе термического, каталитического или регенеративного окисления.

Следовательно, указанные процессы представляют собой НДТ для снижения:

- Выбросов изопропанола за счет использования увлажняющего раствора с низким содержанием изопропанола от без него,
- Неорганизованных выбросов в процессе очистки за счет сочетания следующих технологий: замена и регулирование выбросов летучих органических углеродов неметанового ряда, используемых при очистке, в системах автоматической очистки для печатных и офсетных цилиндров.

Таблица 1: Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, для офсетной печати с термоотверждением

Тип пресса	Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ [Определены для следующих периодов осреднения: ежедневно для СУВс и ежегодно для СУВf и общего объема СЗВ]
<b>Установки IPPC (Комплексное предотвращение и контроль загрязнений) [1]</b>	
Для новых и модернизированных прессов	от 2,5 до 10% летучих органических соединений, выраженных в % потребления краски по весу
Для существующих прессов	от 5 до 15% летучих органических соединений, выраженных в % потребления краски по весу
<b>Небольшие установки</b>	
Для всех прессов	Можно добиться неорганизованных выбросов менее 30% добавляемого растворителя [11 с концентрацией в дымовых трубах не более 20 мг С / Нм <sup>3</sup>

#### б/ Глубокая печать

В секторе глубокой печати более 90% потребляемых органических растворителей можно восстановить в случае использования адсорбции активированным углем, благодаря небольшому числу компонентов в органическом растворителе (в основном, толуол). Повторное использование данных органических растворителей возможно и практиковалось в течение долгого времени.

В качестве НДТ рассматривается уменьшение неорганизованных выбросов после обработки газа:

Таблица 2: Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, для глубокой печати

<b>Для новых установок [3]</b> [Определены для следующих периодов осреднения: ежегодно для общего уровня СЗВ]
Общий объем выбросов от 4 до 5% добавляемого растворителя
<b>Для существующих установок [3], [4]</b> [Определены для следующих периодов осреднения: ежегодно для общего уровня СЗВ]
Общий объем выбросов от 5 до 7% добавляемого растворителя

**с/ Ротационная глубокая печать и флексографическая печать на упаковках**

В секторе *ротационной глубокой печати и флексографической печати на упаковках* можно использовать следующие меры регулирования выбросов летучих органических соединений:

Замена краской с низким содержанием растворителей или без них, а также клеящими веществами, где это целесообразно;

Адсорбция с применением активированного угля эффективность системы улавливания является важным параметром общей эффективности. Вследствие наличия различных органических растворителей в краске затруднено их локальное повторное использование. Данный вариант может стать технически и экономически целесообразным для крупных печатных установок с ежегодным потреблением растворителя минимум 500 Мг. Во всех случаях рекомендуется оптимизация потока захваченного воздуха в различных частях установки при ее проектировании. Минимизация общей скорости воздушного потока, и, таким образом, снижение концентрации на входе приводит к значительному уменьшению капиталовложений и эксплуатационных расходов;

Термическое или каталитическое окисление: эффективность системы улавливания является важным параметром общей эффективности. В данный момент указанная мера используется чаще всего для уменьшения выбросов летучих органических соединений в данной части сектора печати, и, предположительно, останется наиболее благоприятным вариантом с экономической точки зрения для печатных установок с потреблением растворителя менее 500 Мг/год. Во всех случаях рекомендуется оптимизация потока захваченного воздуха в различных частях установки при ее проектировании. Минимизация общей скорости воздушного потока, и, таким образом, снижение концентрации на входе приводит к значительному уменьшению капиталовложений и эксплуатационных расходов;

**Таблица 3: Источники выбросов и избранные меры регулирования летучих органических соединений с сопутствующими уровнями выбросов для ротационной глубокой печати и флексографической печати**

Тип установки	Сочетание мер регулирования	Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ [Определены для следующих периодов осреднения: ежедневно для СУВс и ежегодно для СУВf и общего объема СЗВ]
Установки IPPC	Для установок с аппаратами, подключенными к установке окисления	от 7,5 до 12,5% исходного уровня выбросов <sup>a4</sup> [3]
	Для установок с аппаратами, подключенными к установкам адсорбции активированным углем	от 10 до 15% исходного уровня выбросов <sup>a4</sup> [3]
	Для существующих разнородных установок: для случаев, когда некоторые существующие аппараты не подключены к мусоросжигателю или установке улавливания растворителя	Выбросы из аппаратов, подключенных к установкам окисления или адсорбции активированным углем находятся ниже предельных значений для выбросов от 7,5 до 12,5% или от 10 до 15%, соответственно  Для аппаратов, не подключенных к установкам очистки газа: использование продуктов с низким содержанием растворителя или без него, подключение к установке обработки отработанного газа при наличии резервной мощности и, предпочтительно, выполнение работ с использованием большого количества растворителя для аппаратов, подключенных к установке обработки отработанного газа.  Общий уровень выбросов менее 25% исходного ( <i>схема уменьшения выбросов растворителей, Директива по выбросам растворителей</i> )
Небольшие установки	СУВс = 100 мг С/Нм <sup>3</sup> и СУВf = 20 % по весу Или общий уровень СЗВ = 25% от исходного - которого можно добиться за счет применения следующих мер	
	Переход на краски на водной основе (содержание растворителя 5 % по весу)	50 г/кг готового к использованию продукта (эффективность уменьшения выбросов~ 94%) [6]
	Продукты на основе растворителя и обработка выбросов дымовых газов за счет окисления	Эффективность уменьшения выбросов ~ 76% [5]
	60% продуктов с отсутствием растворителей и обработка выбросов дымовых газов для оставшихся 40%	80 г/кг готового к использованию продукта (эффективность уменьшения выбросов~ 90%) [6]

<sup>a4</sup>Использование исходного уровня выбросов, определенного в приложении IIb к Директиве по уменьшению выбросов [4]

#### 7.32.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Подробные методики, разработанные для оценки затрат, приведены в кратком обзоре EGTEI, касающемся "офсетной печати с термоотверждением" [6], "упаковки" [7] и "глубокой печати" [8].

**Внимание:** указанные документы подвержены изменениям при наличии обновленных данных.

Для *офсетной печати с термоотверждением* расходы на уменьшение выбросов при внедрении любой окислительной установки находятся в пределах от 1 до 5 тыс. € в зависимости от размера установки.

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NOx, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

Для *упаковочной промышленности* расходы на уменьшение выбросов в значительной степени зависят от размера установки: для небольших установок эксплуатация установки окисления потребует затрат примерно в 22 тыс.€/т уменьшенных выбросов летучих органических углеродов неметанового ряда по сравнению со значением менее 1 тыс. €/т летучих органических углеродов неметанового ряда для самых крупных установок. Для всех типов установок в случае, когда использование красок на водной основе технически целесообразно, при этом расходы составят приблизительно 0,15 тыс. €/т уменьшенных выбросов летучих органических углеродов неметанового ряда. Последний вариант, являющийся технически и экономически целесообразным только для крупных установок, предусматривает применение адсорбции активированным углем, в результате чего расходы по уменьшению выбросов находятся на уровне менее 1 тыс.€/т летучих органических углеродов неметанового ряда.

Для *глубокой печати* расходы по уменьшению выбросов за счет адсорбции активированным углем составляют ориентировочно 1 тыс. €. Расходы по уменьшению выбросов снижаются вследствие возможности повторно использовать большие количества толуола.

### **7.32.5 Развивающиеся технологии**

Вероятно, что в будущем будет разработана технология флексографической печати с УФ-отверждением для использования в иных целях, помимо упаковок для напитков [3].

### **7.32.6 Список литературы, использованной в главе 7.32**

[1] P. VERSPOOR for INTERGRAF - Communications for EGTEI and NASA - 2002 to 2004

[2] J. BERNARD for ERA. - 2003

[3] STS BREF - August 2007

[4] Directive 1999/13/EC of 11 March 1999. on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations

[5] Task Force on the Assessment of Abatement Options/Techniques for летучих органических соединений from Stationary Sources- 1999

[6] EGTEI synopsis sheets: Heatset offset - 2005

[7] EGTEI synopsis sheets: Packaging - 2005

[8] EGTEI synopsis sheets: Publication gravure - 2005

[9] Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc- EGTEI - 02/2009

[10] Comments from Intergraf-25/03/2009 and 25/05/2009





### **7.33 Обработка резины**

#### **7.33.1 Объем рассматриваемой информации**

В данном секторе рассмотрено производство шин, а также других резиновых изделий. Клейкие вещества, используемые при производстве некоторых резиновых изделий, рассмотрены в разделе, касающемся адгезивных покрытий. Технологии уменьшения выбросов отличаются от приведенных далее.

#### **7.33.2 Источники выбросов**

Резиновые изделия производят с использованием разнообразных материалов. К основным технологическим этапам относятся:

- Смешивание;
- Выдавливание;
- Каландрирование;
- Формование;
- Отверждение (вулканизация).

При обработке натурального или синтетического каучука органические растворители, в основном, используют для повышения клейкости.

#### **7.33.3 Имеющиеся технологии, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

На данный момент справочные документы по наилучшим доступным технологиям при производстве шин и резиновых изделий отсутствуют. В существующих документах описано "Производство полимеров", не входящее в объем сектора "обработки резины" [4].

В данном секторе выбросы летучих органических соединений уменьшают за счет первичных или вторичных мер, но, в общем случае, не за счет сочетания 2 подходов. В большинстве случаев, уменьшения выбросов можно добиться за счет перехода на продукты с низким содержанием растворителей или без них. При отсутствии технологий допускается осуществление обработки отработанного газа. Факторы, воздействующие на сопутствующие выбросы, выведены на основе документа EGTEI по производству шин [1], а также исследования от 1999 г. по производству резиновых изделий [2]. Учитывая большое разнообразие видов установок и производимых ими продуктов и тот факт, что для данного сектора СНДТ не разработано, достижимые уровни выбросов, указанные в таблице 1, являются ориентировочными и должны рассматриваться в качестве средних значений.

**Таблица 1: Источники выбросов и избранные меры регулирования выбросов летучих органических соединений с сопутствующими уровнями выбросов при производстве изделий из натурального или синтетического каучука**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни выбросов летучих органических соединений [Определены для следующего периода осреднения: ежегодно для общего уровня СЗВ]
<b>Производство резиновых изделий</b>		
Завод с потреблением растворителя > 15 тонн/год	Частичный переход с веществ на основе растворителей на вещества и системы очистки на водной основе  или обработка отработанного газа, например, окисление	1 кг/т производимой резины [2]
<b>Производство шин</b>		
Все заводы	<b>Новые процессы</b> (например: использование клейкой резиновой ленты - новый тип форматора, относящийся к экструдерам - Экструзия по новой технологии).  Использование клеящих веществ с содержанием растворителя 25 %, а также покрытий, красок и очистителей (содержание растворителя 90 % по весу)  или окисление, если уменьшение потребления растворителя неприменимо	2,5 кг/т шин [1] <sup>(1)</sup>

(1) Уровень выбросов летучих органических соединений в 2,5 кг /т шин взят из справочного документа EGTEI по производству шин [1]. Он возникает в результате уменьшения в 75% по сравнению со среднестатистической ситуацией неизмененных выбросов (к которой также относятся заводы, где уже были применены меры по уменьшению выбросов)

### 7.33.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Затраты определены в кратком обзоре EGTEI, касающемся "производства шин" [1].

При производстве шин определенная величина затрат на уменьшение выбросов для средней установки находится в пределах от 0,14 до 1 тыс. €/тонн уменьшенных выбросов летучих органических соединений в соответствии с применяемой технологией (т.е. уменьшение потребления растворителя или термическое окисление). В большинстве случаев, вторичные меры применяют только тогда, когда первичные меры технически неприменимы.

**Внимание:** указанный документ подвержен изменениям при наличии обновленных данных.

### 7.33.5 Развивающиеся технологии

Данные отсутствуют.

### 7.33.6 Список литературы, использованной в главе 7.33

[1] EGTEI synopsis sheet: Tyre production - 2005

[2] Task Force on the Assessment of Abatement Options/Techniques for VOC from Stationary Sources- 1999

[3] Comments from ETRMA - March/April 2009

## 7.34 Химическая чистка

### 7.34.1 Объем рассматриваемой информации

К данному сектору относятся химическая чистка текстиля, кожи и мехов. Химическая очистка предусматривает очистку ткани органическими растворителями.

### 7.34.2 Источники выбросов

При химической очистке в настоящее время, в основном, используют такие растворители, как перхлорэтилен и легкие углеводороды (легковоспламеняемые). Помимо того, применяют углеводороды с более высокой точкой воспламенения. В Германии, где указанные растворители используют при химической чистке, к их применению предъявляются следующие требования [6]: температура закипания от 180 до 210 °С, точка воспламенения выше 55°С. Они менее летучи, чем перхлорэтилен. Следовательно, цикл сушки при этом удлиняется. Величина Kb у них ниже, чем у перхлорэтилена, следовательно, они менее эффективны по сравнению с перхлорэтиленом для некоторых типов удаляемых продуктов (каури-бутанольное число (Kb) используют для определения очистительной способности растворителя, чем выше Kb, тем более активен растворитель).

Значительные выбросы летучих органических соединений из растворителей в машинах химической очистки можно подразделить на две категории:

- Сброс паров, включая выпуск воздуха из производственных машин, сброс воздуха из резервуаров хранения при заполнении, утечках, а также растворитель, временно остающийся на очищенной одежде;
- Остатки, оставленные снаружи.

В настоящее время появляются некоторые другие типы органических растворителей. Одним из них является Siloxane D<sub>5</sub> CAS 541-02-6, жидкий силикон. Его давление паров при 20°С составляет 0,03 кПа. Хотя данный продукт достаточно интересен, он небезопасен для здоровья человека в соответствии с исследованиями, проведенными в США и Дании [4] и [5]. Использование жидкости все еще незначительно, но постепенно возрастает [8]. Для замены любых растворителей, используемых в настоящее время при химической очистке, следует уделять особое внимание классификации растворителей (см. главу 5.1).

В настоящее время существуют 4 типа эксплуатируемых машин химической очистки [1]:

Машина типа I: данный тип машины снабжен только блоком с водяным охлаждением, конденсирующим растворитель при температуре 20-30°С. После водяного охлаждения насыщенный растворителем воздух сбрасывают без очистки с помощью фильтра с активированным углем. Выбросы в атмосферу составляют примерно 105 г растворителя/кг текстиля. Потребление растворителя составляет приблизительно 110 г растворителя/кг текстиля.

Машина типа II: данный тип машин оснащен блоком искусственного охлаждения, конденсирующим перхлорэтилен при температуре -20°С. Отработанный воздух проходит через фильтр с активированным углем перед сбросом. Выбросы в атмосферу составляют примерно 45 г растворителя/кг текстиля. Потребление растворителя составляет приблизительно 50 г растворителя/кг текстиля.

Машина типа III: данный тип машин представляет собой закрытую машину с замкнутым циклом сушки, в ходе которого воздух сушки подвергается рециркуляции в блоке искусственного охлаждения. При этом не происходит выброса отработанного воздуха. Предполагаемый объем выбросов в атмосферу составляет приблизительно 20 г растворителя/кг текстиля, а диапазон значений выбросов от 20 до 40 г растворителя/кг текстиля. Потребление растворителя составляет приблизительно 25 г растворителя/кг текстиля.

Машина типа IV: данный тип полностью закрытый с замкнутым циклом сушки, аналогично типу III. В данном случае, поток воздуха для циклов сушки циркулирует в блоке искусственного охлаждения и проходит через активированный уголь до тех пор, пока концентрация растворителя во вращающейся камере не станет меньше 2 мг/м<sup>3</sup>. Растворитель с этапа адсорбции при работе адсорбера на активированном угле возвращается в машину. Предполагаемые выбросы в атмосферу составляют примерно 5 г растворителя/кг текстиля. Потребление растворителя составляет приблизительно 10 г растворителя/кг текстиля.

### 7.34.3 Имеющиеся технологии, сопутствующие уровни выбросов

#### **Мокрая очистка**

Применяемая в большинстве случаев первичная мера с высоким потенциалом уменьшения выбросов состоит в переходе на процесс мокрой очистки с помощью воды

При мокрой очистке вода используется для очистки одежды, которую обычно подвергают химической очистке. Используется специальная моющая присадка и определение параметров специально для мокрой очистки. Оба продукта автоматически добавляются в машину в количестве, установленном посредством конкретных цикловых программ. Моющая присадка представляет собой сочетание активных моющих веществ, гликолевого эфира, противоусадочных веществ и спирта, растворенных в воде. Время от времени используют крахмал и другие пятновыводители, некоторые из которых могут содержать опасные химикаты. Мокрую очистку выполняют в ходе компьютеризированной очистки и в машинах химической очистки. Основным воздействием на другие среды является загрязнение воды. Количество может быть меньше, чем при химической чистке с применением растворителей, поскольку возможно выцветание ткани. Следует учитывать ограничения для кожи и ткани.

#### **Машины химической очистки нового поколения**

За счет применения машин замкнутого цикла нового поколения (оснащенных конденсатором и фильтром с активированным углем), например, машины типа IV, описанные выше, выбросы летучих органических соединений можно уменьшить на 95% по сравнению с машинами открытого цикла. Стандартные машины замкнутого цикла с фильтрами с активированным углем могут уменьшить выбросы лишь на 80%.

**Таблица 1: Источники выбросов и избранные имеющиеся технологии с сопутствующими уровнями выбросов**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Имеющиеся технологии, сопутствующие уровни выбросов для летучих органических соединений
Машина открытого цикла и стандартные машины закрытого цикла (машины от типа I до типа III) Используемые растворители: перхлорэтилен или углеводороды	Переход на процессы мокрой очистки с применением воды	0 г/кг очищенного текстиля
	Переход на машины новейшего типа IV (машина закрытого цикла с искусственным охлаждением и активированным углем)	5 г/кг очищенного текстиля

### 7.34.4 Развивающиеся технологии

#### **Очистка жидким CO<sub>2</sub>**

Машины очистки жидким CO<sub>2</sub> уже существуют, но недостаточно широко распространены. Как и при стандартных процессах машины очистки жидким CO<sub>2</sub> снабжены камерой очистки, циркуляционным контуром, системой фильтрации, уловителем волокон, установкой дистилляции и накопителем. Оборудование и химический состав специально разработаны для того, чтобы выдерживать давление и взаимодействовать с двуокисью углерода. Не требуется сушка одежды после очистки. Благодаря низкой вязкости жидкий CO<sub>2</sub> обеспечивает легкую очистку одежды. Его характеристики сравнимы с перхлорэтиленом. Небольшая разница в очищающей способности наблюдается в случае с загрязненным моторным маслом и помадой. Тем не менее, пятна такого типа можно обработать до или после очистки для полного удаления пятен [6].

#### **Стиральные машины, не использующие воду**

Процесс основан на использовании пластмассовых гранул, которые смешивают с одеждой для удаления пятен. Водопотребление в 100 мл/кг одежды очень невелико по сравнению с традиционными машинами мокрой очистки [8].

### 7.34.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Затраты определены в справочном документе EGTEI, касающемся химической очистки [3]. Капитальные затраты на машины замкнутого цикла последнего поколения примерно на 25% превышают расходы на стандартные машины замкнутого цикла.

#### **7.34.6 Список литературы, использованной в главе 7.34**

- [1] Institute for health and consumer protection European Chemical Bureau. Risk assessment report for tetrachloroethylene. Final report 2005 - EUR 21680 EN
- [2] Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations
- [3] EGTEI background document: Dry cleaning - 2005
- [4] Siloxanes in the Nordic Environment, TemaNord 2005 : 593 Nordic Council of Ministers, Copenhagen 2005 - ISBN 92-893-1268-8
- [5] EPA study on siloxanes
- [6] INERIS - rapport d'etude ERSA 05 9 - Note sur les produits de substitution du perchloroethylene.
- [7] Birgit Mahrwald UBA Comments on GD 7-36 dry cleaning version 1
- [8] AEA energy and environment, OKOPOL and BIPRO: Guidance on VOC substitution and reduction for activities covered by the VOC solvent emissions directive - Guidance 11 - Dry cleaning -European commission 2008



## **7.35 Очистка поверхности**

### **7.35.1 Объем рассматриваемой информации**

В данной главе рассмотрены выбросы дымовых газов и неорганизованные выбросы летучих органических соединений в процессах очистки с использованием растворителей, осуществляемые в промышленности. Металлообрабатывающая промышленность является основным потребителем растворителя для очистки, т.е. автомобильная, электронная, сантехническая, авиационная, холодильная промышленность и производство канцелярской оргтехники. Очистку растворителями также используют в таких отраслях промышленности, как печать, химическая промышленность, обработка пластмассы, резины, текстиля, изготовление зеркал, бумажная промышленность, а электроэнергию и растворители используют при окраске. Большинство станций ремонта для дорожных транспортных средств и электронных приспособлений используют очистку растворителями, как минимум, в течение некоторого времени.

### **7.35.2 Источники выбросов**

Очистка поверхности растворителем (часто обозначаемая как обезжиривание растворителем) представляет собой процесс использования органических растворителей для удаления водонерастворимых остатков, таких как смазка, жир, масла, воск, отложения углерода, флюс и деготь с металлических, пластмассовых, стекловолоконных, печатных и других поверхностей.

Используют отдельные типы обезжиривателей для очистки поверхности:

- Органические растворители, галогенированные или негалогенированные,
- Водные растворы с применением щелочей, кислот, силикатов, фосфатов, комплексообразующих и увлажняющих веществ[1],
- Сверхкритический CO<sub>2</sub>,
- Биологические вещества,
- Ультразвуковое обезжиривание.

Органические растворители, используемые при обезжиривании, включают в себя:

- Хлорированные растворители. Они негорючи (без точки воспламенения), но многие из них относятся к классу R40 (перхлорэтилен и дихлорид метана) или R45 (трихлорэтилен),
- Углеводородные растворители или растворители класса A3 (точка воспламенения менее 55°C означает, что данные растворители негорючи при обычном использовании, но могут стать горючими при неконтролируемом применении (у легковоспламеняющихся растворителей точка воспламенения < 55°C)),
- Легковоспламеняемые спирты и кетоны,
- Гидрофторуглероды, гидрофторэфиры, перфторуглероды, используемые в особых случаях очистки, например, электроники, главной сложностью при применении которых является их потенциальное воздействие на стратосферный озон, даже в случае, если их потенциал озонного истощения невелик, а также изменение климата (перфторуглероды и гидрофторуглероды представляют собой газы, создающие парниковый эффект, выбросы которых регулирует Киотский протокол). Гидрофторэфиры включены в четвертый Доклад об оценке IPCC (Межправительственная группа по климатическим изменениям) (AR4) [5].

Очистку растворителями чаще всего используют в случае, когда необходимо высушить металлическую деталь после обезжиривания. Перечисленные далее параметры оказывают значительное влияние на выбор процесса очистки поверхности:

- Очищаемая среда,
- Удаляемый тип загрязнения,
- Процесс изготовления,
- Требования, обусловленные последующими технологическими шагами.

Методы обезжиривания можно обобщить следующим образом:

Процесс	Тип машины	Используемый продукт для очистки
Холодная очистка	Ручная (например, для шифона)	Спирты Хлорированные растворители
	Машины открытого цикла	
	Машины замкнутого цикла	
Горячая очистка	Машины с открытым верхом	Хлорированные растворители
	Закрытые машины с открытым верхом	
	Машины замкнутого цикла	
	Герметичные машины замкнутого цикла	
	Машины с открытым верхом	Углеводороды
	Закрытые машины с открытым верхом	
	Машины замкнутого цикла	
	Герметичные машины замкнутого цикла	
Очистка водосодержащими веществами	Машина с одним баком,	Щелочи, кислоты, силикаты, фосфаты, комплексообразующие и увлажняющие вещества
	Машины с несколькими баками	
	Машины с сушильными камерами	

Для органических растворителей существуют два типа процессов [1], [2]:

- холодная очистка: устройства холодной очистки, в основном, применяют при техническом обслуживании и производстве. Они представляют собой периодически загружаемые установки для обезжиривания с использованием некипящих растворителей. К работам по холодной очистке относятся распыление, щеточное нанесение, заливка и погружение. При использовании стандартной установки очистки в ходе технического обслуживания грязные детали очищают вручную распылением и погружением в резервуар. После очистки детали либо подвешивают над резервуаром для стекания или помещают на наружной стойке, которая направляет стекающий растворитель обратно в очиститель. Крышка должна быть закрыта все время, когда не происходит обработка деталей в очистителе. Стандартные устройства холодной очистки для процесса изготовления значительно отличаются по своей конструкции, но для всех них предусмотрены два основных типа конструкции резервуара: простая распылительная ванна и ванна для обработки погружением. Из них ванна для обработки погружением обеспечивает более тщательную очистку при погружении, и часто эффективность очистки повышается при перемешивании.
- паровая очистка: паровые очистители являются периодически загружаемыми паровыми обезжиривателями, которые очищают за счет конденсации горячего пара растворителей на более холодных металлических частях. При обезжиривании паром используют галогенированные растворители (обычно перхлорэтилен, трихлорэтилен), поскольку они негорючи, а их пары тяжелее воздуха. Стандартное устройство парового обезжиривания представляет собой сборник с нагревателем, где растворитель нагревается с образованием паров. Очищаемые детали погружают в зону паров, конденсация продолжается до тех пор, пока они не нагреваются до температуры пара. Остатки жидкого растворителя на деталях быстро испаряются, поскольку их медленно выводят из зоны паров. Очищающее действие часто повышается за счет распыления на детали растворителя ниже уровня паров, или за счет погружения их в ванну жидкого растворителя. Практически все устройства парового обезжиривания оснащены водоотделителем, который обеспечивает возврат растворителя в устройство обезжиривания.

Для устройств холодной очистки испарение в ванне можно регулировать за счет регулярного укрывания ванны, создания соответствующего свободного запаса, а также за счет предотвращения чрезмерного понижения уровня в заводских условиях.

Для паровых систем с открытым верхом большинство выбросов объясняется рассеиванием и конвекцией, которые можно уменьшить, обеспечив укрытие ванны вручную или автоматически, распылением ниже уровня паров, оптимизацией рабочей нагрузки, или использованием холодильных установок со свободным запасом (которые, в случае с крупными установками, можно заменить устройствами адсорбции активированным углем).

Паровую очистку можно осуществлять в герметичных машинах с замкнутым контуром.

#### Герметичные машины

Указанные типы машин предотвращают непосредственный контакт между растворителем и атмосферой за счет ряда блокировок, а также использования системы экстракции паров и/или системы охлаждения, возвращающей пар обратно в сборник растворителя. Это обеспечивает очень высокий уровень сдерживания выбросов растворителя и уменьшает неорганизованные выбросы. Рассматриваемые машины могут работать либо с хлорированными растворителями, либо с другими типами растворителей, такими как



углеводороды, гидрофторуглероды или гидрофторэфиры класса А3. В качестве варианта можно рассмотреть эксплуатацию устройства полной очистки в условиях вакуума. Это обеспечивает дистилляцию при более низких температурах и обеспечивает постоянный контроль за выбросами паров [3].

### **Водные системы очистки**

Данная технология подразумевает использование воды, моющей присадки и небольшого количества растворителей, и, очевидно, обеспечивает надлежащую эффективность очистки для конкретных вариантов применения. Помимо ванн кислотной очистки, щелочи, от крепких до слабых, а также нейтральные продукты, используют для промышленной очистки твердых поверхностей. Нейтральные очистители, в основном, применяют для промежуточной и окончательной очистки, в то время как крепкие щелочные продукты предназначены для обеспечения крайне тщательной очистки поверхностей перед их облагораживанием, фосфатирование или нанесение покрытия. Кислотные продукты используют в особых случаях. Очищающие вещества на водной основе можно использовать для очистки металлов, например, стали, алюминия, магния, меди и т.д., но также для пластмассы, поверхностей с покрытием, стеклянных и электронных деталей. По большей части, при промышленной очистке поверхности применяют системы на водной основе, которые в некоторой степени обеспечивают лучшие результаты очистки, чем эксплуатируемые ранее системы на основе растворителей. Данный эффект оказывает особое влияние на дальнейшую обработку основы, например, покрытия. К двум основным технологиям, используемым в водных системах очистки, относятся погружение (системы с небольшими резервуарами и системы с несколькими резервуарами) и обрызгивание (небольшие машины, работающие совместно с машинами с сушильными камерами).

### **Процесс биологической очистки**

Данная технология основана на использовании очистителя на водной основе в сочетании с комплексными микробиологическими препаратами для расщепления масел и смазочных материалов. Раствор для очистки на водной основе является слегка щелочным и обеспечивает обезжиривание для широкого диапазона металлов (например, медь, железо, алюминий, цинк). Используемые микроорганизмы представляют собой природные компоненты, условия их жизни оптимизированы и постоянно контролируются компьютерной системой для поддержания определяющих параметров среды в оптимальном состоянии. Чтобы не подвергать опасности микроорганизмы, температуру очистки поддерживают на уровне от 40 до 45°C (но в некоторых системах возможно ее понижение до 35°C), а величина рН должна оставаться в пределах около 9. Очиститель регенерируют посредством механизма автоматического дозирования. По сравнению со стандартными процессами обезжиривания, количество полученных сточных вод в данном случае значительно меньше. Некоторые вещества могут повреждать микроорганизмы, или, в худшем случае, уничтожать их; к указанным веществам относятся хлорированные продукты, данные по расщеплению которых на данный момент отсутствуют. Основными вариантами применения являются обезжиривающий аппарат для профилактической холодной очистки.

### **7.35.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

К общеиспользуемым вариантам уменьшения выбросов в данном секторе относятся [1]:

- Минимизация количества смазочных материалов и масла, выбор масляных смазок или систем, обеспечивающих использование большинства безвредных для окружающей среды систем обезжиривания
- Модификации оборудования:
  - холодная очистка: систематическое использование защитных крышек, уменьшение давления распыления,
  - обезжиривание паров: систематическое использование герметичных машин с замкнутым циклом для обезжиривания паров с помощью хлорированных растворителей, углеводородов или других растворителей, таких как гидрофторэфиры, гидрохлорфторуглероды и перфторуглероды
  - Более высокая величина свободного запаса для уменьшения потерь органических растворителей при использовании ванн для обезжиривания; охлаждение на уровне свободного запаса в случае ванн для обезжиривания при сопутствующей адсорбции активированным углем.
- Замена очистителей на основе растворителя:

Все растворители, например, трихлорэтилен, которые классифицируют как канцерогенные, следует заменить на иные вещества, за исключением случаев их использования в безопасных и герметичных машинах.

  - обезжиривание паров: использование очистителя на водной основе (наряду с применением НДТ для данных процессов [1]),
  - холодная очистка: биологические вещества, использование жирных кислот натуральных или синтетических эфиров [3].
- Регенерация отработанных органических растворителей на месте или во внешней установке регенерации;
- Переход на процессы с использованием низкотемпературной плазмы (при этом все же применяется некоторое количество органического растворителя).

Примеры мероприятий по уменьшению выбросов и характеристики очистки поверхности приведены в таблице 1

Таблица 1: Источники выбросов и избранные меры по регулированию летучих органических соединений с сопутствующими уровнями выбросов при очистке поверхности [2]

Источник выбросов	Имеющиеся технологии	Сопутствующие уровни выбросов летучих органических соединений
Паровая очистка с применением галогенизированных растворителей или углеводородов	Водные системы обезжиривания	0 г/кг используемого растворителя*
	Герметичные машины	Менее 0,1 % используемого растворителя*

\* Сумма I1 представляет собой количество органических растворителей или их количество в закупленных препаратах, используемых в качестве сырья для процесса, за период расчета баланса массы, а I2 - количество органических растворителей или их количество в препаратах, восстановленных и повторно используемых в качестве сырья для процесса. (Повторно используемым растворитель считается каждый раз, когда он используется в ходе осуществления какой-либо операции.)

### 7.35.4 Развивающиеся технологии

#### Сверхкритический CO<sub>2</sub>

Принцип, лежащий в основе данной технологии, предусматривает, что в сверхкритических условиях (за пределами 75 бар и 35°C) вещество, представляющее собой промежуточный этап между жидкостью и газом, CO<sub>2</sub> приобретает свойства растворителя, преимуществом чего является подстройка под изменение температуры и давления. Указанный чистый растворитель легко улавливается за счет повторного прохождения газовой фазы в конце цикла. Тем не менее, его очищающая способность ограничена: он достаточно хорошо действует на неполярные продукты, но менее эффективен для полярных. Преодолеть указанный недостаток можно за счет добавления нескольких процентов вспомогательного растворителя или за счет осуществления ультразвукового механического воздействия.

#### Плазменное обезжиривание

Данная технология уже применяется в отдельных производственных секторах и может использоваться для большого количества разнообразных основ, обеспечивая, до некоторой степени, даже лучший результат очистки, чем применяемые ранее системы на основе растворителей. Указанный результат в особенности касается дальнейшей обработки основы, например, покрытия отдельных видов пластмассы красками на водной основе. Таким образом, в некоторых случаях можно добиться двойного уменьшения выбросов. В ходе процесса плазменного обезжиривания очистка поверхности осуществляется при температуре менее 100°C и давлении от 0,1 до 2,10<sup>-3</sup> гПа. Вакуумную камеру наполняют технологическим газом, например, благородными газами (такими как аргон, гелий), фторсодержащими газами (например, тетрафторметан) или кислородом. Электрическое поле передает энергию в систему, приводя к ионизации частиц газа. В качестве технологического газа чаще всего используют кислород. Радикалы, появляющиеся при возбуждении, разрывают углеводородные цепочки и окисляют их, образуя двуокись углерода и воду. Очищающее действие плазмы основано на описанной химической реакции. Органические загрязнения можно удалить за счет применения данного процесса обезжиривания, но плазменная технология не адаптирована для неорганических загрязнений, например, стружка, минеральная пыль или соли.

### 7.35.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Затраты определены в кратком обзоре EGTEI, касающемся "очистки поверхности" [2]. Затраты находятся в пределах от 0,4 до 56 €/кг уменьшенных выбросов летучих органических соединений для самых маленьких установок и от - 0,3 до 2,97 €/кг летучих органических соединений - для самых крупных.

### **7.35.6 Список литературы, использованной в главе 7.35**

[1] European commission BREF for the surface treatment of metals and plastics -August 2006 [2] EGTEI synopsis sheet: Surface cleaning - 2005 <http://www.citepa.org/forums/egtei/27-Synopsis-sheet-surface%20cleaning-30-09-05.pdf>

[3] Biosolvants - Enjeux et opportunités - 27 mai 2008 - ADEME

[4] AEA energy and environment, OKOPOL and BIPRO: Guidance on VOC substitution and reduction for activities covered by the VOC solvent emissions directive - Guidance 4/5 - Surface cleaning -European commission 2008

[5] A compilation of technical information on the new GHG gases and groups included in the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/items/4624.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/items/4624.php)



## **7.36 Экстракция растительного и животного жира и очистка растительного масла**

### **7.36.1 Объем рассматриваемой информации**

Рассматриваемые операции относятся к экстракции растительного и животного жира и очистке растительного масла. Их определяют следующим образом [1]: Любые операции по получению растительного масла из семян и других растительных веществ, обработка сухих остатков для получения корма для животных, очищение жиров и растительных масел из семян, веществ растительного или животного происхождения.

Тем не менее, в настоящее время, ввиду распространения синдрома коровьего бешенства, экстракция растворителем животного жира мертвых коров и других животных с целью производства корма для животных больше не осуществляется согласно документу [4]. Следовательно, в данной главе рассмотрена только экстракция растительного масла.

### **7.36.2 Источники выбросов**

Производство неочищенного растительного масла из семян масличных культур (например, соевые бобы, семена подсолнечника или рапса) представляет собой двухступенчатый процесс:

- Первый технологический этап предусматривает очистку, подготовку (т.е. сушку) и, в отдельных случаях, лущение, вальцевание и кондиционирование, а также отжим семян масличных культур. Отжим проходит в один или два этапа, в результате получают неочищенное масло и жмых. Бобы (с содержанием масла 20% или меньше) не подвергаются отжиму вследствие более низкого содержания жира, но проходят непосредственную экстракцию после очистки и подготовки.
- Второй технологический этап предусматривает экстракцию масла из жмыха или бобов после вальцевания с помощью гексана, используемого в качестве растворителя. Экстракция происходит в установке для удаления растворителя с противотоком за счет острого или глухого пара.

Смесь гексана и масла, обозначаемая как мисцелла, затем обрабатывают в ходе процесса дистилляции для отделения гексана от растительного масла. Растворитель повторно используют в процессе экстракции. Выполняется дальнейшая очистка масла, чтобы сделать его пригодным для потребления.

Гексан, остающийся в жмыхе, извлекают в процессе отгонки. Данный процесс удаления растворителя также уменьшает активность энзимов и микроорганизмов в корме.

Корм сушат и охлаждают воздухом с последующим хранением на складах или погрузкой.

Очистка заключается в выполнении нескольких операций, которые могут быть либо физическими, либо химическими. Стандартная химическая очистка включает в себя рафинирование гидратацией для удаления фосфолипидов, нейтрализацию для удаления свободных жирных кислот, а также обесцвечивание и дезодорирование.

Выбросы летучих органических соединений возникают в ходе процесса экстракции масла. В данном случае присутствуют также неорганизованные выбросы и выбросы дымовых газов. Процесс очистки не является основным источником выбросов летучих органических соединений, хотя следует помнить, что они возникают на этапе нейтрализации и дезодорирования. Выбросы пыли возникают при сушке корма, очищенного от растворителей и подсушенного. Избытки жидкости удаляют нагретым воздухом и, впоследствии, охлажденным воздухом. Отработанный воздух содержит пыль [3].

### **7.36.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

Для экстракции растительного масла и его очистки существуют несколько вариантов уменьшения выбросов летучих органических соединений.

При определении наиболее значительных объемов выбросов следует различать периодические и непрерывные процессы, в ходе последних возникают более значительные выбросы. За счет применения так называемой установки для удаления растворителя-сушки-охлаждения Шумахера в секторе экстракции пищевого и непищевого масла выбросы летучих органических соединений можно значительно увеличить.

Для уменьшения выбросов можно использовать несколько технологий [2], к которым относятся:

**Оптимизация процесса:** установка для удаления растворителя (УУР), работающая по принципу противотока и позволяющая свести к минимуму потери растворителя и потребление пара, тепловая интеграция паров УУР с дистилляцией мисцеллы в процессе экстракции способствующая оптимизации энергопотребления, система очистки минерального масла для уменьшения выбросов летучих органических соединений и ребойлер, сводящий к минимуму потери растворителя.

**Использование вторичных мер за счет конденсации/физического разделения/дистилляции:** гексан и пар, поступающий в ходе удаления растворителя/подсушивания корма, при дистилляции мисцеллы (неочищенное растительное масло и гексан), из ребойлера и из отгоночной колонны системы минерального масла, проходят через систему конденсации. Сконденсированные пары (конденсат гексана-воды) поступают в водо-гексановый сепаратор, где нерастворившийся гексан удаляют посредством гравитационного фазового расслоения. Гексан циркулирует в замкнутом цикле, направляясь в процесс экстракции. Остаток растворителей в водной фазе водно-гексанового сепаратора подвергается отгонке в так называемом ребойлере. Появляющиеся в этом случае пары гексана/воды из ребойлера конденсируются совместно с парами с этапа дистилляции.

По завершении процесса кипения вода, практически полностью очищенная от гексана, поступает в систему обработки сточных вод. Указанная технология также обеспечивает взрывобезопасность данной системы, следующей в технологической цепочке.

**Использование вторичных мер за счет абсорбции/десорбции**

Компоненты, не конденсируемые в конденсаторе, проходят дальнейшую обработку с применением технологии абсорбции, так называемой системы очистки минерального масла, где происходит абсорбция остатков гексана. Система минерального масла состоит из абсорбционной колонны, где происходит абсорбция гексана холодным минеральным маслом пищевой кондиции. Затем происходит улавливание гексана за счет отгонки паром минерального масла, насыщенного гексаном, в отгоночной колонне. Минеральное масло после отгонки охлаждается и повторно используется в абсорбционной колонне.

Окончательные выбросы из системы минерального масла состоят из неконденсирующихся веществ со следами гексана.

Гексан и пары из отгоночной колонны минерального масла конденсируются в системе конденсации. Водно-гексановый конденсат затем поступает в водно-гексановый сепаратор (см. выше). Общий восстановленный гексан повторно используется в процессе экстракции.

Из соображений безопасности пыль удаляют циклонами. Использование тканевых фильтров и электрофильтров увеличивает пожароопасность и не может быть рекомендовано.

Следовательно, НДТ для данного сектора предусматривает следующее [3]:

- Использование установки для удаления растворителя с противотоком (например, установки Шумахера)
- Использование пара, получаемого в установке для удаления растворителя на первой ступени предварительного испарителя для дистилляции мисцеллы,
- Использование водоструйных насосов для создания дополнительного вакуума для сушки, дегазирования масла или сведения к минимуму его окисления,
- Использование очистителя минерального масла для улавливания гексана из неконденсируемых паров при удалении растворителя из корма, дистилляции мисцеллы, из ребойлера и из отгоночной колонны системы минерального масла,
- Использование циклонов для уменьшения выбросов влажной пыли при экстракции растительного масла для получения уровня выбросов влажной пыли менее 50 мг/Нм<sup>3</sup>,
- Лучший контроль отклонений от нормальных эксплуатационных условий и предотвращение запусков и остановов [2] (это, тем не менее, зависит от количества различных типов семян для обработки в течение года, и становится гораздо более сложным в случае, если эта цифра высока).

[Достижимые уровни выбросов определены в справочном документе EGTEI при условии использования биофильтрации. Тем не менее, в соответствии с документом FEDIOL, биофильтрация нецелесообразна вследствие крайне ограниченной водорастворимости гексана. Достижимый уровень выбросов, заданный в предыдущем руководящем документе III согласно Гетеборгскому протоколу, также изменен в соответствии с данными, приведенными в справочном документе EGTEI [2]].

**Таблица 1: Меры регулирования сопутствующих выбросов летучих органических соединений для экстракции минерального масла**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ [Определены для следующего периода осреднения: ежегодно для общего уровня СЗВ]
Экстракция масла из семян, постоянный процесс для семян рапса, подсолнечника и соевых бобов.	Оптимизация процесса и применение установки для удаления растворителя-сушки-охлаждения с применением противотока, а также конденсация с последующей абсорбцией (система очистки минерального масла), другие описанные выше технологии	0,5 г/кг обработанных семян [2]
Экстракция масла из других семян, например, сафлора, горчицы, хлопка и веществ растительного происхождения		3 г/кг обработанных семян [как в [3]]
Экстракция масла из семян при периодическом процессе		4,0 г/кг обработанных семян
Все процессы разделения на фракции: за исключением рафинирования гидратацией: Рафинирование гидратацией:		1,5 г/кг обработанных семян 4,0 г/кг обработанных семян [как в [3]]

#### 7.36.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Затраты определены в документах EGTEI [2]. Расходы на уменьшение выбросов отрицательные, поскольку капиталовложения способствуют снижению потребления гексана.

**Внимание:** указанные документы подвержены изменениям при наличии обновленных данных.

#### 7.36.5 Развивающиеся технологии

Данные отсутствуют.

#### 7.36.6 Список литературы, использованной в главе 7.36

[1] Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations

[2] EGTEI background document/synopsis sheet: Fat edible and non-edible oil extraction - 2003/2005

[3] European Commission - reference document on BAT for the food, drink and milk industries August 2006

[4] M. GESLIN from National federation of fat compounds (Federation Nationale des Corps Gras) -Information to CITEPA - September 2008





## 7.37 Повторная окраска транспортных средств

### 7.37.1 Объем рассматриваемой информации

В данном секторе рассмотрено нанесение покрытия на дорожные транспортные средства, или некоторых из них, проводимые в рамках ремонта транспортных средств, их покрытия защитными смазками или отделки за пределами предприятий обрабатывающей промышленности согласно приложению IX.

Повторная окраска транспортных средств предусматривает действия по нанесению покрытия и очистке поверхности.

### 7.37.2 Источники выбросов

Основными источниками выбросов летучих органических соединений в данном секторе является нанесение краски, операции по сушке, очистка оборудования, а также операции по очистке до нанесения покрытия и между нанесением различных слоев.

### 7.37.3 Имеющиеся технологии, достижимая концентрация растворителя

Уменьшения выбросов можно добиться за счет применения первичных мер, например, надлежащей эксплуатации, использования красок с низким содержанием органических растворителей (включая водные системы), краскопультов низкого давления и устройств их очистки. Вторичные меры, как правило, неприменимы по причинам, связанным с их экономичностью и эффективностью.

Максимальное содержание летучих органических соединений, допустимое согласно Директиве 2004/42/ЕС, определяется категорией продукта в соответствии с приведенной далее таблицей 1.

Таблица 1: Достижимые концентрации растворителей для каждого из типов краски

Подкатегория продукта <sup>1</sup>	Покрyтия	Летучие органические соединения (г/л) <sup>2</sup>
Предварительная подготовка и очистка	Подготовительные	850
	С предварительной очисткой	200
Кузовная шпатлевка/замазка	Все типы	250
Грунтовка	Шпатлевка/замазка и типовая (металл) грунтовка	540
	Протравная грунтовка	780
Верхнее покрытие	Все типы	420
Специальные покрытия	Все типы	840

<sup>1</sup> Подкатегории продукции определены в приложении XI

<sup>2</sup> г/л готового к использованию продукта. За исключением категории "предварительная подготовка и очистка" не требует учета содержания воды в готовом к использованию продукте.

### 7.37.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Расходы на уменьшение выбросов, соответствующие Директиве 2004/42/СЕ, составляют приблизительно 1 400 €/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений. Подробная методика, используемая для оценки данных расходов, определяется в кратком обзоре EGTEI, касающемся "повторной окраски транспортных средств" [1].

**Внимание:** указанный документ подвержен изменениям при наличии обновленных данных.

### 7.37.5 Развивающиеся технологии

Очевидно, возможно дальнейшее уменьшение выбросов.

### **7.37.6 Список литературы, использованной в главе 7.37**

[1] EGTEI synopsis sheet: Vehicle refinishing -2005

[2] Directive 2004/42/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in decorative paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC

## **7.38 Пропитка древесины**

### **7.38.1 Объем рассматриваемой информации**

В данном секторе рассмотрена пропитка древесины в органических консервантах на основе растворителя, креозоте и консервантах на водной основе. Консерванты для древесины могут поставляться как для промышленного, так и для домашнего использования. Только промышленные варианты применения рассмотрены в данном разделе.

### **7.38.2 Источники выбросов**

Консервацию древесины осуществляют для ее защиты от грибков и насекомых, а также от разрушения в атмосферных условиях. Используют различные типы консервантов [1]:

консерванты на основе растворителя: традиционные системы консервации состоят приблизительно из 10% активных ингредиентов и 90% органических растворителей, в качестве которых обычно используется уайт-спирит или другие углеводороды на нефтяной основе. Без осуществления дополнительных мероприятий исходный уровень выбросов летучих органических соединений составляет примерно 19,8 кг/м<sup>3</sup> обрабатываемой древесины,

системы концентрированных пестицидов: это растворы на основе растворителей с высокими концентрациями пестицидов,

консерванты на водной основе: они состоят из растворов солей в воде. наблюдается уменьшение выбросов летучих органических соединений свыше 99% по сравнению с исходной ситуацией,

креозот: это масло, полученное при дистилляции каменноугольной смолы. Приблизительно 10% креозота, используемого для консервации древесины, состоит из летучих органических соединений.

Оценку выбросов можно выполнить на базе количества потребляемых консервантов или количества обрабатываемых лесоматериалов.

Консервант можно наносить в ходе процессов с использованием вакуума, давления, погружением, распылением или с помощью кисти. Процесс с использованием вакуума может слегка варьироваться в зависимости от типа консервирующего вещества. Эффективность применения пестицидов при погружении и нанесении кистью близка к 90%, а при вакуумном нанесении при условии полной герметичности - практически 100%. Эффективность рассеивания гораздо ниже, т.е. в пределах 5-50%.

### **7.38.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

В соответствии с документом STS СНДТ [1] НДТ является использование вакуумной пропитки растворителем на водной основе или с высокой концентрацией пестицидов, или обработка отработанного газа, например активированным углем или при конденсации. 99% уменьшения выбросов можно добиться за счет использования систем на водной основе, а 70% - при применении систем на основе растворителя и обработке отработанного газа (примерно от 15 до 25% растворителя остается в древесине и испаряется в течение всего срока эксплуатации изделия).

Поскольку значительное количество растворителя выделяется после обработки древесины, НДТ является использование растворителей с более низким потенциалом озonoобразования.

Технологии и соответствующие коэффициенты сопутствующих выбросов, приведенные в таблице ниже, взяты из справочного документа EGTEI [2].

**Таблица 1: Источники выбросов и избранные меры регулирования летучих органических соединений с сопутствующими уровнями выбросов для пропитки поверхности древесины**

Источник выбросов	Сочетание мер регулирования	Уровни выбросов летучих органических соединений, ассоциируемые с НДТ [2] [Определены для следующего периода осреднения: ежегодно для общего уровня СЗВ]
Все установки	100% консервантов на основе растворителей система вакуумной пропитки и обработка отработанного газа, например, активированным углем или конденсацией* (также можно рассмотреть адсорбцию элементами с извлечением за пределами площадки или утилизацией)	~ 6 кг/м <sup>3</sup> обрабатываемого дерева
	Оптимизация процесса 100% более концентрированных консервантов на основе растворителей, система вакуумной пропитки	~ 11 кг/м <sup>3</sup> обрабатываемого дерева
	100% консервантов на водной основе, система вакуумной пропитки	~ 0,2 кг/м <sup>3</sup> обрабатываемого дерева

\* В соответствии с STS СНДТ [1] обработка выбросов происходит в крупных установках, в то время как в небольших установках использование очистного оборудования может стать экономически нецелесообразным.

#### 7.38.4 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Расходы и методика определены в документах EGTEI, касающихся "консервации дерева" [2].

Расходы на снижение выбросов при использовании первичных мер варьируются от 0,3 до 0,7 тыс. €/тонну уменьшенных выбросов летучих органических соединений, и в некоторых отдельных случаях становятся даже отрицательными. В случае применения вторичных мер, расходы на снижение выбросов находятся в пределах от 1 до 21 тыс. €/тонну уменьшенных выбросов летучих органических соединений в зависимости от размера установки и используемой технологии.

**Внимание:** указанные документы подвержены изменениям при наличии обновленных данных.

#### 7.38.5 Развивающиеся технологии

Данные отсутствуют.

#### 7.38.6 Список литературы, использованной в главе 7.38

[1] STS BREF - August 2007

[2] EGTEI background document/synopsis sheet: Wood preservation - 2004/2005

## 7.39 Содержание растворителя в продукции 2: Бытовое использование растворителя (кроме красок)

### 7.39.1 Объем рассматриваемой информации

К данной категории источников относится бытовое применение клея, использование автопринадлежностей, очистителей, продукции для ухода за кожей и мебелью, пестицидов, косметики и фармацевтических препаратов.

### 7.39.2 Технологии

Выбросы летучих органических соединений происходят вследствие содержания растворителей в продукции. Считается, что 100% всех используемых растворителей выходят в виде выбросов в атмосферу.

### 7.39.3 Имеющиеся технологии, достижимая концентрация растворителя

Для бытового использования органических растворителей варианты уменьшения выбросов приведены только в части, касающейся замены продукцией с низким содержанием органических соединителей или без них (в основном, продукция на водной основе), неорганическими пропеллентами, уменьшением объема упаковки.

В исследовании VIPRO по определению выбросов летучих органических соединений при использовании продукции [1] приведены сведения по максимальному содержанию летучих органических соединений, которое может стать неизбежным для некоторого списка продуктов. Учитываются 3 типа продуктов: пропелленты, косметические средства (кроме аэрозолей) и клеящие вещества, используемые за пределами установок (которые уже рассмотрены в Директиве 99/13/ЕС [2]). Максимально допустимое содержание летучих органических соединений приведено в таблице далее.

Наиболее важными источниками выбросов при использовании продукции, содержащей летучие органические соединения, в ЕС являются [1]:

- Аэрозоли в косметике (пропелленты) 180 ктон/год
- Растворители в веществах для очистки 110 ктон/год
- Растворители в клеящих веществах 100 ктон/год

**Таблица 1: Максимально допустимое содержание летучих органических соединений для каждого типа бытовых продуктов**

Источник выбросов	Максимально допустимое содержание летучих органических соединений [%]	ПУВ согласно Калифорнийскому Кодексу [1], [3]
<b>Пропелленты</b>		
Лаки для волос	75	55
Дезодоранты	20	10
Антиперспиранты	75	10 (микробные летучие органические соединения), 40 (галогенированные летучие органические соединения)
Очищающие вещества	10	4
<b>Косметика (помимо аэрозолей)</b>		
Средства по уходу за кожей	20	
Шампуни, мыло, средства для ванн	3	
Средства для бритья	3	
Духи	80	75
Дезодоранты	20	10
<b>Клеящие вещества, используемые при строительстве и конструировании</b>		
Наружная обшивка кровли	Не содержит растворитель-	
Изоляция	Не содержит растворитель-	
Потолочная плитка	30	
Фанерные плиты	Не содержит растворитель-	
Напольное покрытие	8 <sup>af</sup>	
<b>Клеящие вещества в деревообрабатывающей промышленности и столярных работах</b>		

Источник выбросов	Максимально допустимое содержание летучих органических соединений [%]	ПУВ согласно Калифорнийскому Кодексу [1], [3]
Древесина	Не содержит растворитель-	
Лакированные поверхности	Без ограничений-	
Кожа, текстиль, войлок	8 <sup>a/</sup>	
Резина, пластмасса, ПВХ	70 <sup>b/</sup>	
Брекерная резина и пена	8 <sup>a/</sup>	
<b>Клеящие вещества для обуви и кожи</b>		
Верхняя часть обуви	10-	
Подошва	55	
Крепление подошвы	Без ограничений	
<b>Клеящие вещества, используемые потребителями, (принцип "сделай сам")</b>		
Древесина	Не содержит растворитель	
Бумага и картон	Не содержит растворитель	
Многофункциональные и контактные клеящие вещества	Без ограничений-	
Материалы для лепки и пластмасса	70 <sup>b/</sup>	

a/ за исключение специализированных вариантов применения

b/ использование альтернативных веществ в зависимости от материала и технических условий

#### 7.39.4 Данные о затратах

Данные отсутствуют.

#### 7.39.5 Развивающиеся технологии

Данные отсутствуют.

#### 7.39.6 Список литературы, использованной в главе 7.39

- [1] Screening study to identify reductions in VOC emissions due to the restrictions in the VOC content of products
- [2] Directive 1999/13/EC of 11 March 1999. on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations
- [3] Regulation for reducing VOC emissions from consumer products, Title 17, California Code of Regulations, Division 3, Chapter 1, Subchapter 8.5, Article 2, Consumer Products, Sections 94507-94517 (dec. 2007).

## **7.40 Производство пива**

### **7.40.1 Объем рассматриваемой информации**

Пивоваренные заводы с производительностью в 300 тонн готового продукта в день рассмотрены в данном разделе по производству пива. В данном документе к сектору производства пива относится этап производства солода, хотя оба указанных технологических этапа осуществляются в разных местах. [1] [2]

### **7.40.2 Источники выбросов**

Злаки, используемые при производстве пива, и некоторые спирты обычно оставляют созревать перед использованием. Данный процесс называется получением солода, в результате него происходит преобразование крахмала в сахара. Пророщенные злаки затем можно поджарить. Продолжительность жарки зависит от типа зерна и типа производимого напитка. Перед ферментацией злаки нередко варят в воде с образованием бражки, которую затем фильтруют с отделением остатков твердых веществ.

Ферментация происходит в больших ферментационных чанах и, как правило, длится от одной до трех недель. Как правило, ферментационные чаны герметично закрыты, обеспечивая рециркуляцию двуокси углерода. У других установок, как правило, меньшего размера, сбросы в атмосферу осуществляются через водоудалитель. [3]

### **7.40.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

Для уменьшения энергопотребления НДТ для пивоваренных заводов предусматривает повторное использование горячей воды после охлаждения бражки, регенерированного тепла после кипячения бражки и конденсированных паров (это также позволяет уменьшить выбросы веществ с неприятным запахом) для предварительного нагрева следующей партии или отработанной воды. Если применимо, улавливание CO<sub>2</sub> следует осуществлять за счет очистки, сжатия, сушки и очистки от газа брожения пива. [1] [2] [4]

#### **7.41.1.1 SO<sub>2</sub>**

В качестве мероприятия по уменьшению выбросов SO<sub>2</sub> рекомендуется использовать имеющиеся на рынке топлива с низким содержанием серы. [5]

Тем не менее, выбросы SO<sub>2</sub> в секторе производства пива не считаются значительными и далее не рассматриваются; информацию по выбросам при производстве энергии можно найти в части, посвященной промышленным котельным установкам.

#### **7.41.1.2 NO<sub>x</sub>**

В качестве мероприятия для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> можно рекомендовать использование горелок с малым выбросом NO<sub>x</sub> и регулярное техническое обслуживание котла. [5]

Тем не менее, данные выбросы в секторе производства пива не считаются значительными и далее не рассматриваются; информацию по выбросам при производстве энергии можно найти в части, посвященной промышленным котельным установкам.

#### **7.41.1.3 Пыль**

При необходимости, для удаления твердых частиц при сбросе воздуха следует использовать циклоны, тканевые фильтры или электрофильтры. [3] [5]

Тем не менее, данные выбросы в секторе производства пива не считаются значительными и далее не рассматриваются; информацию по выбросам при производстве энергии можно найти в части, посвященной небольшим установкам сжигания. [6]

[Примечание Copinair 2006: "Предположительно, данные работы не являются важным источником выбросов TЧ2.5 (по состоянию на декабрь 2006)."]

#### 7.41.1.4 Летучие органические соединения

Производство пива, в основном, является источником выбросов с неприятным запахом. Источником значительного объема выбросов летучих органических соединений могут стать крупные пивоваренные заводы, следует использовать соответствующие технологии уменьшения выбросов веществ с неприятным запахом и летучих органических соединений, а отработанные газы следует повторно использовать, по возможности. Выбросы летучих органических соединений частично регулируют за счет требований по уменьшению выбросов веществ с неприятным запахом, а также можно снизить при использовании замкнутого цикла эксплуатации, например, рециркуляции CO<sub>2</sub>. Если осуществляется конденсация отработанного газа из варочного отделения и улавливание газа при ферментации, отсутствует необходимость в дальнейшем уменьшении выбросов, например, биофильтрации. В ином случае, биофильтрация является крайне полезной мерой регулирования, и, в особенности, пригодна для низких концентраций летучих органических углеродов неметанового ряда в отработанном воздухе и выбросов веществ с неприятным запахом. Биофильтры уменьшают запах и выбросы летучих органических соединений за счет абсорбции загрязнителей материалом фильтра и их разложения микроорганизмами, находящимися на фильтрационном материале. Они применимы для широкого диапазона воздушных потоков (дол >100000 м<sup>3</sup>/ч), но температура воздуха не должна превышать 40°С. Капиталовложения и эксплуатационные расходы при биофильтрации в данном случае ниже, чем при использовании стандартных технологий регулирования (например, адсорбция активированным углем). В ином случае, органические компоненты с неприятным запахом можно удалять за счет конденсирования паров из варочных котлов в сочетании с регенерацией энергии.

Выбросы летучих органических соединений, возникающие на определенных технологических этапах, можно снизить за счет применения таких технологий регулирования, как конденсация, адсорбция активированным углем или сжигание. Избранные применимые меры по регулированию выбросов и соответствующие им коэффициенты выбросов для производства пива приведены в Таблице 1. [1][2][4]

**Таблица 1: Уровень выбросов летучих органических соединений, ассоциируемых с НДТ, для производства пива**

Источник выбросов	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, <sup>1</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/тону)	Примечания
Производство пива (производительность > 1 000 м <sup>3</sup> /год)	(0,004) [кг/м <sup>3</sup> пива] [2]	Конденсация отработанного воздуха из варочного цеха и улавливание газа брожения, или биофильтрация выбросов при получении солода из зерна, и улавливание CO <sub>2</sub> при ферментации  [Примечание справочник ЕМЕП/Corinair 2007: 0,035 кг/л пива; в СНДТ не приведено никакого значения]
<sup>1</sup> Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ, основаны на среднесуточных, стандартных условиях, и представляют собой типичную нагрузочную ситуацию. Для периодов пиковых нагрузок, пуска и останова, а также для эксплуатационных неполадок систем очистки дымового газа необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.		

#### 7.41.1.5 Воздействия на другие среды

Для всех упомянутых выше технологий уменьшения выбросов следует учитывать поступление загрязнителей из одной среды в другую, а также полный диапазон воздействия на окружающую среду и положительные воздействия. Например, дополнительное энергопотребление и повышенное количество отходов или сточных вод могут возникнуть в результате самостоятельных усилий по предотвращению загрязнения, уменьшению или полному устранению выбросов.



#### 7.40.4 Развивающиеся технологии

Для данного сектора не ожидается крупных технологических прорывов.

#### 7.40.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

Характеристики эталонной установки	Меры регулирования	Капиталовложения <sup>a/</sup> [евро]	Эксплуатационные расходы <sup>b/</sup> [евро/год]	Уменьшенный массовый поток [Мг летучих органических углеродов неметанового ряда/год]
<b>Производство пива (включая получение солода)</b>				
Крупные пивоваренные заводы; производительность: 150 000 м <sup>3</sup> пива /год; наработка: 4 000 ч/год	улавливание CO <sub>2</sub> при ферментации и биофильтрации выбросов при получении солода из зерна	250 000	32 000	9

VP: Давление паров.

a/ В зависимости, например, от расхода отработанного газа, концентрации летучих органических соединений в отработанном газе, производительности. Если не указано иное, все указанные инвестиции представляют собой дополнительные капиталовложения в случае, если смена технологии происходит в ходе автономного изменения технологии.

b/ В зависимости, например, от расхода отработанного газа, концентрации летучих органических соединений, коэффициента использования тепла.

**Таблица 2: Данные о затратах для биофильтров [1]**

Размер установки (воздушный поток)	Специальные инвестиции	Эксплуатационные расходы
Небольшие (200-500 м <sup>3</sup> /ч)	45-50 €/м <sup>3</sup>	0,225-0,3 €/1000 м <sup>3</sup>
Более крупные установки	до 10-15 €/м <sup>3</sup>	(включая стоимость энергоносителей 0,15-0,225 €/1000 м <sup>3</sup> , рассчитанную на основе стоимости электричества в 0,15 €/кВтч)

#### **7.40.6 Список литературы, использованной в главе 7.40**

- 1 European Commission. 2006: "Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries."  
<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- 2 Old version of the guidance document
- 3 Environmental Protection Agency Ireland. 2006: Draft BAT Guidance Note on Best Available Techniques for the Brewing, Malting & Distilling Sector (Final draft)
- 4 IFC 2007. International Finance Corporation (World Bank Group): Environmental, Health, and Safety Guidelines for Breweries
- 5 The Brewers of Europe 2006: Guidance Note for establishing BAT in the brewing industry
- 6 EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook (Activities 040606-040608), December 2006

## **7.41 Производство диоксида титана**

### **7.41.1 Объем рассматриваемой информации**

Диоксид титана производят в ходе 2 химических процессов: с применением хлоридов и сульфатов. В данной главе рассмотрены оба процесса. Производство диоксида титана, в основном, является источником выбросов диоксида серы и пыли. Следовательно, в данной главе не рассмотрены выбросы NO<sub>x</sub>. [1].

### **7.41.2 Источники выбросов**

При производстве диоксида титана (TiO<sub>2</sub>) чистый порошок TiO<sub>2</sub> получают при растворении TiO<sub>2</sub> из минерального сырья с образованием TiOSO<sub>4</sub>. Его гидролизуют и осаждают для отделения частиц титана от основных загрязнений, а затем кальцинируется для получения чистого продукта.

В процессе получения сульфата серную кислоту используют для гидролиза сырья, содержащего TiO<sub>2</sub>, титанистого железняка (руды с низким содержанием TiO<sub>2</sub>) или синтетического шлама (с более высоким содержанием TiO<sub>2</sub>). Титанистый железняк является натуральным продуктом, а шлаки получают в металлообрабатывающей промышленности. Процесс гидролиза может быть периодическим или непрерывным. Чаще всего используется периодический процесс. Производство в ЕС происходит исключительно на основе данного процесса. Кислота с высокой концентрацией (80 - 95%) необходима для гидролиза титанистого железняка или шлама, содержащего TiO<sub>2</sub>. В ходе экзотермического периодического процесса температура поднимается от 180°C до 210°C. Дымовые газы в процессе гидролиза содержат пыль и SO<sub>2</sub>, требующие обработки.

Твердая корка, получаемая при гидролизе, растворяется в воде с образованием жидкого сульфата титанила (TiOSO<sub>4</sub>). Эту жидкость подвергают гидролизу паром с осаждением гидратированного TiO<sub>2</sub>, который затем отделяют за счет фильтрации и промывают для поглощения ионов металлов.

Отделенный гидратированный диоксид титана кальцинируют во вращающейся печи для преобразования обратно в диоксид титана. Следы остатков серной кислоты выходят в виде выбросов SO<sub>2</sub> и проходят очистку, как правило, с помощью каталитических систем. Чистый диоксид титана затем проходит процесс окончательной обработки, в ходе которой свойства поверхности изменяются за счет добавления покрытий в соответствии с конечной целью применения, например, краски, печатные краски для пластмасс. Процесс окончательной обработки представляет собой типичный мокрый периодический процесс, состоящий из нескольких этапов, включая нанесение покрытий, механическое измельчение и сушку. В ходе данного процесса происходит микроизмельчение до 0,2 - 0,4 мкм, величины, требуемой для получения оптимальных красящих характеристик [1].

В процессе использования хлорида происходит экстракция оксида титана из руды в ходе хлоринации. Руду и кокс загружают в реактор с псевдоожиженным слоем, где происходит экзотермическая реакция с использованием газообразного хлора при 1000°C. При хлоринации образуется тетрахлорид титана (TiCl<sub>4</sub>). Дымовые газы в процессе хлоринации содержат пыль и SO<sub>2</sub>, требующие обработки. SO<sub>2</sub> в основном, получают в присутствии серы в коксе.

TiCl<sub>4</sub> конденсируют и дистиллируют. Затем происходит его предварительный нагрев и окисление с применением предварительно подогретого кислорода и образованием диоксида титана при температуре от 900°C до 2000°C. В конечном итоге, продукты охлаждают, а получившийся порошок TiO<sub>2</sub> направляют на окончательную обработку, которая осуществляется аналогично процедуре, принятой для процесса с использованием сульфата. [1].

### **7.41.3 НДТ, сопутствующие уровни выбросов (СЗВ)**

SO<sub>2</sub>:

- **Процесс с использованием сульфата**

В процессе с использованием сульфата гидролиз серной кислотой является основным источником выбросов SO<sub>2</sub>. Следовательно, необходима очистка дымовых газов из реактора для гидролиза. НДТ для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> в процессе гидролиза является использование очистителя с водяным орошением при использовании в качестве сырья титанистого железняка, или щелочного очистителя, если сырьем является шлам. Процесс кальцинации также является значительным источником выбросов SO<sub>2</sub>, поскольку он происходит во вращающейся печи, работающей на газе или нефти. Уровень выбросов зависит от содержания серы в используемом топливе. Дымовые газы, которые также содержат следы серы из продуктов, улавливают и обеспыливают. НДТ для уменьшения выбросов диоксида серы при кальцинации является улавливание SO<sub>2</sub> и его перегонку на завод серной кислоты. Уловленный SO<sub>2</sub> окисляется до SO<sub>3</sub> с использованием катализатора (сульфофосфорный процесс). Затем происходит поглощение SO<sub>3</sub> с образованием серной кислоты. Серную кислоту затем повторно используют в процессе.

В следующей таблице приведены общие сведения по уровням выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемым с НДТ, для получения диоксида титана с использованием сульфата. [1].

**Таблица 1: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов при производстве диоксида титана с использованием сульфата. [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровень выбросов, ассоциируемых с НДТ (кг/т красящего вещества TiO <sub>2</sub> )
Процесс гидролиза Процесс кальцинации	Система водной или щелочной очистки Восстановление SO <sub>2</sub> с образованием H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	<b>SO<sub>2</sub>:1-6</b>

• **Процесс с использованием хлорида**

В процессе с использованием хлорида хлоринация является основным источником выбросов SO<sub>2</sub>. На уровень выбросов влияет содержание серы в используемом коксе. НДТ является уменьшение выбросов SO<sub>2</sub> в процессе хлоринации, прежде всего, за счет использования кокса с низким содержанием серы в качестве первичной меры и впоследствии применение эффективной системы очистки отходящего газа (допускается использование NaOH) в качестве вторичной меры.

В следующей таблице приведены общие сведения по уровням выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемым с НДТ, для получения диоксида титана с использованием хлорида. [1].

**Таблица 2: Уровни выбросов SO<sub>2</sub>, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов при производстве диоксида титана с использованием хлорида. [1] [6]**

Источник выбросов	Технологии	Уровень выбросов, ассоциируемых с НДТ (кг/т красящего вещества TiO <sub>2</sub> ) <sup>1</sup>
Хлоринация	Кокс с низким содержанием серы Система очистки отходящего газа	<b>SO<sub>2</sub>:1,3-1,7</b>

Выбросы SO<sub>2</sub> зависят от сырья и кокса с низким содержанием серы, который имелся в наличии при составлении СНДТ, но отсутствует в настоящее время [8]

**Пыль:**

При производстве TiO<sub>2</sub> с использованием серы основными источниками выбросов пыли являются процессы предварительной обработки, кальцинация и процессы окончательной обработки.

При производстве TiO<sub>2</sub> с использованием хлорида основными источниками выбросов пыли являются процессы погрузки-выгрузки и обработки сырья, процессы окончательной обработки.

Предварительная и окончательная обработка осуществляются аналогично процессам с использованием сульфатов и хлоридов, следовательно, НДТ идентичны для обоих процессов. Тем не менее, уровни выбросов НДТ при этом отличаются. Уровни выбросов пыли представлены в отдельных таблицах (3 и 4).

НДТ для уменьшения выбросов в процессах предварительной обработки является использование мешочных фильтров при обращении, сушке и механическом измельчении руды.

НДТ для уменьшения выбросов в процессе окончательной обработки является использование мешочных фильтров.

НДТ для уменьшения выбросов в процессе кальцинации является применение электрофильтров для удаления пыли. Он позволяет уменьшить выбросы пыли, а также избежать взаимодействия частиц пыли и катализатора при окислении SO<sub>2</sub>.

Пыль, уловленная в ходе различных процессов, можно повторно использовать в процессе.

В таблице ниже приведены общие сведения по уровням выбросов пыли, ассоциируемым с НДТ, для производства диоксида титана.

**Таблица 3: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов при производстве диоксида титана с использованием сульфата. [1] [5]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов, ассоциируемые с НДТ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Процессы предварительной обработки Процесс кальцинации Окончательная обработка (механическое измельчение, микронизация)	Мешочные фильтры ЭФ или система очистки Циклоны / тканевые фильтры Матерчатые фильтры	<b>пыль: 5-20</b> (0,004 - 0,45 кг/т TiO <sub>2</sub> )

**Таблица 4: Уровни выбросов пыли, ассоциируемые с НДТ, для уменьшения выбросов при производстве диоксида титана с использованием хлорида. [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровень выбросов, ассоциируемых с НДТ (кг/т TiO <sub>2</sub> )
Процессы предварительной обработки, окончательная обработка (механическое измельчение, микронизация)	Мешочные фильтры Мешочные фильтры с обратной импульсной очисткой	пыль: 0,1 -0,2

#### 7.41.4 Развивающиеся технологии

На данный момент отсутствуют развивающиеся технологии уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> или пыли при изготовлении диоксида титана. [1]

#### 7.41.5 Данные о затратах для технологий уменьшения выбросов

В таблице далее приведен краткий обзор затрат на технологии уменьшения выбросов SO<sub>2</sub> при производстве диоксида титана.

**Таблица 5: Расходы на технологии обработки газообразных выбросов для регулирования выбросов SO<sub>2</sub> в процессе гидролиза (процесс с использованием сульфата). [1]**

Гидролиз	Шлак	Титанистый железняк
SO <sub>2</sub> (кг/т)	1	0.2
<b>Система очистки</b>		
Капитальные расходы +/- (30%) (евро/т)	85	75
Обработка (евро/т)	10	5

**Таблица 6: Расходы на технологии обработки газообразных выбросов для регулирования выбросов SO<sub>2</sub> в процессе кальцинации (процесс с использованием сульфата). [1]**

Кальцинация	Стандартное содержание катализатора	Высокое содержание катализатора	Очистка
Потребление катализатора (м <sup>3</sup> /т на час подачи TiO <sub>2</sub> )	30-50	70-90	
SO <sub>2</sub> (кг/т)	8	2	1
Пыль (кг/т)	0,4	0,004	0,001
Капитальные расходы <sup>2</sup> +/- (30%) (евро/т)	70	140	170
Обработка (евро/т)	5	10	9

<sup>1</sup> Определение потребления катализатора: Объем катализатора (м<sup>3</sup>) / подача TiO<sub>2</sub> (т/ч)

<sup>2</sup> Определение расходов капитальные затраты на новую установку (ЕВРО) /Ежегодное производство (т)

#### **7.41.6 Список литературы, использованной в главе 7.41**

- [1] Reference document on Best Available Techniques for the manufacture of large volume inorganic chemicals - Solids and others industry. August 2007.
- [2] IER, institut fur Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universitat Stuttgart, 2004.
- [3] Directive 92/112/EEC, ECOJ, 31/12/1992.
- [4] "Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc", EGTEI, 02/2009.
- [5] Comments from Bente Sleire, SFT, 03/2009.
- [6] Comments from Birgit Brahner, UBA Germany, 03/2009.
- [7] EGTEI-State of progress.doc", for WGSR, March 2009.
- [8] Comments from Greg McNulty, Huntsman Pigments, February 2009.

## 7.42 Новые стационарные двигатели

### 7.42.1 Объем рассматриваемой информации

В секторе стационарных двигателей рассматриваются технологии горения для стационарных двигателей, использующих жидкое или газообразное топливо. В данном документе основное внимание уделяется уменьшению выбросов оксида азота (NO<sub>x</sub>) из новых стационарных двигателей с номинальной эффективной тепловой мощностью более 1 МВт<sub>th</sub> при электрическом зажигании (ЭЗ) или при использовании двухкомпонентного топлива (ДТ в газообразном состоянии) или более 5 МВт<sub>th</sub> для дизельных двигателей. Приведены также сведения по эффективности разных видов топлива и уменьшению выбросов твердых частиц (ТЧ), монооксида углерода (СО) и неметановых углеводородов (летучие органические углеороды неметанового ряда) из стационарных двигателей.

### 7.42.2 Технологии сгорания

В процессе сжигания, в целом, происходят выбросы в атмосферу, которые считаются одним из основных источников загрязнения воздуха. В зависимости от типа топлива и имеющихся методик используют несколько технологий (например, котлы, газовые турбины или стационарные двигатели), выбросы NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> и твердых частиц для которых значительно различаются. В данном пункте описаны основные технологии для стационарных двигателей, используемые при сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива.

Определение двигателей (необходимо добавить более подробные определения, в данном документе приведены более общие) Стационарные двигатели можно классифицировать в зависимости от типа используемого топлива (см. таблицу 2)

- Дизельные двигатели (включая двухтопливные газодизельные двигатели на газе высокого давления (ГД))
- Газовые двигатели с зажиганием посредством свечи зажигания или иного устройства (ЭЗ) и
- Двухтопливные двигатели (ДТ на газе низкого давления).

Также стационарные двигатели можно подразделить на 2- и 4-тактные двигатели.

- 2-тактные двигатели с зажиганием и сгоранием в камере сгорания или открытой камере представляют собой низкооборотные двигатели (<300 об/мин.), могут быть одно- (газ высокого давления) или двухтопливными (ГД).
- зажигание у 4-тактных двигателей происходит в камере сжатия, пусковой камере сгорания, электрозажиганием или в камере сгорания, с открытой камерой, пусковой камерой сгорания, лямбда 1 или сжиганием бедной топливной смеси, они представляют собой либо средне- (300 < n < 1200 об/мин.), либо высокоскоростные (> 1200 об/мин.) двигатели. Различные варианты двигателей включают в себя газовые с электрозажиганием (ЭЗ), двухтопливные на газе низкого давления (ДТ) или дизельные двигатели на газе высокого давления (ГД), или двигатели на жидком топливе, или ДТ двигатели.
- Низко- и среднескоростные двигатели часто используют, например, при базовой нагрузке, нецентрализованном комбинированном производстве электроэнергии и тепла в установках малого/среднего размера, газовой компрессии и перекачке неочищенной нефти, а также на пиковых электростанциях общенациональной энергосистемы. Низко- и среднескоростные двигатели могут работать либо на одном виде топлива, либо на двух.
  - Низкоскоростные 2-тактные двигатели (доступны установки единичной мощностью приблизительно до 90 МВт<sub>e</sub>) работают на жидком дистиллятном нефтяном топливе, ТНТ (тяжелое нефтяное топливо), остаточном, эмульсированном нефтяном топливе, остаточных продуктах вакуумной обработки на нефтеперерабатывающих заводах и природном газе высокого давления (типа ГД).
  - Среднескоростные 4-тактные двигатели (доступны дизельные двигатели мощностью 25 МВт<sub>e</sub>), двухтопливные на газе низкого давления (ДТ) мощностью до 17 МВт<sub>e</sub>, и с электрозажиганием (ЭЗ) единичной мощностью до 10 МВт<sub>e</sub>) работают на жидком дистиллятном нефтяном топливе и ТНТ (дизельные и двухтопливные двигатели), жидком остаточном нефтяном топливе, эмульсированном нефтяном топливе, остаточных продуктах вакуумной обработки (дизельные двигатели), природном газе (газодизельные (ГД), двухтопливные (ДТ) и с электрозажиганием (ЭЗ)), биогазе, шахтном газе и газе из органических отходов (в зависимости от типов ЭЗ и ГД).
- Высокоскоростные двигатели, в основном, используют при пиковой нагрузке. Высокоскоростные стационарные двигатели, как правило, небольшие по размеру (единичная мощность до 5 МВт<sub>e</sub>), и, по большей части, работают на природном газе, биогазе, газе из органических отходов, жидком биотопливе и жидком дистиллятном нефтяном топливе. Высокоскоростные двигатели применяют при выработке электроэнергии и в других внедорожных вариантах применения.

Таблица 1 Основные типы двигателей в соответствии с видами используемого топлива

<p style="text-align: right;">Режим дизеля</p>	<p>Двигатели с самовоспламенением работают в соответствии с циклом дизеля, в ходе чего воздух и топливо впрыскивают в цилиндр по отдельности (не смешивая): воздух вводят и сжимают поршнем. По завершении такта сжатия происходит впрыск топлива, оно воспламеняется при контакте с горячим воздухом. В газовом режиме используется газ высокого давления</p>
<p style="text-align: right;">Газовый двигатель, электрическое зажигание (свеча зажигания)</p>	<p><b>Газовые двигатели</b> со сжиганием бедной топливной смеси работают в соответствии с циклом Отто, при этом топливо и горячий воздух предварительно смешиваются перед впрыском в цилиндр. Двигатели с сжиганием бедной топливной смеси и электрозажиганием является двигателем на "чистом" газе, воспламенение газового топлива происходит, например, с помощью свечи зажигания.</p>
<p style="text-align: right;">Газовый режим</p>	<p><b>Двухтопливные двигатели</b> работают в соответствии с циклом двигателя при воспламенении жидкого топлива или, при применении газообразного топлива, в соответствии с циклом Отто. В газовом режиме зажигание осуществляется со стороны такта сжатия за счет впрыска небольшого количества запального жидкого топлива. В газовом режиме используется газ низкого давления</p>



Таблица 2. Основные современные типы стационарных поршневых двигателей

Принцип работы	Зажигание и сгорание	Стандартная классификация двигателей в зависимости от числа оборотов двигателя	Рабочий режим	Топливо	Единичная мощность
2-тактный	Камера сжатия и открытая камера	Низкая скорость (< 300 об/мин.)	Работа на одном виде топлива	Жидкое дистиллятное топливо (дизельное топливо), ТНТ, остаточное, эмульсированное нефтяное топливо, <i>остаточные продукты вакуумной обработки на нефтеперерабатывающем заводе, природный газ</i>	До 90 МВт <sub>е</sub>
			Два типа топлива (ГД) (природный газ высокого давления)		
4-тактный	Зажигание -Сжатие -Пусковая камера - Электрозажигание - Камера сгорания Сгорание -Открытая камера-пусковая камера сгорания- лямбда 1 -сжигание бедной топливной смеси	Средняя скорость (300-1200 об/мин.)	Работа на одном виде топлива Жидкое топливо, газ (с электрозажиганием, ЭЗ)	В зависимости от типа двигателя (см. главу 2): Жидкое дистиллятное топливо (дизельное топливо), ТНТ, остаточное жидкое нефтяное топливо, эмульсированное нефтяное топливо, остаточные продукты вакуумной обработки на нефтеперерабатывающем заводе, жидкое биотопливо Природный газ, биогаз, газ из органических отходов	До - 25 МВт <sub>е</sub> (дизель) - 17 МВт <sub>е</sub> (ДТ) - 10 МВт <sub>е</sub> (ЭЗ)
			Работа на двух видах топлива Природный газ высокого давления (газодизель, ГД) Природный газ низкого давления (два вида топлива, ДТ) Резервный режим: жидкое топливо		
		Высокая скорость (> 1200 об/мин.)	Работа на одном виде топлива Жидкое топливо, газ (с электрозажиганием)	Природный газ, биогаз, газ из органических отходов, жидкое биотопливо, жидкое дистиллятное нефтяное топливо (дизельное топливо),	До 5 МВт <sub>е</sub>

### НДТ для регулирования выбросов NO<sub>x</sub> из газовых двигателей с сжиганием бедной топливной смеси

Для стационарных двигателей, работающих на газе, подход, предусматривающий сжигание бедной топливной смеси для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> представляет собой НДТ и аналогичен технологии сухого сгорания с малым выбросом NO<sub>x</sub>, используемой в газовых турбинах. Это первичная мера, не требующая дополнительных реагентов или добавления воды для достижения низкого уровня выбросов NO<sub>x</sub>. Для двигателей на природном газе со сжиганием бедной топливной смеси и с зажиганием с помощью свечи зажигания или иных устройств (ЭЗ) при использовании первичных мер можно достичь уровня NO<sub>x</sub> в 95-190 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub> и 190-380 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub> для двухтопливных двигателей на газе низкого давления.

Поскольку для газовых двигателей может быть предусмотрено СКВ, оно также рассматривается в качестве НДТ. Для двигателей на природном газе катализаторы окисления являются НДТ для регулирования выбросов СО. В большинстве случаев<sup>1</sup> потребуется очистка топливного газа при использовании окисления и катализаторов СКВ при сжигании других видов газообразного топлива, например, биогаза или газов из органических отходов, которые могут содержать каталитические яды<sup>2</sup>. Оптимизация двигателя является компромиссным вариантом в отношении выбросов NO<sub>x</sub>, КПД двигателя (потребление топлива и, следовательно, выбросы СО<sub>2</sub>) и других типов выбросов (например, СО и углеводороды). При применении СКВ (вторичные мероприятия) определен уровень выбросов NO<sub>x</sub> в пределах 5<sup>3</sup> -19 мг NO<sub>x</sub>/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub>.

### НДТ для регулирования выбросов NO<sub>x</sub> из дизельных двигателей на жидком топливе

Применение первичных и вторичных мер, в особенности, применение системы СКВ, рассматривается в качестве НДТ для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> из дизельных двигателей на жидком топливе. Ограничения по применимости СКВ распространяются на дизельные двигатели, которые необходимо эксплуатировать при переменных нагрузках. СКВ является часто применяемой системой для дизельных двигателей, но его не следует рассматривать в качестве НДТ для двигателей с частым изменением нагрузки вследствие технических ограничений (см. документ СНДТ для крупных установок сжигания стр. 406). Блок СКВ не будет функционировать эффективно, если эксплуатационные условия и, следовательно, температура катализатора, часто изменяются, выходя за пределы необходимого эффективного диапазона температур. Достижимые уровни выбросов NO<sub>x</sub> для работающих дизельных двигателей при использовании первичных мер, очевидно, находятся в диапазоне от 1460 до 2000 мг NO<sub>x</sub>/Нм<sup>3</sup> в зависимости от типа топлива и двигателя. Для новых двигателей в соответствии с новыми руководящими документами IFC/WB (Международная финансовая корпорация/Международный банк), в зависимости от диаметра цилиндра, выбросы находятся в пределах 1460 - 1850 NO<sub>x</sub>/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub>.

Для дизельных двигателей необходимо использовать СКВ в качестве вторичного мероприятия для получения уровня выбросов в 190 или 225 мг NO<sub>x</sub>/Нм при 15% O<sub>2</sub> (эквивалентно 500-600 мг NO<sub>x</sub>/Нм<sup>3</sup> при 5% O<sub>2</sub> согласно Гетеборгскому протоколу. Следует отметить, что для двигателей с СКВ минимальная температура дымового газа (в зависимости от содержания серы в топливе) необходима для предотвращения солеобразования, препятствующего работе катализатора, а система подачи должна быть готова для подачи аммиака или мочевины надлежащего качества. Достижимые уровни NO<sub>x</sub> с СКВ определены на основе примеров дизельных установок в рабочем диапазоне от 145 до 325 мг NO<sub>x</sub>/Нм<sup>3</sup> при использовании диапазона нефтяного топлива от легкого до тяжелого, соответственно (Документ для крупных установок сжигания СНДТ ЕС, таблица 6.23 и 6.12). Следует отметить, что уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> за счет системы СКВ зависит от количества добавляемых реагентов (в зависимости от расхода отработанного газа и входной концентрации NO<sub>x</sub>/установленного предельного значения выбросов NO<sub>x</sub> на выходе). Система регулирования изменит поток реагента для СКВ в зависимости от упреждающего сигнала при нагрузке двигателя (предварительно заданные параметры при вводе в эксплуатацию завода на основании измерений NO<sub>x</sub>). В отдельных случаях помимо упреждающего сигнала для "точной настройки" системы используется также сигнал обратной связи (из устройства измерения NO<sub>x</sub>). Установленные уровни NO<sub>x</sub> различаются в зависимости от страны в соответствии с приведенными ниже примерами:

- в Бельгии и Нидерландах в недавнее время определена величина выбросов NO<sub>x</sub> в пределах от 130 до 150 мг/Нм<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub>) для новых дизельных двигателей
- в соответствии с немецкими техническими указаниями по контролю качества воздуха (TA-LUFT) от 2002 г. установленные предельные значения NO<sub>x</sub> равны 190 мг/Нм<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub>), а французские предельные значения NO<sub>x</sub> близки с установленным в предыдущей версии TA-LUFT 1986 г. примерно в 750 мг/Нм<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub>).

<sup>1</sup> До настоящего времени существует только ограниченный опыт использования

<sup>2</sup> Катализатор может деактивироваться. Существует ограниченный опыт использования биогаза при СКВ на данный момент, а соответствующие системы являются дорогостоящими. Необходимо дополнительное оборудование очистки топливного газа для удаления вредных химических соединений, например, NH<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>S.

<sup>3</sup> В соответствии с имеющимся в промышленности опытом указанную величину NO<sub>x</sub> можно получить в идеальных условиях при использовании свежего нового катализатора, но ее невозможно добиться при нормальной эксплуатации.

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NO<sub>x</sub>, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

Двухтопливный (ДТ) двигатель не является частью данного Протокола. Для ДТ двигателя в режиме жидкого топлива/резервном режиме характерны более высокие выбросы NO<sub>x</sub>, чем для современного дизельного двигателя вследствие более низкого коэффициента сжатия, ДТ двигатель оптимизирован для работы в режиме использования природного газа.

Выбросы NO<sub>x</sub> зависят от числа оборотов двигателя. Для топливосберегающих, с большим диаметром цилиндра, низкоскоростных двигателей характерны более высокие выбросы NO<sub>x</sub>, чем для двигателей меньшего размера с более высоким числом оборотов. Чем ниже скорость двигателя, тем выше концентрация NO<sub>x</sub> в камере сгорания вследствие более длинного времени выдержки, в течение которого образуется NO<sub>x</sub>.

### **7.42.3 Варианты снижения выбросов из стационарных двигателей**

#### **Варианты снижения выбросов в атмосферу из дизельных двигателей на жидком топливе**

К основным загрязнителям, выделяемым в отработанном газе стандартного (компрессионное воспламенение) дизельного двигателя на тяжелом нефтяном топливе, относятся оксиды азота (NO<sub>x</sub>), твердые частицы (ТЧ) и оксиды серы (SO<sub>x</sub>). SO<sub>x</sub> и ТЧ, в основном, являются топливными выбросами. Вследствие высокой эффективности в результате высокой температуры сгорания в стационарных дизельных двигателях выбросы несгоревших веществ, таких как монооксида углерода и несгоревших углеводородов, невелики.

##### Уменьшение выбросов твердых частиц

При сжигании тяжелого нефтяного топлива твердые частицы, в основном, состоят из пыли и серы (образовавшихся сульфатов) из нефтяного топлива и, в меньшей степени, из сажи и углеводородов. При сжигании легкого нефтяного топлива твердые частицы, в основном, состоят из сажи и углеводородов. Оборудование вторичной очистки для твердых частиц в настоящее время разработано для более крупных дизельных двигателей (НДТ для крупных установок сжигания согласно СНДТ, стр.356). Твердые частицы из дизельного топлива образуются при различных условиях избытка кислорода и температуры, по сравнению с частицами, получаемыми в котле, электрические свойства (например, сопротивление, и т.д.) отличаются от свойств твердых частиц в котельном дымовом газе, также требуются надлежащие испытания ЭФ (электрофильтр) до его коммерческой презентации.

##### Уменьшение выбросов SO<sub>2</sub>

Выбросы оксида серы напрямую зависят от используемого топлива и содержания серы в топливе. Первичным методом уменьшения выбросов SO<sub>x</sub> является использование жидкого топлива с низким содержанием серы или природного газа, если они имеются в наличии. В настоящее время некоторые системы дизельных двигателей оборудованы DESOX (установками десульфуризации), большинство из которых представляют собой установки небольшого или среднего размера, на данный момент имеется слишком мало опыта их эксплуатации. Также следует отметить, что дымовой газ от дизельного двигателя отличается от дымового газа из котла, например, содержание кислорода в нем высоко, что может неблагоприятно повлиять на работу системы DESOX. Капитальные расходы для установки DESOX в значительной степени различаются в зависимости от выбранного метода. Эксплуатационные расходы, в основном, зависят от количества и типа реагента, потребления воды, электричества и затрат на техническое обслуживание и утилизацию побочных продуктов. Для оптимального функционирования системы DESOX необходимо надлежащее техническое обслуживание.

##### Уменьшение выбросов NO<sub>x</sub>

В общем случае, применение первичных методов, включая использование топлива более высокого качества для уменьшения выбросов в атмосферу у источника является предпочтительным по сравнению со вторичными мерами (природоохранные технологии в конце производственного цикла), что также нередко сопровождается большими расходами. В течение последнего десятилетия выбросы NO<sub>x</sub> из дизельных двигателей на жидком топливе значительно снижены за счет применения первичных мер в результате обширных исследований и разработок, касающихся двигателей, с сохранением их высокой эффективности. Несмотря на это, выбросы NO<sub>x</sub> из дизельных двигателей без применения вторичных мер остаются значительными, необходимы дальнейшие разработки. К первичным мерам, которые можно применять для дизельных двигателей на жидком топливе, относится использование двигателя, оптимизированного для достижения малого выброса NO<sub>x</sub>, задержка впрыска топлива и добавление воды (например, впрыск воды непосредственно в зону сгорания, водо-топливной смеси, или увлажнение воздуха сгорания). При наличии природного газа одним из вариантов (в зависимости от типа двигателя, по возможности) является переход с обычного дизельного двигателя на двухтопливный двигатель на газе низкого давления (ДТ).

Применимым вторичным методом для дизельных двигателей является использование СКВ (селективное каталитическое восстановление).

## Регулирование выбросов NO<sub>x</sub> из дизельных двигателей на жидком топливе

Достижимая величина выбросов NO<sub>x</sub> для стационарных дизельных двигателей средней или высокой скорости на новом тяжелом нефтяном топливе (ТНТ) и легком нефтяном топливе (ЛНТ) с применением первичной сухой технологии уменьшения выбросов соответствует НДТ согласно информации из документа СНДТ ЕС для крупных установок сжигания и новым руководящим указаниями Всемирного банка по гигиене и безопасности окружающей среды от 2008 г. (двигатели второго поколения) и в настоящее время составляет менее 2000 мг/Нм<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub>). Рентабельные и технически пригодные первичные и вторичные технологии очистки отработанного газа являются приоритетным направлением при современной разработке продукции. В общем случае, применение первичных мер уменьшения выбросов в атмосферу у источника предпочтительно по сравнению с уменьшением выбросов после их формирования из отработанного газа, часто это предполагает большие издержки.

Технические мероприятия по уменьшению выбросов NO<sub>x</sub> можно подразделить на первичные и вторичные технологии уменьшения выбросов:

Первичные методы для дизельных двигателей на жидком топливе, такие как применение двигателя, оптимизированного для достижения малого выброса NO<sub>x</sub> (с помощью принципа Миллера - "сухой метод"), задержка впрыска топлива и добавление воды (например, прямой впрыск воды непосредственно в зону сгорания, водо-топливной смеси, или увлажнение воздуха сгорания, водная эмульсия, и т.д., в зависимости от варианта применения и изготовителя двигателя). "Сухие методы" предпочтительны в областях с ограниченным доступом к подходящим источникам подачи воды. Ограничения по механической, тепловой нагрузке и потреблению топлива, и т.д., являются факторами, учитываемыми при применении первичных методов уменьшения NO<sub>x</sub>.

При применении концепции сгорания с малым выбросом NO<sub>x</sub> в сочетании с принципом Миллера выбросы NO<sub>x</sub> для современных двигателей до 40% ниже, чем у двигателей аналогичного типа с начала 1990-х при сохранении той же высокой эффективности. Разработка продолжается, но тормозящим ее техническим фактором является турбокомпрессор; необходим высокий коэффициент давления для увеличения "Принципа Миллера", в ином случае возрастет потребление топлива, а выдаваемая двигателями мощность может уменьшиться. Если необходимо добиться более низких выбросов NO<sub>x</sub>, требуется новое поколение турбокомпрессоров.

Вторичный метод: единственным применимым вторичным методом для дизельных двигателей является обработка отработанного газа с применением СКВ (селективное каталитическое восстановление). СКВ является эффективной технологией уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> в случаях, когда можно учесть перечисленные далее проблемы, относящиеся к установке и эксплуатации, с обеспечением надлежащей реализации технологий (НДТ согласно СНДТ для крупных установок сжигания, стр.360):

- необходимо поддерживать минимальную температуру дымового газа в зависимости от содержания серы в топливе;
- следы отдельных металлов (например, Na, K, Ca, Mg, As, Se, P) могут действовать как каталитические яды
- при использовании тяжелого нефтяного топлива или другого остаточного топлива необходимо установить систему продувки сажи в реакторе СКВ для поддержания чистоты его элементов и предотвращения значительного падения давления
- регулярное техническое обслуживание и осмотры для сохранения малых величин проскока аммиака, которые вредны для компонентов, расположенных за реактором СКВ
- утилизация использованных элементов
- следует обеспечить подачу реагентов (чистый аммиак, нашатырный спирт или мочевины) (существует необходимая для этого инфраструктура)
- необходимо рассмотреть расходы по установке, эксплуатации и техническому обслуживанию

Достижимые диапазоны выбросов NO<sub>x</sub> для существующих дизельных двигателей при использовании первичных и вторичных мер описаны в Таблице 3 (в результатах измерений, взятых из выбранных международных справочных документов, отмечено, что относительная влажность воздуха в значительной мере воздействует на выбросы NO<sub>x</sub> из дизельного двигателя).

Руководящий документ по технологиям регулирования выбросов серы, NO<sub>x</sub>, летучих органических соединений, пыли из стационарных источников

Как указано выше, достижимый уровень выбросов NO<sub>x</sub> для новых дизельных двигателей в настоящее время составляет менее 2000 мг/Нм<sup>3</sup> при применении первичных мер (руководящий документ Всемирного банка по гигиене и безопасности окружающей среды: 1460 - 1850 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub>), в зависимости от диаметра цилиндра.

**Таблица 3. Примеры достижимых выбросов NO<sub>x</sub> при применении мер уменьшения выбросов для дизельных двигателей (Справочный документ по НДТ для крупных установок сжигания, стр.379)**

Тип дизельного двигателя	Выбросы NO <sub>x</sub> ТНТ) мг/Нм <sup>3</sup> , сухие, 15% O <sub>2</sub>	Комментарии
Двигатель, оптимизированный для достижения малого выброса NO <sub>x</sub> (первичный)	2163-2178	Стандартный производимый дизельный двигатель, до 2000 г. (завод в районе Карибского моря)
Двигатель, оптимизированный для достижения малого выброса NO <sub>x</sub> (первичный, второе поколение)	1739-1881	Стандартный дизельный двигатель, производимый в настоящее время (завод в Центральной Америке)
Двигатель с задержкой впрыска	Как правило, уменьшение от 10 до 20% NO <sub>x</sub> (в зависимости от типа двигателя)	Повышение потребления топлива зависит от продолжительности задержки впрыска топлива, обычно до 3 %
Низкооборотный двигатель + 'добавление воды'	1540	Используется, в большинстве случаев, на судах, повышается потребление топлива, (завод в районе Карибского моря)
Двигатель с СКВ (Вторичная мера)	150 325	Дизельное топливо топливо с 0,45% S по весу

#### Влияние качества топлива на работу дизеля

Для дизельных двигателей качество топлива является основным фактором, влияющим на уровень выбросов. Содержание серы в жидком топливе (включая ТНТ и газойль и т.д.) изменяется /варьируется, как правило, в пределах от 0,1 или менее до 4% S по весу для региона Европейской экономической комиссии ООН UNECE Средние (примерно до 25 МВт<sub>е</sub>) и низкооборотные двигатели (единичной мощностью примерно до 90 МВт<sub>е</sub>) обычно работают на более экономичном нефтяном топливе, например, тяжелом нефтяном топливе, топливной эмульсии, остаточных продуктах вакуумной обработки на нефтеперерабатывающем заводе. Небольшие высокоскоростные двигатели (единичной мощностью примерно до 5 МВт<sub>е</sub>) работают на дистиллятном топливе (дизели на топливе с низким и крайне низким содержанием серы). Некоторые типы дизельных двигателей могут также работать на природном газе и биотопливе.

Качество топлива также влияет на используемые первичные методы уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>. В небольших высокоскоростных двигателях, например, при рециркуляции отработанного газа и высоком давлении можно использовать впрыск с электронным управлением и достичь меньшего объема выбросов NO<sub>x</sub> по сравнению с двигателями большего размера. "Принцип Миллера" (ранее время закрытия клапанов впуска воздуха, что понижает температуру в цилиндре, уменьшая образование NO<sub>x</sub>) и современное оборудование впрыска топлива применимы для более крупных современных типов двигателей.

#### Уменьшение выбросов СО и углеводородов из дизельных двигателей на жидком топливе

Надлежащее техническое обслуживание рассматривается в качестве НДТ<sup>4</sup> для минимизации выбросов несгоревших газообразных загрязнителей воздуха, а правильно эксплуатируемый двигатель обеспечивает низкий уровень выбросов СО и углеводородов. Выбросы СО можно уменьшить за счет применения первичных мер с целью обеспечения полного сжигания. Наиболее важным параметром, определяющим скорость формирования NO<sub>x</sub> в дизельном двигателе, является температура сжигания: чем выше температура, тем выше выбросы NO<sub>x</sub> и меньше объем несгоревших веществ. Существует оптимальный баланс между выбросами: меньшие выбросы NO<sub>x</sub> приводят к большему объему выбросов несгоревших веществ (см. Рис. 1), и наоборот.

<sup>4</sup> в соответствии с документом СНДТ ЕС для крупных установок сжигания

Уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> за счет первичных мер может привести к повышению выбросов других веществ, таких как CO, CO<sub>2</sub> и твердых частиц согласно Рис. 1. Катализаторы окисления можно применять для уменьшения выбросов из высокоскоростных двигателей на легком нефтяном топливе, но не для двигателей на тяжелом нефтяном топливе.

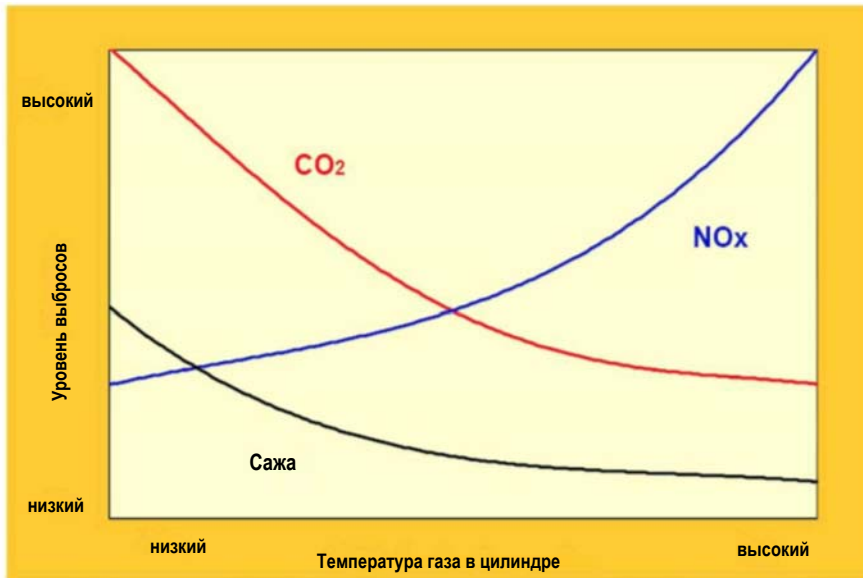


Рисунок 1. Типовые уровни выбросов для дизельного двигателя в зависимости от эффективности (температура цилиндра)

## Регулирование выбросов NO<sub>x</sub> из газовых двигателей, с электрозажиганием (ЭЗ) и двухтопливных (ДТ) (газовый режим)

Газовые двигатели с электрозажиганием, или иным типом зажигания, 4-тактные, со сжиганием бедной топливной смеси (ЭЗ), представляют собой двигатели на "чистом газе", работающие на природном газе низкого давления и (в зависимости от типа двигателя) также биогазах, например, газ из органических отходов, газ вторичной переработки, шахтный газ. Двухтопливные (ДТ) двигатели спроектированы для работы в газовом режиме на природном газе низкого давления, используемом в качестве основного топлива.

За счет применения первичных мер для двигателей в режиме работы с использованием природного газа можно добиться следующего уровня выбросов NO<sub>x</sub>: для двигателей с ЭЗ и с сжиганием бедной топливной смеси - 95-190 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub>, а для двухтопливных двигателей на газе низкого давления - 190-380 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub>. Для других газов, помимо природного, можно добиться уровней в 95-190 мг/Нм<sup>3</sup> при применении двигателей с ЭЗ и с сжиганием бедной топливной смеси, но при определении предельной величины выбросов необходимо учитывать возможные отклонения в составе газа и загрязнениях.

Температура сжигания является наиболее важным параметром, определяющим скорость формирования NO<sub>x</sub> в двигателях внутреннего сгорания: чем выше температура, тем выше содержание NO<sub>x</sub> в отходящем газе. Одним из методов для уменьшения температуры сжигания является понижение соотношения компонентов топливно-воздушной смеси, тогда одинаковый объем удельного тепла, выделяемого при сжигании топлива, используют для нагрева большей части отработанных газов, приводя к более низкой максимальной температуре сжигания. Данное первичное мероприятие, обозначаемое как сжигание бедной топливной смеси для стационарных газовых двигателей, аналогично использованию камер сухого сгорания с малым выбросом NO<sub>x</sub> для газовых турбин. Газовые стационарные двигательные установки (ЭЗ и ДТ) обеспечивают низкие уровни выбросов NO<sub>x</sub> при сжигании бедной топливной смеси.

Поскольку при сжигании бедной топливной смеси двигатель работает в более экономном режиме (улучшенное сжигание бедной топливной смеси) при более низком заданном уровне выбросов NO<sub>x</sub> с большим удельным расходом топлива, температура дымовых газов снижается, как и полезная теплота в дымовых газах.

В отдельных вариантах применения для стационарных газовых двигателей предусмотрено СКВ для дополнительного уменьшения выбросов NO<sub>x</sub><sup>5</sup>. Побуждающей причиной для применения СКВ является потребность в улучшении качества местного воздуха. Необходимо определить строгие рамки для снижения уровня выбросов NO<sub>x</sub> в отдельных странах с загрязненной атмосферой для выполнения обязательств по международным соглашениям или Директивам ЕС. В таблице 4 приведены достижимые уровни выбросов NO<sub>x</sub> для газовых двигателей с мерами по их уменьшению.

В отдельных вариантах применения для стационарных газовых двигателей предусмотрено СКВ для дополнительного уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>. Побуждающей причиной для применения СКВ является потребность в улучшении качества местного воздуха. Необходимо определить строгие рамки для снижения уровня выбросов NO<sub>x</sub> в отдельных странах с загрязненной атмосферой для выполнения обязательств по международным соглашениям или Директивам ЕС. Например, одна из стран предприняла действия для применения более строгих ПУВ для выбросов NO<sub>x</sub>, например, 35 мг/Нм<sup>3</sup> для стационарных двигателей, обязуясь использовать СКВ вследствие необходимости использовать все необходимые меры по уменьшению выбросов в различных секторах для обеспечения соответствия верхним значениям выбросов NO<sub>x</sub> в соответствии с Гетеборгским протоколом.

<sup>5</sup> В 2008 г. в Нидерландах использовалось около 1000 стационарных газовых двигателей с применением технологии СКВ (например, комбинированное производство тепловой и электрической энергии и удобрение CO<sub>2</sub> в теплицах). Тем не менее, следует отметить, что целесообразная величина капиталовложений в значительной степени различается при применении энергетической станции и использовании газов создающих парниковый эффект".

**Таблица 4. Достижимые выбросы NO<sub>x</sub> для газовых двигателей (при постоянной нагрузке двигателя) в соответствии с документом СНДТ ЕС для крупных установок сжигания (Таблицы 7.9 (стр.438) и 7.26 (стр.466))**

Тип двигателя	Выбросы NO <sub>x</sub> , мг/Нм <sup>3</sup> (Сухие, 15%O <sub>2</sub> )	Мероприятие по снижению	Комментарии
Газовые двигатели с электрозажиганием	161-190	Номинальный режим (первичные)	- оптимальное удельное потребление топлива - минимальные выбросы несгоревших веществ
	71-83	отрегулированные низкие выбросы NO <sub>x</sub> (первичные)	- увеличение удельного потребления топлива (с повышением в 3%) и выбросов несгоревших веществ
	5 <sup>6</sup> -19	СКВ (вторичные)	Стимулом для применения СКВ для газовых двигателей, в основном, являются ситуации, в которых местные стандарты качества воздуха требуют более значительного снижения выбросов NO <sub>x</sub> или озона в результате эксплуатации в густонаселенных областях или при дополнительных выбросах других отраслей промышленности или передвижных источников.
Двухтопливный двигатель- газовый режим	144-177		- увеличение удельного потребления топлива и выбросов несгоревших веществ
Двухтопливный двигатель – резервный режим	1531-1751		ЛНТ = легкое нефтяное топливо (> 0,05 % S по весу)
Газодизель - газовый режим	1584-1612		Природный газ как основное топливо, запальное топливо - тяжелое нефтяное топливо

Выбросы несгоревших веществ из газовых двигателей с сжиганием бедной топливной смеси

Выбросы летучих органических углеродов неметанового ряда из двигателей с ЭЗ и ДТ двигателей в газовом режиме зависят от состава природного газа. Вторичные технологии уменьшения выбросов для летучих органических углеродов неметанового ряда могут потребоваться в отдельных случаях, наряду с применением катализатора окисления для одновременного уменьшения выбросов СО и летучих органических углеродов неметанового ряда. Эффективность катализатора окисления для снижения выбросов летучих органических углеродов неметанового ряда в значительной степени зависит от содержания углеводородов в дымовом газе, в особенности, этана и пропана, которые сложно снизить<sup>7</sup>. Величину выбросов СО менее 100 мг/Нм<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub>) рассматривают в качестве НДТ<sup>8</sup> для газовых двигателей при применении нового катализатора окисления (НДТ согласно СНДТ для крупных установок сжигания, стр. 480).

На основании информации, предоставленной промышленностью по производству двигателей, уровни выбросов приблизительно в 100 мг/Нм<sup>3</sup> применимы только для газовых двигателей (при применении катализаторов окисления) на природном газе, а не для газовых двигателей на возобновляемых газах, например, газе из органических отходов, биогазе или газе очистки. Для таких двигателей сопутствующий уровень выбросов СО должен находиться в пределах 110 - 380 мг/Нм<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub>), чтобы соответствовать значениям для НДТ (см. подзаголовок 3 в таблице 7.36, НДТ согласно СНДТ для крупных установок сжигания), по техническим причинам (влияние состава топлива).

Увеличение выбросов углерода при уменьшении выбросов NO<sub>x</sub>

Оптимизация двигателя является компромиссным вариантом в отношении выбросов NO<sub>x</sub>, КПД двигателя (потребление топлива и, следовательно, выбросы СО<sub>2</sub>) и других типов выбросов (например, СО и углеводороды).

<sup>6</sup> Указанную величину NO<sub>x</sub> можно получить при идеальных условиях при использовании нового и свежего катализатора, но не при обычной эксплуатации.

<sup>7</sup> Field Experience and Laboratory Analysis of Oxidation Catalyst on Dual Fuel Engines", Shazam Williams; Mojghan Naseri; Joe Aleixo; Kristoffer Sandelin, опубликовано 7 мая 2006 г.

<sup>8</sup> СНДТ для крупных установок сжигания



Уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> за счет первичных мер увеличит выбросы CO<sub>2</sub> (потребление топлива), а также выбросы "несгоревших" веществ, например, CO, углеводородов, и, в конечном итоге, может привести к пропуску вспышки с последующим выходом из строя двигателя. При работе на биогазе примеси в нем могут способствовать формированию отложений на внутренних элементах двигателя и, таким образом, ограничат достижимые уровни выбросов NO<sub>x</sub>. См. подзаголовок 9 далее (двигатель с электрозажиганием). В особых случаях, например, в загрязненных городских районах, где иногда используется СКВ для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>, соотношение воздух - топливо можно оптимизировать, чтобы добиться максимальной эффективности использования топлива и, таким образом, снизить выбросы несгоревших веществ. Современные газовые двигатели имеют рабочие характеристики, ограниченные детонацией, и, следовательно, потенциал эксплуатации двигателей в режиме использования более обогащенного топлива для повышенной эффективности (и большего объема NO<sub>x</sub>) и меньшего уровня выбросов CO и углеводородов ограничен, поскольку необходимо соблюдать другие граничные условия, например, работу двигателя с детонацией.

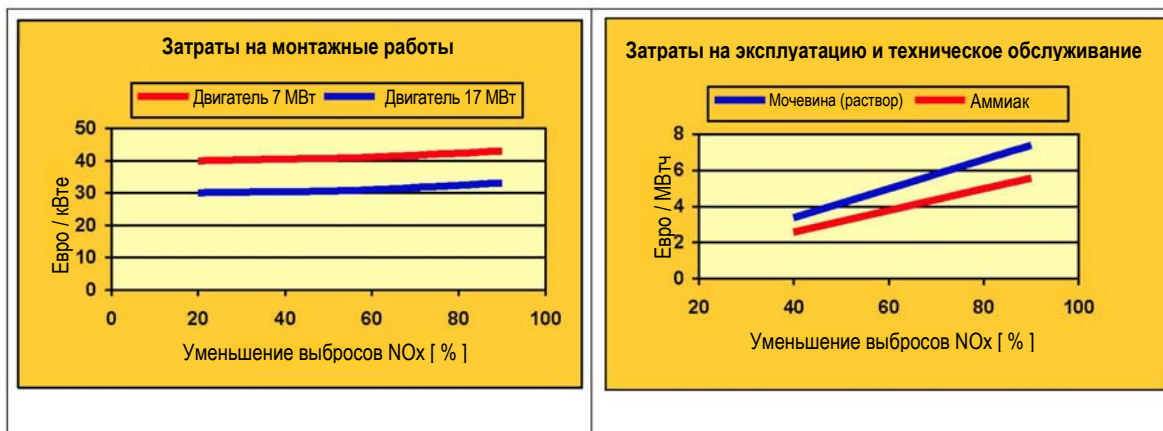
#### Падение производительности при снижении выбросов NO<sub>x</sub>

Поскольку при сжигании бедной топливной смеси двигатель работает в более экономном режиме при более низком заданном уровне выбросов NO<sub>x</sub> с большим удельным расходом топлива, температура дымовых газов снижается, как и полезная теплота в дымовых газах (отрицательно влияет, например, на парообразование в установках комбинированного производства тепловой и электрической энергии)<sup>9</sup>.

### 7.42.4 Расходы на НДТ

#### Монтажные и эксплуатационные расходы при применении СКВ

У СКВ высокая исходная стоимость приобретения и, в зависимости от качества используемого топлива, потребуются периодическая замена катализаторов - и правильная утилизация использованного катализатора. Помимо того, для СКВ требуется надлежащее техническое обеспечение, включая запасные части и опыт эксплуатации и технического обслуживания. См. типовые затраты на СКВ в зависимости от уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> на Рис. 2. Следует обратить внимание, что стоимость и наличие реагента могут меняться в зависимости от места эксплуатации.



**Рисунок 2. Типовые затраты на СКВ в зависимости от скорости уменьшения выбросов NO<sub>x</sub>, энергетические станции с дизельными двигателями средней скорости на тяжелом нефтяном топливе, обращение с реагентами не включено. 40% раствор мочевины 200 евро/тонну, гранулят мочевины 400 евро/тонну, водный 25% нашатырный спирт 225 евро/тонну)**

<sup>9</sup> Вследствие образования отложений в камере сгорания двигателей на биогазе (газ из органических отходов, газ из анаэробных биореакторов) выбросы NO<sub>x</sub> на уровне значительно ниже 190 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub> невозможно получить в течение срока эксплуатации двигателя из-за неконтролируемого изменения величины выбросов за счет эффекта изоляции и изменения геометрических параметров камеры сгорания (Приложение 7).

#### **7.42.5 Список литературы, использованной в главе 7.42**

"Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution to Abate Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone", Euromot April 2003, available at:  
[http://www.euromot.org/download/news/positions/stationary\\_engines/UNECE CLRTAP AB C Analysis 080403.pdf](http://www.euromot.org/download/news/positions/stationary_engines/UNECE_CLRTAP_AB_C_Analysis_080403.pdf)

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for large Combustion Plants, July 2006,

<http://eippcb.irc.ec.europa.eu/pages/FActivities.htm>

COUNCIL DIRECTIVE 1999/32/EC of 26 April 1999 relating to a reduction in the sulphur content of certain liquid fuels and amending Directive 93/12/EEC <http://eur-lex.europa.eu/en/index>

Position Paper of the CIMAC WG5 Exhaust Gas Emissions Controls on "Prime Mover Technique Specific Emission Limits Need Stationary Reciprocating Engine Plant", at <http://www.cimac.com/workinggroups/Index1-working-groups-exhaustemission.htm>

Field Experience and Laboratory Analysis of Oxidation Catalyst on Dual Fuel Engines. <http://www.dclinc.com>

Euromot Position Paper on the LCP BREF preparations, 2002 :

[http://www.euromot.org/download/news/positions/stationary\\_engines/EIPPCB BREF euromot comment may 02.pdf](http://www.euromot.org/download/news/positions/stationary_engines/EIPPCB_BREF_euromot_comment_may_02.pdf)