



---

**Европейская экономическая комиссия**

Исполнительный орган по Конвенции  
о трансграничном загрязнении воздуха  
на большие расстояния

**Руководящий документ по наилучшим имеющимся  
методам ограничения выбросов тяжелых металлов  
и их соединений из категорий источников,  
перечисленных в приложении II**

*Резюме*

На своей тридцать первой сессии Исполнительный орган по Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния принял решение о внесении поправок в Протокол по тяжелым металлам и приложения к нему (ECE/EB.AIR/113/Add.1, решения 2012/5 и 2012/6) и одобрил руководящий документ по наилучшим имеющимся методам ограничения выбросов тяжелых металлов и их соединений из категорий источников, перечисленных в приложении II к Протоколу (там же, решение 2012/7). Настоящий документ содержит одобренный окончательный вариант руководящего документа.

## Содержание

	<i>Пункты</i>	<i>Стр.</i>
Список сокращений и акронимов.....		4
I. Введение .....	1–8	6
II. Общие возможные варианты сокращения выбросов тяжелых металлов и их соединений.....	9–11	8
III. Методы ограничения выбросов .....	12–19	9
IV. Секторы.....	20–94	11
A. Сжигание ископаемых топлив в котельных электростанций общего пользования и промышленных предприятий (приложение II, категория 1).....	21–30	11
B. Первичное производство чугуна и стали (приложение II, категории 2 и 3) .....	31–34	15
C. Вторичное производство чугуна и стали (приложение II, категория 3).....	35–38	20
D. Чугуно- и сталелитейное производство (приложение II, категория 4).....	39–40	21
E. Первичное и вторичное производство цветных металлов (приложение II, категории 2, 5 и 6) .....	41–60	23
F. Производство цемента (приложение II, категория 7) .....	61–70	33
G. Производство стекла (приложение II, категория 8).....	71–76	36
H. Хлорщелочное производство (приложение II, категория 9).....	77–82	37
I. Сжигание городских, медицинских и опасных отходов (приложение II, категории 10 и 11).....	83–94	40
 Таблицы		
1. Эффективность пылеуловителей, выраженная в виде среднечасовых показателей концентрации пыли .....		10
2. Минимальная предполагаемая эффективность сепараторов ртути, выраженная в виде среднечасовых показателей концентрации ртути .....		10
3. Меры по ограничению выбросов, эффективность их сокращения и затраты на сокращение выбросов при сжигании твердых и жидких видов ископаемого топлива .....		14
4. Источники выбросов, меры по ограничению выбросов, эффективность и издержки сокращения пылевых выбросов при первичном производстве черных металлов.....		18
5. Источники выбросов, меры по ограничению выбросов, эффективность и издержки, связанные с сокращением пылевых выбросов при вторичном производстве черных металлов .....		21
6. Источники выбросов, меры по ограничению выбросов, эффективность и издержки сокращения пылевых выбросов в чугунолитейном производстве .....		23

---

7	a)	Меры по ограничению выбросов РМ для различных технологических этапов ....	24
	b)	Примеры затрат на ограничение выбросов РМ и эффективности сокращения выбросов Hg.....	26
	c)	Эффективность сокращения содержания ртути в газах для некоторых методов...	29
8		Источники выбросов, меры по ограничению выбросов, эффективность и затраты на сокращение выбросов в цементной промышленности.....	35
9		Источники выбросов, меры по ограничению выбросов, эффективность и затраты на сокращение пылевых выбросов в стекольной промышленности .....	37
10	a)	Меры по ограничению выбросов, эффективность и затраты на сокращение выбросов на предприятиях по производству хлора и щелочи .....	39
	b)	Поступление ртути в атмосферу из наиболее эффективно действующих установок с ртутными элементами.....	40
11		Меры по ограничению выбросов, эффективность и затраты на сокращение пылевых выбросов в связи со сжиганием городских, медицинских и опасных отходов для дымовых газов .....	43

## Список сокращений и акронимов

BAU	Впрыскивание активированного угля
As	Мышьяк
НИМ	Наилучшие имеющиеся методы
КК	Кислородный конвертер
БРЕФ <sup>1</sup>	Справочный документ о наилучших имеющихся технологиях
CaBr <sub>2</sub>	Бромистый кальций
Cd	Кадмий
ЕКС	Европейский комитет по стандартизации
АЦПОС	Абсорбер с циркулирующим псевдосжиженным слоем
Cl <sub>2</sub>	Хлор
Co	Кобальт
Cr	Хром
Cu	Медь
Cu <sub>2</sub> HgI <sub>4</sub>	Тетрайодомеркурат меди
центы/кВт·ч	Центы на кВт·ч
ЭДП	Электродуговая печь
ЕЭК	Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций
ПЗВ	Предельные значения выбросов
ЕАОС	Европейское агентство по окружающей среде
ЭСО	Электростатический осадитель
ТФ	Тканевой фильтр
ДДГ	Десульфурация дымовых газов
ВЭВФ	Высокоэффективный воздушный фильтр
H <sub>2</sub> O	Вода
H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	Селенистая кислота
Hg	Ртуть
HgCl <sub>2</sub>	Хлористая ртуть
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Каломель
Hg <sup>+</sup>	Ион ртути
HgO	Окись ртути
HgSO <sub>4</sub>	Сульфат ртути (II)

<sup>1</sup> Последние справочные документы, содержащие информацию о всех соответствующих секторах, используемых методах и процессах, нынешних уровнях выбросов и потребления, НИМ и новых методах, содержатся в Интернете по следующему адресу: <http://eippcb.jrc.es/reference/>.

---

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Серная кислота
КЦКГ	Комбинированный цикл комплексной газификации
К	Кельвин
кПа	Килопаскаль
кВт <sub>эл</sub>	Электрический киловатт
мг/л	Миллиграмм на литр
мг/м <sup>3</sup>	Миллиграмм на метр кубический
мг/Нм <sup>3</sup>	Миллиграмм на нормальный кубический метр
мг/т	Миллиграмм на тонну
Мг	Мегаграмм, метрическая тонна
Mn	Марганец
БУР	Блоки для удаления ртути
ТМР	Технология молекулярного распознавания
мкг/Нм <sup>3</sup>	Микрограмм на нормальный кубический метр
Ni	Никель
NO <sub>x</sub>	Окись азота
O <sub>2</sub>	Кислород
Pb	Свинец
ПАРКОМ	Комиссия по предотвращению загрязнения морской среды из наземных источников
ПХДД/Ф	Полихлоридные дибензопарадиоксины и полихлорированные дибензофураны
PM	Дисперсные частицы
ppm	Частей на миллион
Sb	Сурьма
ИКВ	Избирательное каталитическое восстановление
Se	Селен
Sn	Олово
SO <sub>2</sub>	Двуокись серы
SO <sub>3</sub>	Трехокись серы
SO <sub>x</sub>	Оксиды серы
ООУ	Общий органический углерод
ЮНЕП	Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде
V	Ванадий

## I. Введение

1. Настоящий руководящий документ посвящен возможным вариантам ограничения выбросов тяжелых металлов: кадмия, свинца и ртути. Он призван служить Сторонам Протокола по тяжелым металлам к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния руководством при определении наилучших имеющихся методов для стационарных источников, с тем чтобы они могли выполнять обязательства по Протоколу.
2. В настоящем руководящем документе определение НИМ идентично определению НИМ, содержащемуся в приложении III к Протоколу по тяжелым металлам.

### **Определение наилучших имеющихся методов, содержащееся в приложении III к Протоколу по тяжелым металлам (пункты 2 и 3)**

2. Выражение "наилучшие имеющиеся методы" означает наиболее эффективные и передовые на данном этапе меры и способы их применения, которые свидетельствуют о практической применимости конкретных методов для обеспечения, основы для установления предельных значений выбросов (и других условий выдачи разрешений), которые предназначены для предотвращения, а в тех случаях, когда это практически не реализуемо, для общего сокращения выбросов и воздействия на окружающую среду в целом:
  - a) "методы" включает в себя как используемую технологию, так и способы проектирования, сооружения, обслуживания, эксплуатации и вывода из эксплуатации установки;
  - b) "имеющиеся" методы означает методы, разработанные в масштабе, позволяющем внедрять их в соответствующем промышленном секторе, в приемлемых с экономической и технической точек зрения условиях, с учетом затрат и выгод, независимо от того, происходит или нет использование или производство этих методов на территории соответствующей Стороны, при условии, что оператор имеет к ним приемлемый доступ;
  - c) "наилучшие" означает самые эффективные для достижения высокого общего уровня охраны окружающей среды в целом.
3. Для определения НИМ применяются следующие критерии:
  - a) использование малоотходной технологии;
  - b) использование менее опасных веществ;
  - c) содействие рекуперации и рециркуляции веществ, образующихся и используемых в ходе технологического процесса, и, в соответствующих случаях, отходов;
  - d) сопоставимые процессы, установки или методы, которые были с успехом испытаны в промышленных масштабах;
  - e) технические достижения и изменения в сфере научных знаний и понимания;
  - f) характер, воздействие и объем соответствующих выбросов;
  - g) сроки ввода в эксплуатацию новых или существующих установок;

- h) период времени, который необходим для внедрения наилучших имеющихся методов;
- i) потребление и характер сырьевых материалов (включая воду), используемых в ходе процесса, а также энергоэффективность;
- j) необходимость предотвращения или сведения к минимуму общего воздействия выбросов на окружающую среду и риски для нее;
- k) необходимость предотвращения аварий и сведения к минимуму их последствия для окружающей среды;
- l) информация, публикуемая национальными и международными организациями.

Концепция НИМ не имеет своей целью предписывать какие-либо конкретные методы или технологии, а направлена на обеспечение учета технических характеристик соответствующей установки, ее географического положения и местных природных условий.

3. Информация об эффективности мер по ограничению выбросов и связанных с этим издержках основывается на официальной документации Исполнительного органа и его вспомогательных органов, в частности на документах, полученных и рассмотренных Целевой группой по тяжелым металлам. Также был обеспечен учет другой международной информации, такой как справочные документы по НИМ (БРЕФ) Европейского бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнений, Глобальные оценки по ртути 2002 и 2008 годов, подготовленные Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), и различные технические доклады Агентства по охране окружающей среды Соединенных Штатов (АООС США), Министерства охраны окружающей среды Канады и Европейской комиссии, а также информация, непосредственно предоставленная экспертами.

4. Опыт, касающийся новых продуктов и новых установок, в которых используются методы, обеспечивающие низкий уровень выбросов, а также опыт модернизации существующих установок, постоянно накапливается; поэтому может возникнуть необходимость в обновлении настоящего руководящего документа.

5. Хотя в данном руководящем документе перечислен ряд мер, имеющих разную стоимость и эффективность, он не может рассматриваться в качестве исчерпывающего перечня вариантов ограничения выбросов. Выбор мер в каждом конкретном случае будет зависеть от ряда таких факторов, как экономические условия, технологическая инфраструктура, наличие тех или иных устройств для ограничения выбросов, аспекты безопасности, потребление энергии и категория источника – новый или уже существующий – и может ограничиваться этими факторами.

6. В настоящем руководящем документе учитываются выбросы кадмия (Cd), свинца (Pb) и ртути (Hg) и их соединений в твердой (вместе с частицами) и/или газообразной форме. Конкретные виды соединений в этом документе в основном не рассматриваются. В то же время учитывается эффективность устройств для ограничения выбросов с точки зрения физических свойств тяжелого металла, особенно в случае ртути.

7. При отсутствии иного указания величины выбросов выражаются в миллиграммах на метр кубический ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) и приводятся для стандартных условий (объем при 273,15 Кельвина (К), 101,3 килопаскаля (кПа), сухой газ) без поправки на содержание кислорода, а также рассчитываются в соответствии с проектом стандарта Европейского комитета по стандартизации (ЕКС) и, в некоторых случаях, на основе национальных методов взятия проб и мониторинга.

8. Содержание тяжелых металлов в пыли характеризуется значительными различиями в зависимости, например, от сектора, вида сырья и топлива. Для получения информации о фактических выбросах и расчета коэффициентов выбросов необходим мониторинг тяжелых металлов.

## **II. Общие возможные варианты сокращения выбросов тяжелых металлов и их соединений**

9. Существует несколько возможностей ограничения или предотвращения выбросов тяжелых металлов. Основным направлением мер по сокращению выбросов является применение дополнительных технологий и модификаций процессов (включая техническое обслуживание и эксплуатационный контроль). В зависимости от технических и/или экономических условий более общего характера могут применяться следующие меры:

а) применение технологических процессов, обеспечивающих низкий уровень выбросов, особенно на новых установках;

б) очистка отходящих газов (вторичные меры по сокращению выбросов) с помощью фильтров, скрубберов, абсорберов и т.д.;

в) замена или подготовка сырья, топлива и/или других исходных материалов (например, использование сырья с низким содержанием тяжелых металлов);

г) применение наиболее эффективных методов управления, включая разумное хозяйствование, реализацию программ профилактического технического обслуживания и ремонта или принятие таких первичных мер по ограничению выбросов, как изолирование процессов, при которых образуется пыль;

д) применение надлежащих методов регулирования природопользования при использовании и удалении некоторых продуктов, содержащих Cd, Pb и/или Hg.

10. Для того чтобы соответствующие методы и практика регулирования применялись надлежащим образом и обеспечивали реальное сокращение выбросов, необходимо осуществлять мониторинг процедур борьбы с загрязнением. Такой контроль включает в себя:

а) инвентаризацию тех вышеуказанных мер по сокращению выбросов, которые уже применяются;

б) сопоставление фактических уровней сокращения выбросов Cd, Pb и Hg с целями Протокола;

в) количественную оценку выбросов Cd, Pb и Hg из соответствующих источников с применением необходимых методов;

d) осуществление регулируемыми органами периодической проверки применяемых мер по борьбе с загрязнением в целях обеспечения их постоянной эффективности.

11. Меры по сокращению выбросов должны быть затратноэффективными. Основным критерием затратноэффективности стратегии должны быть общие годовые расходы из расчета на единицу сокращения выбросов (включая капитальные и эксплуатационные затраты). Расходы на сокращение выбросов должны также рассматриваться в контексте всего процесса.

### III. Методы ограничения выбросов

12. К основным категориям имеющихся методов ограничения выбросов Cd, Pb и Hg относятся такие первичные меры, как замена сырья и/или топлива и использование технологических процессов, обеспечивающих низкий уровень выбросов, и такие вторичные меры, как ограничение выбросов вне системы домовых труб и очистка отходящих газов. В главе IV приведены конкретные секторальные методы.

13. Источником данных об эффективности является опыт, накопленный в процессе эксплуатации, и эти данные признаются объективно отражающими возможности используемых в настоящее время установок. Общая эффективность методов очистки отходящих газов и сокращения диффузных выбросов во многом зависит от характеристик газо- и пылесборников<sup>2</sup> (например, вытяжные колпаки). Доказано, что эффективность улавливания/сбора может превышать 99%. В конкретных случаях, как показывает опыт, меры по ограничению выбросов позволяют обеспечить сокращение их общего объема на 90% и более.

14. В случае выбросов Cd, Pb и Hg вместе с частицами металлы могут улавливаться с помощью пылеуловителей. Типичные уровни концентрации пыли после газоочистки теми или иными методами приведены в таблице 1. Большинство из этих мер обычно применяются во многих секторах. Минимальная предполагаемая эффективность отдельных методов улавливания газообразной ртути в общем виде показана в таблице 2. Степень сокращения концентрации ртути, указанная в таблице 1, главным образом определяется химическим состоянием и формой ртути (например, окисленная, элементарная и связанная с частицами). Применение этих мер зависит от конкретных процессов и наиболее уместно в тех случаях, когда концентрации ртути в отходящих газах являются высокими.

---

<sup>2</sup> Термины "пыль" и "дисперсное вещество" используются взаимозаменяемо на протяжении всего данного документа.

Таблица 1  
**Эффективность пылеуловителей, выраженная в виде среднечасовых показателей концентрации пыли**

<i>Пылеуловители</i>	<i>Часовые показатели концентрации пыли после очистки (мг/м<sup>3</sup>)</i>
Тканевые фильтры	< 1–5
Тканевые фильтры мембранного типа	< 1
Сухие электростатические осадители	< 5–15
Мокрые электростатические осадители	< 1–5
Скрубберы высокой эффективности	< 20
Керамические фильтры	0,1–1

*Источник:* Доклад "Assessments of technological developments: Best available techniques (BAT) and limit values", представленный на четвертом совещании Целевой группы по тяжелым металлам (Вена, 6–8 июня 2007 года). Размещен по адресу <http://www.unece.org/fuleadmin.DAM/env/Irtap/TaskForce/tfhm/Post-Ottawa/htm>.

*Примечание:* Скрубберы и циклоны, работающие при среднем и низком давлении, как правило, отличаются меньшей эффективностью удаления пыли и не рассматриваются в качестве НИМ как таковых.

Таблица 2  
**Минимальная предполагаемая эффективность сепараторов ртути, выраженная в виде среднечасовых показателей концентрации ртути**

<i>Сепаратор ртути</i>	<i>Содержание ртути после очистки (мг/м<sup>3</sup>)</i>
Селеновый фильтр	< 0,01
Селеновый скруббер	< 0,2
Угольный фильтр	< 0,01
Пропитанный серой угольный фильтр	< 0,01
Вдувание угля + пылеотделитель	< 0,05
Хлоридный процесс "Одда Норцинк"	< 0,1
Процесс с применением сульфида свинца	< 0,05
Процесс Болкема (с использованием тиосульфата)	< 0,1
Вдувание бромированного активированного угля + пылеотделитель	0,001

15. Необходимо следить за тем, чтобы применение этих методов ограничения выбросов не создавало других экологических проблем, например из-за увеличения загрязнения воды жидкими стоками. Следует также принимать во внимание дальнейшую судьбу пыли и содержащего ртуть активированного угля, улавливаемых благодаря более совершенным методам газоочистки. Негативные экологические последствия удаления таких отходов уменьшают выигрыш от сокращения атмосферных выбросов технологической пыли и дыма. Результаты исследований, проведенных Агентством по охране окружающей среды Соединенных Штатов, свидетельствуют о том, что ртуть эффективно схватывается активированным углем и не выносится в почву, например из свалок мусора.

16. Меры по сокращению выбросов могут быть сосредоточены на технологических методах или же на очистке отходящих газов. Оба этих подхода взаимосвязаны: выбор конкретного процесса может исключать применение некоторых методов газоочистки.

17. Выбор методов ограничения выбросов зависит от таких параметров, как концентрация и/или состав загрязнителя в необработанном газе, объемный расход газа, температура газа и другие показатели. В результате этого области применения могут частично совпадать; в этом случае наиболее подходящий метод должен выбираться с учетом конкретных условий.

18. Ниже описываются адекватные меры по сокращению выбросов дымовых газов в различных секторах. Необходимо учитывать выбросы вне системы дымовых труб. Важным экологическим фактором на местном уровне может быть ограничение пылевых выбросов, связанных с удалением, перемещением и хранением сырья или побочных продуктов, хотя они и не переносятся на большие расстояния. Выбросы можно сократить путем переноса этих видов деятельности в полностью изолированные здания, которые можно оборудовать системами вентиляции, пылеулавливания и увлажнения и другими подходящими устройствами для ограничения выбросов. При хранении на открытом воздухе поверхность материала должна быть защищена таким образом, чтобы его не разносило ветром. Площадки для хранения и дороги должны содержаться в чистоте.

19. Данные об инвестициях/расходах, приведенные в таблицах, были собраны из различных источников и в значительной степени обусловленные конкретными обстоятельствами. Они зависят от таких факторов, как мощность установки, эффективность удаления и концентрация загрязнителя в необработанном газе, тип технологии, а также от выбора новых установок как альтернативы реконструкции.

## IV. Секторы

20. В этой главе приводится таблица с посекторальными характеристиками, в которой отражены основные источники выбросов, меры по ограничению выбросов, основанные на наилучших имеющихся методах, их эффективность в плане сокращения выбросов и, при условии наличия данных, соответствующие затраты. Если не указано иного, то приводимая в таблицах эффективность сокращения выбросов относится к выбросам непосредственно из дымовых труб.

### A. Сжигание ископаемых топлив в котельных электростанций общего пользования и промышленных предприятий (приложение II, категория 1)

21. Сжигание угля в котельных электростанций общего пользования и промышленных предприятий является основным источником антропогенных выбросов ртути. Содержание тяжелых металлов в угле обычно на несколько порядков выше, чем в нефти или природном газе. В некоторых случаях целесообразно переходить на использование топлива с меньшим содержанием ртути, если таковое имеется (например, природный газ или конкретные виды угля с низким содержанием ртути).

22. Повышение эффективности процессов преобразования энергии и мер по энергосбережению приведет к сокращению выбросов тяжелых металлов в связи с уменьшением потребностей в топливе. Сжигание природного газа или альтер-

нативных видов топлива с низким содержанием тяжелых металлов вместо использования угля также приведет к значительному сокращению выбросов тяжелых металлов, таких как ртуть, и может рассматриваться в качестве одной из разновидностей НИМ. Технология комбинированного цикла комплексной газификации (КЦКГ) является высокоэффективной технологией, которая может позволять сокращать выбросы в сравнении с крупными энергетическими установками, которые работают на твердом топливе и в которых не используется технология КЦКГ.

23. Если не учитывать ртуть, то тяжелые металлы в выбросах находятся главным образом в твердом состоянии и связаны с частицами летучей золы. Поэтому НИМ по сокращению выбросов тяжелых металлов предусматривают, как правило, применение высокоэффективного оборудования для удаления пыли, такого как электростатические осадители (ЭСО) или тканевые фильтры (ТФ).

24. Обогащение, например "отмывание" или "биологическая обработка", угля снижает содержание тяжелых металлов, связанных в угле с неорганическими веществами, однако предусматривает сбросы тяжелых металлов в водную среду. Вместе с тем эффективность удаления тяжелых металлов с помощью этой технологии варьируется в широких пределах. Кроме того, добавление галогенов (в особенности бромидов) в топливо может способствовать окислению менее летучих ртутных соединений, которые могут удаляться в ЭСО или в ходе десульфурации дымовых газов (ДДГ).

25. Что касается НИМ для пыли, то в случае сжигания угля и лигнита и жидкого топлива общий показатель извлечения пыли может превышать 99,5% при использовании ЭСО (степень сокращения содержания пыли > 99,5%) или ТФ (степень сокращения содержания пыли > 99,5%). Использование как ЭСО, так и ТФ рассматривается в качестве НИМ, при этом среднесуточный показатель концентрации пыли может находиться в диапазоне от менее 5 мг/м<sup>3</sup> до 20 мг/м<sup>3</sup> (при содержании кислорода в дымовых газах – 6% в случае твердых видов топлива и 3% – жидких видов топлива)<sup>3</sup>. В том случае если крупные энергетические установки, работающие на угле и имеющие ЭСО или ТФ, оснащены эффективным и постоянно обслуживаемым оборудованием, эти среднегодовые показатели могут составлять менее 5 мг/м<sup>3</sup>. Если не считать ртуть, то возможный диапазон сокращения выбросов тяжелых металлов составляет как минимум 90–99% в случае использования ЭСО или ТФ, при этом для элементов, характеризующихся более высокой степенью летучести, этот показатель является более низким.

26. Ртуть по крайней мере частично и вплоть до 90% присутствует в паровой фазе, и ее сбор с помощью оборудования для удаления пыли характеризуется значительными различиями. Снижению содержания газообразной ртути в отходящих газах способствует низкая температура фильтров. В результате впрыскивания химически обработанного активированного угля, например броминированного активированного угля, в поток дымовых газов до поступления в ЭСО или ТФ содержание ртути и ее солей можно сократить более чем на 90% (кон-

<sup>3</sup> В руководящем документе Гётеборгского протокола по методам ограничения выбросов серы, оксидов азота, летучих органических соединений и дисперсного вещества (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и сажи углерод), принятом Исполнительным органом в 2012 году (ECE/EB.AIR/117, готовится к выпуску), выбросы пыли в случае существующих установок мощностью 50–100 МВт в диапазоне 5–30 мг/м<sup>3</sup> классифицированы как НИМ. В случае существующих установок мощностью 100–300 МВт выбросы пыли в диапазоне 5–25 мг/м<sup>3</sup> классифицированы как НИМ.

центрация ( $\text{Hg} < 1$  микрограмм на нормальный кубический метр ( $\text{мкг/Нм}^3$ )), а сами эти вещества могут уноситься зольной пылью.

27. Применение методов сокращения выбросов окислов азота с помощью избирательного каталитического восстановления (ИКВ) в сочетании с улавливанием двуокиси серы из дымового газа может позволять также удалять тяжелые металлы. Для ЭСО или ТФ, используемых в сочетании с методами мокрой ДДГ, можно получить средний показатель удаления Hg в размере 75% для некоторых видов угля и/или в случае присутствия в дымовом газе необходимого количества окисляющего вещества (например, галогенов). Если до ДДГ осуществляется удаление пыли с помощью высокоэффективного оборудования ИКВ, то можно получить средний показатель удаления Hg в размере 90% при условии, что в дымовом газе присутствует адекватный объем галогенов (например, естественным образом присутствующий хлор или добавляемый бром). Наибольшие уровни удаления ртути обычно обеспечиваются с помощью систем ограничения выбросов (например, ИКВ, ДДГ плюс оборудование для ограничения выбросов дисперсного вещества), в которых используются ТФ. Процесс улавливания ртути можно активизировать путем впрыскивания (химически обработанного) активированного угля или добавления других окисляющих соединений в дымовой газ до его поступления в ЭСО или ТФ или же за счет направления дымового газа через всю поверхность угольного фильтрующего слоя, за исключением источников сжигания, большим объемом выбросов.

28. Считается, что наименее дорогостоящими вариантами модернизации оборудования для ограничения выбросов Hg из агрегатов, оснащенных ЭСО или ТФ, являются:

- a) модификация систем сухой ДДГ путем использования соответствующих сорбентов для улавливания Hg;
- b) инъекция сорбента до попадания выбросов в ЭСО или ТФ;
- c) инъекция сорбента между ЭСО и ТФ с импульсной очисткой, устанавливаемого после ЭСО;
- d) установка полусухого абсорбера с циркулирующим псевдоожиженным слоем (АЦПОС) до существующего ЭСО, используемого в сочетании со впрыскиванием сорбента.

29. Эффективность удаления ртути с помощью мокрого скруббера можно повысить путем:

- a) оптимизации соотношения жидкости и газа;
- b) совершенствования конструкции колонн для мокрой ДДГ. Результаты исследований свидетельствуют о том, что оптимальная конструкция тарельчатой колонны или колонны с открытым орошением в значительной степени способствует удалению окисленной ртути из котельного дымового газа;
- c) впрыскивания активированного угля, пропитанного добавками (например, серой, бромом), которое увеличивает адсорбционную способность;
- d) увеличения пропорции окисленной ртути за счет:
  - i) установки оборудования для ИКВ до мокрого скруббера;
  - ii) предварительной обработки угля (например, с помощью бромистого кальция ( $\text{CaBr}_2$ )).

30. Наиболее затратоэффективным методом ограничения выбросов ртути из крупных установок для сжигания является технология комплексного ограничения выбросов ряда загрязнителей (диоксида серы (SO<sub>2</sub>), оксидов азота (NO<sub>x</sub>), дисперсного вещества (PM) и Hg). Путем применения сочетания таких технологий и устройств, как ИКВ, ДДГ и ЭСО или ТФ, концентрацию ртути (газообразной и твердой) в дымовых газах можно сократить до среднесуточных уровней ниже 0,003 мг/м<sup>3</sup> при 6% O<sub>2</sub>. На демонстрационном этапе находится процесс окисления газообразных загрязнителей с целью одновременного улавливания оксидов серы (SO<sub>x</sub>), NO<sub>x</sub> и Hg.

Таблица 3

**Меры по ограничению выбросов, эффективность их сокращения и затраты на сокращение выбросов при сжигании твердых и жидких видов ископаемого топлива**

<i>Меры по ограничению выбросов</i>	<i>Эффективность сокращения (%)</i>	<i>Ориентировочные затраты на сокращение выбросов (общие затраты в долл. США)</i>
Переход на топливо с более низким уровнем выбросов тяжелых металлов	Пыль: 70–100 <sup>a</sup>	Весьма различны в каждом конкретном случае
Очистка угля	Cd, Pb: до 80 <sup>b</sup> ; Hg <sup>c</sup> : 10–50	
ЭСО (с холодными стенками)	Cd, Pb: > 90 <sup>a</sup> ; Hg <sup>c</sup> : 10–40 <sup>a</sup> PM: > 99,5–99,8 <sup>b</sup>	Удельные инвестиции в размере 5–10 долл. США/м <sup>3</sup> отработанного газа в час (> 200 000 м <sup>3</sup> /ч) <sup>a</sup>
(Мокрая) десульфурация дымовых газов (ДДГ) <sup>d</sup>	Cd, Pb: > 90 <sup>a</sup> ; Hg <sup>e</sup> : 30–70 <sup>f,b</sup>	15–30/Мг отработанного газа <sup>a</sup>
ТФ	Cd: > 95 <sup>a</sup> ; Pb: > 99 <sup>a</sup> ; Hg <sup>c</sup> : 10–60 <sup>a</sup> PM > 99,95 <sup>b</sup>	Удельные инвестиции в размере 8–15 долл. США/м <sup>3</sup> отработанного газа в час (> 200,000 м <sup>3</sup> /ч) <sup>a</sup>
ЭСО или ТФ и ДДГ	Hg <sup>e</sup> : 75 (средний показатель) <sup>g</sup>	0,03–0,15 центов США/кВт·ч <sup>h</sup>
ЭСО или ТФ и впрыскивание сорбента	Hg: 50–> 95	Сокращение выбросов на 90%: 35 000–70 000 долл. США на фунт <sup>i</sup> удаляемой Hg (0,0003–0,002 долл. США/кВт·ч) <sup>b</sup>
Впрыскивание (броминированного) активированного угля (ВАУ)	Hg: > 90	15 000 долл. США на фунт удаляемой Hg/0,0012 долл. США/кВт·ч (только ВАУ)/6–30 млн. евро на одну установку или 0,0001 евро на 1 кВт·ч); 1–2 млн. долл. США на одну установку <sup>j</sup> ; 0,0005–0,003 долл. США/кВт·ч <sup>k</sup>
ЭСО или ТФ и угольный фильтрующий слой	Hg: 80–90 <sup>b</sup>	33 000–38 000 долл. США на фунт удаляемой Hg <sup>b</sup>

<i>Меры по ограничению выбросов</i>	<i>Эффективность сокращения (%)</i>	<i>Ориентировочные затраты на сокращение выбросов (общие затраты в долл. США)</i>
ЭСО или ТФ и ДДГ и ИКВ (подход, охватывающий широкий круг загрязнителей)	Hg: 90 (среднее значение) <sup>b</sup> Hg: 30–70 для суббитуминозного угля и лигнита <sup>h</sup>	Отсутствие каких-либо дополнительных затрат для сокращения выбросов Hg на основе использования подхода, охватывающего широкий круг загрязнителей, для SO <sub>2</sub> и NO <sub>x</sub> <sup>l</sup>

<sup>a</sup> См. Протокол по тяжелым металлам, приложение III.

<sup>b</sup> См. проект справочного документа "Assessments of technological developments: Best Available Techniques (BAT) and limit values" для третьего совещания Целевой группы по тяжелым металлам, апрель 2006 года; размещен по адресу <http://www.unecese.org/env/lrtap/taskforce/tfhm/3rdmeeting.html>.

<sup>c</sup> В зависимости от типа используемого угля.

<sup>d</sup> Эффективность удаления Hg возрастает пропорционально содержанию ионной ртути. Установки ИКВ в случае высокого уровня запыленности способствуют образованию Hg(II). Эффективность удаления можно повысить путем впрыскивания в дымовой газ адекватного количества галогенов.

<sup>e</sup> В зависимости от формы присутствующей ртути (HgO, Hg+).

<sup>f</sup> Этот показатель эффективности относится, главным образом, к сокращению выбросов SO<sub>2</sub>. Сокращение выбросов тяжелых металлов осуществляется побочно (размер удельных инвестиций составляет 60–250 долл. США/кВт<sub>эл</sub>). Размер затрат, связанных с мокрыми скрубберами, установленными, главным образом, для улавливания ртути, составляет от 76 000 долл. США до 174 000 долл. США на фунт удаляемой ртути).

<sup>g</sup> См. O. Rentz et al., «Erstellung eines wissenschaftlichen Gutachtens zur Unterstuetzung des "Review der Technischen Anhaenge des UNECE Schwermetallprotokolls"» (Карлсруэ, Французско-германский институт экологических исследований, ноябрь 2006 года).

<sup>h</sup> См. Европейский союз, *Integrated Pollution Prevention and Control: Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants* (2006); размещен по адресу [http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/lcp\\_bref\\_0706.pdf](http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/lcp_bref_0706.pdf).

<sup>i</sup> Международный фунт равен 0,45359237 килограмма.

<sup>j</sup> Информация, представленная химической компанией "Альбемарле" (<http://albemarle.com/Albemarle/Home-3.html>).

<sup>k</sup> См. *IPM Model – Revisions to Cost and Performance for APC Technologies: Mercury Control Cost Development Methodology* (Chicago, United States, Sargent & Lundy, March 2011); размещен по адресу [http://www.epa.gov/airmarkets/progsregs/epa-ipm/docs/append5\\_3.pdf](http://www.epa.gov/airmarkets/progsregs/epa-ipm/docs/append5_3.pdf).

<sup>l</sup> См. "Сокращение выбросов ртути на угольных электростанциях". Неофициальный документ № 3, сорок восьмая сессия Рабочей группы по стратегиям и обзору, 2011 год; размещен по адресу <http://www.unecese.org/env/lrtap/workinggroups/wgs/docs48thsession.html>.

## **В. Первичное производство чугуна и стали (приложение II, категории 2 и 3)**

31. Данный раздел посвящен выбросам агломерационных фабрик, фабрик окатышей, доменных печей и сталелитейных заводов, работающих по технологии кислородно-конвертерного (КК) производства с последующей разливкой. На металлургических комбинатах, агломерационных фабриках и сталелитейных заводах образуется наибольший объем выбросов большинства атмосферных загрязнителей, включая тяжелые металлы. Выбросы Cd, Pb и Hg поступают в окружающую среду вместе с пылью. Содержание интересующих нас тяжелых ме-

таллов в пыли зависит от состава сырья и важных видов легирующих металлов. Наиболее релевантные меры по сокращению выбросов отражены в таблице 4. По возможности, следует использовать ТФ, а если соответствующие условия не позволяют сделать этого, то можно применять ЭСО и/или высокоэффективные скрубберы.

32. В качестве НИМ рассматриваются следующие методы:

а) **для агломерационных фабрик** НИМ для удаления пыли из первичного отработанного газа предусматривает сокращение пылевых выбросов из отработанных газов, отходящих от агломерационной ленты, с помощью рукавного фильтра. Для существующих установок, на которых нельзя применять рукавные фильтры, следует использовать новейшие ЭСО. НИМ для первичных выбросов, отходящих от агломерационных лент, предусматривает предотвращение или сокращение выбросов ртути путем выбора сырьевых материалов с низким содержанием ртути или обработку отработанных газов в сочетании с впрыском активированного угля или активированного буроугольного кокса. По возможности, следует рециркулировать часть отработанных газов с целью сокращения их объема, а также выбросов ряда других загрязнителей (например,  $\text{NO}_x$  или полихлоридные дебензопарадиоксины и полихлорированные дибензофураны (ПХДД/Ф)). Просьба принять к сведению тот факт, что рециркуляция отработанных газов не затрагивает конкретные выбросы тяжелых металлов в пересчете на тонну агломерата. НИМ для вторичных выбросов, образующихся в результате разгрузки агломерационной ленты, дробления агломерата, охлаждения, грохочения и в точках конвейерной передачи, предусматривает предупреждение пылевых выбросов и/или обеспечение эффективного удаления пылевых выбросов путем использования сочетания следующих методов:

- i) закрытие кожухом и/или колпаком;
- ii) применение ЭСО или рукавного фильтра.

Уровень выбросов ртути из агломерационных установок составляет  $< 0,03-0,05$  мг/Нм<sup>3</sup>;

б) **для фабрик окатышей** НИМ предусматривает сокращение пылевых выбросов в отработанных газах, образующихся в ходе предварительной обработки сырья, сушки, измельчения, увлажнения, смешивания и комкования; на ленте для уплотнения окатышей и в ходе обработки и отсева окатышей, путем использования одного из нижеследующих устройств или их сочетания:

- i) ЭСО;
- ii) рукавного фильтра;
- iii) мокрого скруббера;
- с) **для доменных печей:**

i) НИМ для литейных цехов (выпускные желоба, переносные желоба, точки для загрузки барабанного ковша, шлакоотделители) предусматривает предотвращение или сокращение диффузных выбросов путем использования следующих методов:

- a. обеспечения переносных желобов защитным покровом;
- b. оптимизации эффективности улавливания диффузных пылевых выбросов и дыма с последующей очисткой отходящих газов с помощью электростатического осадителя или рукавного фильтра;

- c. подавления дыма путем использования азота при выпуске чугуна в тех случаях, когда это возможно и не установлено какой-либо системы для сбора и удаления пыли в тот момент, когда образуются выбросы при выпуске чугуна;
- ii) НИМ предусматривает минимизацию выбросов доменного газа при загрузке шихты путем использования одного из нижеследующих устройств или их сочетания:
  - a. колошника без конуса засыпного аппарата с первичным и вторичным выравниванием;
  - b. газовой или вентиляционной регенерационной системы;
- iii) для очистки доменного газа НИМ предусматривает сокращение пылевых выбросов путем использования одного из нижеследующих методов или их сочетания:
  - a. установки устройств для предварительного сухого удаления пыли (таких, как отражатели, пылеуловители, циклоны, ЭСО);
  - b. последующей установки устройств для борьбы с пылью (таких, как промывные решетки, скрубберы с трубами Вентури, скрубберы с кольцевым зазором, мокрые электростатические осадители, дезинтеграторы);
- d) **для сталелитейных заводов, работающих по технологии кислородно-конверторного (КК) производства:**
  - i) НИМ для рекуперации КК газов путем замедленного сжигания предусматривает максимально возможное удаление КК газа во время продувки и его очистку путем использования сочетания следующих методов:
    - a. процесса замедленного сжигания;
    - b. предварительного удаления крупных частиц пыли с помощью методов сухой сепарации (например, дефлектор, циклон) или мокрых сепараторов;
    - c. удаления пыли путем:
      - i. сухого удаления пыли (например, использование ЭСО для новых и существующих установок);
      - ii. мокрого удаления пыли (например, использование мокрых электростатических осадителей или скрубберов) для существующих установок;
  - ii) НИМ для рекуперации КК газов во время продувки кислородом в случае полного сгорания предусматривает сокращение выбросов пыли путем использования одного из следующих методов:
    - a. сухого удаления пыли (например, использование ЭСО или рукавного фильтра) для новых и существующих установок;
    - b. мокрого удаления пыли (например, использование мокрых ЭСО или скрубберов) для существующих установок.

33. НИМ для вторичного удаления пыли предусматривает минимизацию выбросов пыли путем использования комплексных технологических методов, таких как общие методы для предотвращения или ограничения диффузных выбросов или выбросов вне системы дымовых труб, и вытяжных и конвертерных зонтов с высокой эффективностью экстракции и последующей очисткой отходящих газов с помощью рукавного фильтра или ЭСО или других устройств, обладающих аналогичной эффективностью удаления пыли. Это применяется также в отношении выбросов, возникающих в ходе следующих процессов:

- а) перелива жидкого металла из миксеровоза (или миксера для жидкого чугуна) в загрузочный ковш;
- б) предварительной обработки жидкого металла (т.е. предварительный нагрев соответствующих камер, десульфуризация, дефосфоризация, удаление шлака, процессы переноса жидкого металла и взвешивание);
- в) связанных с технологиями КК процессов, таких как предварительный нагрев соответствующих камер, выбросы жидкого металла во время кислородной продувки, загрузка жидкого металла и скрапа, слив жидкой стали и шлака и КК;
- г) вторичной металлургической и непрерывной разливки.

Для КК общая средняя эффективность сбора пыли с использованием НИМ значительно превышает 90%.

Таблица 4

**Источники выбросов, меры по ограничению выбросов, эффективность и издержки сокращения пылевых выбросов при первичном производстве черных металлов**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Меры по ограничению выбросов</i>	<i>Эффективность сокращения пылевых выбросов (%)</i>	<i>Уровни пылевых выбросов (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>	<i>Затраты на борьбу с загрязнением</i>
Первичные выбросы на агломерационных фабриках	Оптимизированное по выбросам спекание	около 50		
	Рукавные фильтры	> 99	1–15	3 000–16 000 евро/год <sup>a</sup>
	Новейшие ЭСО (ЭСО с движущимися электродами, импульсная система с ЭСО, высоковольтные ЭСО...)		20–40 Hg: < 0,03–0,05 мг/Нм <sup>3</sup>	
Вторичные выбросы на агломерационных фабриках	Рукавные фильтры		< 10	
	ЭСО		< 30	
Фабрики окатышей	ЭСО + известковые реакторы + тканевые фильтры	> 99		
	Скрубберы или полусухая десульфуризация и последующее удаление пыли	> 95	< 10	
	Дробление, помол, сушка		< 20	
	Другие технологические этапы		< 10–15	

<i>Источник выбросов</i>	<i>Меры по ограничению выбросов</i>	<i>Эффективность сокращения пылевых выбросов (%)</i>	<i>Уровни пылевых выбросов (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>	<i>Затраты на борьбу с загрязнением</i>
Очистка доменного газа	ЭСО	> 99	< 10	ЭСО: 0,24–1 долл. США/Мг предельного чугуна
	Мокрые скрубберы	> 99	< 10	
	Мокрые ЭСО	> 99	< 10	
Доменные печи	Улавливание диффузных выбросов, исходящих из литейного пролета/литейного цеха, и последующее удаление пыли с помощью ТФ или ЭСО		1–15	
	Диффузные выбросы, исходящие из литейного пролета/литейного цеха			
КК	Первичное пылеулавливание: – сухой ЭСО или ТФ	> 99	10–30	Сухой ЭСО: 2,25 долл. США/Мг стали
	– мокрый ЭСО (существующие установки)		< 50	
	Вторичное пылеулавливание (включая обработку жидкого металла и вторичную металлургию): сухой ЭСО	> 97	< 20	ТФ: 0,26 долл. США/Мг стали
	ТФ		1–10	
Выбросы вне системы домашних труб	Закрытые ленточные конвейеры, изолирование, увлажнение хранящегося сырья, очистка дорог	80–99		

<sup>a</sup> См. проект справочного документа "Assessments of technological developments: Best Available Techniques (BAT) and limit values" для третьего совещания целевой группы по тяжелым металлам, апрель 2006 года; размещен по адресу <http://www.unece.org/env/lrtap/taskforce/tfhm/3rdmeeting.html>.

34. Методы прямого восстановления и восстановительной плавки успешно зарекомендовали себя в ходе производства чугуна в качестве технологических процессов, альтернативных использованию коксовых печей/доменных печей, и могут позволить в будущем частично отказаться от агломерационных фабрик и доменных печей. Применение этих технологий зависит от особенностей руды и требует переработки полученной продукции в электродуговых печах, которые должны оснащаться соответствующими очистными устройствами. Поскольку тяжелые металлы содержатся в сырьевом материале, уровни их выбросов определяются эффективностью мер по борьбе с ними (а не выбором технологических этапов).

### С. Вторичное производство чугуна и стали (приложение II, категория 3)

35. Вторичное производство черных металлов осуществляется главным образом на основе использования электродуговых печей (ЭДП). НИМ для удаления первичной и вторичной пыли ЭДП (включая предварительный нагрев скрапа, загрузку, плавку, выпуск металла, использование агрегатов "ковш-печь" и вторичную металлургию) предусматривает обеспечение эффективного удаления пылевых выбросов из всех источников выбросов путем применения одного из методов, перечисленных ниже, и последующее пылеулавливание с помощью ТФ:

- а) комбинированного сочетания систем прямого отвода отходящих и конверторных газов;
- б) использования системы прямого удаления газов и специальных уловителей;
- в) прямого отвода газов и оснащения всего здания вытяжной системой.

В качестве НИМ рассматривается тот метод, который позволяет обеспечить улавливание 98% и более объема первичных и вторичных выбросов из ЭДП. Удаляемые отходящие газы могут обрабатываться путем впрыскивания активированного угля и последующего пылеулавливания с помощью тканевого фильтра, который позволяет сокращать содержание пыли до менее 5 мг/Нм<sup>3</sup> и обеспечить уровни выбросов ртути в размере < 0,05 мг/Нм<sup>3</sup>. Размер удельных выбросов пыли (включая диффузные выбросы, непосредственно связанные с технологическим процессом) находится в пределах 0,06–0,35 кг/Мг стали.

36. Уровень выбросов ртути в значительной степени варьируется в зависимости от состава/качества скрапа загрузки. Как ожидается, уровни выбросов в этом секторе сократятся в результате постепенного прекращения использования ртути после полномасштабного осуществления ряда действующих директив и нормативных положений Европейского союза, таких как Директива о транспортных средствах с выработанным ресурсом<sup>4</sup>, Директива об отходах электрического и электронного оборудования<sup>5</sup> и Директива об аккумуляторных батареях<sup>6</sup>. Что касается переплавки скрапа, то в настоящее время по-прежнему используются мартеновские печи, которые будут постепенно выводиться из эксплуатации с учетом их неэффективности.

37. Содержание соответствующих тяжелых металлов в пылевых выбросах зависит от состава лома черных металлов и вида добавляемых в процессе производства стали легирующих металлов. Уровень выбросов ртути может в значительной степени зависеть от размера загружаемой шихты. Результаты измерений, произведенных в ЭДП, свидетельствуют о том, что 95% выбросов ртути и 25% выбросов кадмия происходят в виде пара, что затрудняет их улавливание. В ходе ведущихся наблюдений были отмечены превышения предельных значе-

<sup>4</sup> Директива 2000/53/ЕС Европейского парламента и Совета от 18 сентября 2000 года "О транспортных средствах с выработанным ресурсом".

<sup>5</sup> Директива 2012/19/EU Европейского парламента и Совета от 4 июля 2012 года "Об отходах электрического и электронного оборудования".

<sup>6</sup> Директива 2006/66/ЕС Европейского парламента и Совета от 6 сентября 2006 года "О батареях и аккумуляторах и их отходах", упраздняющая Директиву 91/157/ЕЕС.

ний выбросов (ПЗВ) ртути, свидетельствующие о том, что содержащиеся ртуть компоненты по-прежнему присутствуют в скрапе; могут обнаруживаться факторы выбросов ртути в размере 170 мг/т жидкой стали<sup>7</sup>. В качестве наилучшей природоохранной практики рекомендуется применять рабочие методы по предотвращению и минимизации присутствия ртути и других тяжелых металлов в скрапе, например удалять содержащиеся ртуть компоненты до рециркуляции на установках для вторичного производства черных металлов. В таблице 5 отражены наиболее эффективные методы сокращения выбросов пыли. Методы борьбы с выбросами пыли также предусматривают сокращение выбросов тяжелых металлов. Выбросы газообразного свинца и кадмия и их соединений, а также ртути, которые проходят через пылевой фильтр, могут сокращаться за счет их адсорбции углеродом, позволяющей, например, на 95% сократить выбросы ртути.

38. В последние годы в эксплуатацию был введен ряд новых видов плавильных печей, которые могут характеризоваться преимуществами в отношении выбросов тяжелых металлов и пыли: к числу таких печей относятся ЭДП Комелт и печи "Контарк", которые рассматриваются некоторыми экспертами в качестве новых методов.

Таблица 5

**Источники выбросов, меры по ограничению выбросов, эффективность и издержки, связанные с сокращением пылевых выбросов при вторичном производстве черных металлов**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Меры по ограничению выбросов</i>	<i>Эффективность сокращения пылевых выбросов (%)</i>	<i>Уровни выбросов (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>	<i>Затраты на борьбу с загрязнением (общие затраты в долл. США)</i>
ЭДП	ЭСО	> 99		
	ТФ	> 99,5	Пыль < 5	24/Мг стали
	Активированный уголь + ТФ	Hg: > 98%	Hg: < 0,05	

#### **D. Чугуно- и сталелитейное производство (приложение II, категория 4)**

39. В процессе литейного производства выбросы в воздух происходят, как правило, не из одного (или нескольких) фиксированного(ых) источника(ов). Данный процесс охватывает различные источники выбросов (например, начиная с процессов плавки и разливки). Весьма важно обеспечить эффективное улавливание всех выбросов. Этого можно добиться с помощью установки специальных уловителей или передвижных колпаков или посредством оснащения всего здания вытяжной системой. Улавливаемые выбросы необходимо подвергать очистке. В чугунолитейном производстве используются вагранки и электродуговые, индукционные, подовые и вращающиеся печи. Прямые выбросы частиц и тяжелых металлов в газообразном состоянии происходят в первую очередь при плавке и иногда в незначительных количествах – при разливке. Диффузные выбросы возникают в результате обработки сырьевых материалов, плавки, разливки и заправки печей. В таблице 6 отражены применяемые меры по сокращению выбросов, являющиеся наиболее подходящими с точки зрения

<sup>7</sup> Информация, представленная норвежским членом технической рабочей группы по черным металлам Европейского союза, 2008 год.

достижимых уровней эффективности сокращения выбросов. Размер связанных с НИМ уровней выбросов пыли после сбора и удаления пыли из отработанных газов для всех видов печей (вагранок и индукционных и вращающихся печей) и формовок (формовка по выплавляемым моделям и отливка в постоянных формах), а также для отделочных операций составляет 5–20 мг/м<sup>3</sup>.

40. В качестве НИМ рассматриваются следующие методы:

a) для плавки – в вагранке использовать отдельное дутье для вагранок на холодном дутье, применять методы обогащения вдуваемого воздуха кислородом, с тем чтобы его концентрации составляли 22–25%, сводить к минимуму периоды, в течение которых прекращено дутье, для вагранок на горячем дутье, использовать кокс с известными свойствами и надлежащим качеством и очищать отходящие печные газы с помощью рукавных фильтров или мокрых скрубберов;

b) для плавки в индукционных печах – повышать их эффективность, доводить до максимума объем улавливаемого отходящего газа в течение всего рабочего цикла и использовать сухую чистку дымовых газов, обеспечивая уровень выбросов пыли ниже 0,2 кг/т переплавленного чугуна;

c) для плавки во вращающихся печах – оптимизировать печные операции и повышать эффективность плавки. Для улавливания отходящих газов вблизи от выходного отверстия печи – обеспечивать их дожигание и охлаждение с помощью теплообменника и применять методы сухого обеспыливания;

d) для электродуговых печей уменьшение периода плавки металлов может быть обеспечено за счет тщательного контроля за составом шихты (например, общее содержание фосфора, серы и углерода), температурного контроля и применения эффективных методов удаления шлака. Использование пенистого шлака позволяет сокращать энергопотребления и, соответственно, объем образующихся отработанных газов;

e) для подовых печей использование кислородных горелок позволяет сократить объем энергии (полученной, например, с помощью газа или нефти), необходимой для выплавки чугуна, и, соответственно, общий поток отработанных газов;

f) что касается формовки, то в данном случае следует изолировать все технологические операции и удалить пыль из отработанных газов и, в случае необходимости, осуществить дожигание;

g) что касается операций чистой обработки, то применяются сбор и окончательная обработка отходящих газов с использованием систем сухой очистки.

Таблица 6

**Источники выбросов, меры по ограничению выбросов, эффективность и издержки сокращения пылевых выбросов в чугунолитейном производстве**

<i>Источник выбросов/печь</i>	<i>Меры по ограничению выбросов</i>	<i>Эффективность сокращения пылевых выбросов (%)</i>	<i>Уровни выбросов (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>
Индукционные печи	ТФ/процесс сухой абсорбции + ТФ	> 99	
Вагранка на холодном дутье	Отвод ниже днища: ТФ	> 98	
	Отвод выше днища: ТФ + предварительное обеспыливание	> 97	
	ТФ + хемосорбция	> 99	
Вагранка на горячем дутье	ТФ + предварительное обеспыливание	> 99	
	Дезинтегратор/скруббер Вентури	> 97	< 5
Электродуговые печи	ЭСО	> 99	< 5
	ТФ	> 99,5	< 10 для существующих печей

**Е. Первичное и вторичное производство цветных металлов (приложение II, категории 2, 5 и 6)**

41. Как известно, процессы плавки цветных металлов являются крупными источниками атмосферных выбросов тяжелых металлов<sup>8</sup>.

42. В данном разделе рассматриваются вопросы, связанные с выбросами и ограничением выбросов кадмия, свинца и ртути при первичном и вторичном производстве таких цветных металлов, как свинец, медь, цинк, золото, серебро, олово, никель, кремниевые- и ферромарганцевые сплавы. Ввиду использования большого числа различных сырьевых материалов и применения разнообразных процессов в этом секторе могут иметь место выбросы почти всех тяжелых металлов и их соединений. Что касается тяжелых металлов, рассматриваемых в настоящем руководящем документе, то их выброс особенно значителен при производстве меди, свинца, цинка, золота и кремниевых- и ферромарганцевых сплавов.

43. Экологические вопросы, связанные с производством большинства цветных металлов на основе первичных сырьевых материалов, например таких как руда и концентраты, затрагивают такой аспект, как атмосферные выбросы пыли, содержащей тяжелые металлы и металлы/металлические соединения. Источниками выбросов пыли и металлов являются обжиговые печи, металлургические печи, реакторы и процесс транспортировки расплавленного металла. Экологические вопросы, связанные с производством цветных металлов из вторичных сырьевых материалов, например таких как скрап, остатки и т.д., также относятся к содержащим пыль и металлы газам, отходящим от различных печей и образующимся в ходе тех или иных процессов транспортировки.

<sup>8</sup> N. Pirrone et al., "Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources", in *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 10, No. 13, (July 2010), pp. 5951–5964.

44. В большинстве случаев очистка технологических газов осуществляется с помощью ТФ. Особенно эффективна очистка технологических газов посредством использования мокрых скрубберов и мокрых электростатических осадителей (мокрые ЭСО), при этом регенерация серы, содержащейся в этих газах, осуществляется на установке для производства серной кислоты. В ряде случаев, когда пыль является абразивной или практически не проходит через фильтры, ее улавливание можно также осуществлять с помощью мокрых скрубберов. Для предотвращения образования диффузных выбросов необходимо использовать печные уплотнения и технологические процессы изолированной транспортировки и хранения. Во многих процессах диффузные выбросы являются весьма значительными и могут иметь гораздо больший объем, чем те, которые улавливаются и сокращаются. В этих случаях воздействие на окружающую среду можно сократить путем осуществления следующих мер:

- a) оптимизация технологических процессов и сведение к минимуму объемов выбросов;
- b) изоляция реакторов и печей;
- c) целенаправленное улавливание дыма;
- d) использование (передвижных) систем вентилирования над местами загрузки и разгрузки или выпуска плавки;
- e) изоляция конвейерных лент;
- f) разгрузка и хранение сырьевых материалов в изолированных зданиях (или в запечатанной упаковке); и
- g) использование спринклерных систем для предотвращения выбросов в результате движения транспортных средств.

45. В случае обеспечения этих необходимых условий пыль следует рециркулировать на самом предприятии или же на расположенных вне него установках. В приводящейся ниже таблице 7 а) приводится краткая информация о НИМ для улавливания и сокращения выбросов газов, содержащих дисперсные частицы (PM) и тяжелые металлы, на различных технологических этапах:

Таблица 7 а)

**Меры по ограничению выбросов PM для различных технологических этапов**

<i>Технологический этап</i>	<i>Меры по ограничению выбросов</i>
Обработка и хранение материалов	Надлежащее хранение, обработка и транспортировка. Сбор пыли и в случае необходимости использование тканевого фильтра
Измельчение, сушка	Улавливание пыли и использование тканевого фильтра
Спекание/обжиг, плавка, продувка в конвертере	Улавливание газа и использование тканевого фильтра, рекуперация тепла, комбинированное использование ЭСО/мокрого ЭСО и/или скрубберов
Обработка шлака	Улавливание пыли, охлаждение и использование тканевого фильтра

<i>Технологический этап</i>	<i>Меры по ограничению выбросов</i>
Повышение качества термообработки	Улавливание газа и использование тканевого фильтра, комбинированное использование ЭСО/мокрого ЭСО и/или скрубберов
Производство металлической пудры	Улавливание газа и использование тканевого фильтра
Плавка и отливка	Улавливание газа и использование тканевого фильтра

46. В рамках технологических процессов должны применяться, как правило, эффективные уловители РМ и устройства для борьбы как с первичными газами, так и с диффузными выбросами. Уровень выбросов РМ, связанный с применением НИМ, составляет менее 1–5 мг/Нм<sup>3</sup> с использованием высокоэффективных тканевых фильтров или сочетания ЭСО/мокрых ЭСО и скрубберов. В Соединенных Штатах Америки на печах для производства вторичного свинца устанавливается по меньшей мере 30 устройств для ограничения выбросов, после которых монтируются вторичные высокоэффективные воздушные фильтры (ВЭВФ). Многие из этих 30 очистных устройств, контролируемых с помощью ВЭВФ, используются для регулирования вентиляции здания и ограничения технологических выбросов вне системы дымовых труб, однако в настоящее время некоторые из этих устройств, обрабатывающих отходящие печные газы, контролируются вторичными ВЭВФ. Уровни РМ значительно ниже 1 мг/Нм<sup>3</sup> могут быть достигнуты путем использования такого сочетания некоторых очистных устройств, как ТФ + ВЭВФ или ТФ + мокрый ЭСО<sup>9</sup>.

47. Меры по сокращению выбросов Рb и Cd ограничиваются, как правило, мерами по борьбе с выбросами РМ, в то время как для сокращения выбросов Hg требуются другие конкретные меры. В таблице 7 b) ниже приводятся примеры затрат на ограничение выбросов РМ и эффективности мер по сокращению выбросов Hg.

48. Такие цветные металлы, как медь, цинк и свинец, производятся главным образом на основе использования сульфидной руды. По техническим причинам и соображениям, касающимся обеспечения качества продукции, отходящие газы должны, как правило, подвергаться тщательной очистке от пыли (< 3 мг/Нм<sup>3</sup>) и могут также требовать дополнительного удаления Hg до поступления в контактный аппарат для очистки от трехоксида серы (SO<sub>3</sub>), который также позволяет сводить к минимуму выбросы тяжелых металлов.

<sup>9</sup> Информация, сообщенная представителем АООС Соединенных Штатов в 2010 и 2012 годах.

Таблица 7 б)

**Примеры затрат на ограничение выбросов РМ и эффективности сокращения выбросов Hg**

Сектор	Удельный показатель деятельности (УПД)	Технология ограничения выбросов	Сокращение выбросов Hg (%)	Годовые расходы <sup>a</sup> (долл. США в ценах 2008 года/УПД)		
				Инвестиционные расходы	Расходы на эксплуатацию технического обслуживания	Общие расходы
Первичное производство свинца	метрическая тонна первичного свинца	сухой ЭСО	5	0,1	0,04	<b>0,1</b>
	метрическая тонна первичного свинца	ТФ	10	0,1	1,1	<b>1,2</b>
	метрическая тонна первичного свинца	Впрыскивание активированного угля + ТФ + ДДГ	90	2,5	1,3	<b>3,8</b>
Первичное производство цинка	метрическая тонна первичного цинка	сухой ЭСО	5	0,1	0,06	<b>0,2</b>
	метрическая тонна первичного цинка	ТФ	10	4,5	1,1	<b>5,6</b>
Первичное производство меди	метрическая тонна первичной меди	ТФ	5	1,8	13,8	<b>15,6</b>
	метрическая тонна первичной меди	ТФ современные тканевые фильтры	10	3,9	25,7	<b>29,5</b>
Вторичное производство свинца	метрическая тонна вторичного свинца	сухой ЭСО	5	0,1	0,06	<b>0,2</b>
	метрическая тонна вторичного свинца	ТФ	10	6,8	1,1	<b>7,9</b>
Вторичное производство цинка	метрическая тонна вторичного цинка	сухой ЭСО	5	0,1	0,06	<b>0,2</b>
	метрическая тонна вторичного цинка	ТФ	10	0,1	1,4	<b>1,5</b>
Вторичное производство меди	метрическая тонна вторичной меди	сухой ЭСО	5	10,9	15,9	<b>26,8</b>
	метрическая тонна вторичной меди	ТФ	10	6,6	44,0	<b>50,6</b>

Источник: UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/4, Study on mercury sources and emissions and analysis of the costs and effectiveness of control measures, November 2010. Размещен <http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/Negotiations/INC2/INC2MeetingDocuments/tabid/3484/language/en-US/Default.aspx>.

<sup>a</sup> Точность оценок расходов в таблице составляет  $\pm 50\%$ .

49. В первичном производстве цветных металлов типичной комбинацией методов для борьбы с выбросами является сухой (горячий) ЭСО со следующей последовательностью технологических этапов: водный скруббер, мокрый ЭСО, устройство для удаления ртути, установка для производства серной кислоты.

В случае использования установки для производства серной кислоты желательно удалять ртуть до того, как она поступает в эту установку, с тем чтобы свести к минимуму возможность попадания ртути в окончательный кислотный продукт (как правило, содержание Hg в серной кислоте должно составлять  $< 0,1$  ppm (мг/л), что эквивалентно  $< 0,02$  мг/Нм<sup>3</sup> в очищенном газе<sup>10</sup>). Ртуть может обрабатываться в обеих фазах – в форме отходящих газов и в жидкой фазе (кислотная установка). В этих целях применяются различные процессы. Основным принципом предусматривает реакцию ртути с реагентом для формирования продукта, который может выделяться из газа или жидкости.

50. Разработан ряд технологий для удаления паров ртути из газового потока. Эффективность удаления определяется конкретными характеристиками газа, например концентрацией ртути, однако может быть  $> 99\%$ . Эффективность удаления, характерная для ряда методов, указывается в таблице 7 с) ниже. В качестве НИМ рассматриваются следующие методы:

а) **процесс "Болиден-Норцинк"**<sup>11</sup> основывается на окислении ртутных паров хлоридом ртути, в результате чего образуется хлористая ртуть (каломель) в соответствии со следующей химической реакцией:  $\text{HgCl}_2 + \text{Hg} \rightarrow \text{Hg}_2\text{Cl}_2$ . Продукционная кислота, содержащая менее 0,5 ppm ртути, может быть произведена из газа, содержащего 150 ppm ртути (эффективность удаления в размере 99,7%). Производимая кислота, как правило, содержит 0,3–0,5 ppm ртути<sup>12</sup>. Ртуть может быть восстановлена до 0,05 ppm путем добавления селенового фильтра на этапе полировки<sup>11</sup>. Этот процесс также известен под такими названиями, как процесс Оутотек с использованием хлоридного скруббера, процесс Оутотек БН и хлоридный процесс Одда. Эти процессы характеризуются умеренными инвестиционными затратами и низкими эксплуатационными расходами, которые практически не зависят от уровней выбросов ртути<sup>11</sup>;

б) **процесс Оутокумпу**<sup>10</sup> основывается на преобразовании элементарной ртути, содержащейся в газе, в сульфат в соответствии со следующей химической реакцией:  $\text{Hg} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 1/2 \text{O}_2 + \text{HgSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;

с) **процесс Болкем**<sup>10</sup> основывается на реакции ртути с серной кислотой, после чего она обрабатывается с помощью сероватистокислого натрия и осаждается в виде сульфида ртути;

д) **селеновый фильтр**<sup>10</sup> особенно пригоден для использования при низких концентрациях ртути в газе и состоит из пористого инертного материала, пропитанного селеновой кислотой, которая затем высушивается и осаждается в виде красного аморфного селена в соответствии со следующей химической реакцией:  $\text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{SO}_2 \rightarrow \text{Se} + 2 \text{H}_2\text{SO}_4$ . Этот фильтр позволяет удалять около 90% поступающей ртути. Инвестиционные затраты пропорциональны расходу потока газа<sup>8</sup>;

<sup>10</sup> См. доклад "Assessments of technological developments: Best available techniques (BAT) and limit values", представленный на четвертом совещании Целевой группы по тяжелым металлам (Вена, 6–8 июня 2007 года). Размещен по адресу <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/Irtap/TaskForce/tfhm/Post-Ottawa.htm>.

<sup>11</sup> Дополнительную информацию см. [http://www.sulphuric-acid.com/techmanual/GasCleaning/gcl\\_hg.htm](http://www.sulphuric-acid.com/techmanual/GasCleaning/gcl_hg.htm).

<sup>12</sup> См. <http://www.outotec.com/en/About-us/Our-technologies/Gas-cleaning/Mercury-removal/>.

е) **селеновый скруббер**<sup>10</sup>, как и селеновый фильтр, действует на основе присутствия аморфного элементарного селена, который вступает в химическую реакцию с элементарной ртутью в газе. Селеновый скруббер пригоден для удаления относительно больших количеств ртути, присутствующей в газе, и характеризуется эффективностью ее удаления в размере около 90%;

ф) **фильтр с активированным углем**<sup>10</sup> хорошо известен как фильтр, обладающий большой адсорбционной способностью. Что касается адсорбции ртути, то активированный уголь в обычных условиях может поглощать 10–12% ее веса. Температура, при которой может эксплуатироваться угольный фильтр, ограничивается 50 °С. Этот метод особенно пригоден для использования при низких концентрациях ртути в газе. В обычных условиях эффективность удаления ртути составляет 90%.

г) **агрегат Лурги**<sup>13</sup> представляет собой разновидность фильтра с активированным углем. Агрегат Лурги состоит из блоков для удаления ртути (БУР), в которых используются мокрый ЭСО и абсорбер с псевдосжиженным слоем, включающим в себя пропитанный серой уголь, который предназначен для удаления ртути из отходящих газов. Мокрый ЭСО удаляет пыль и смолу до того, как загрязненный ртутью отходящий газ нагревается до 60–85 °С и абсорбируется рядом фильтров с псевдосжиженным слоем. Для наблюдения за газовым потоком, проходящим через блок, БУР оснащается системой контроля за давлением. Эффективность удаления ртути с помощью БУР составляет 95%;

h) с помощью **процесса "Тинфос Милтек"**<sup>14</sup> осуществляется удаление ртути из отходящих газов путем ее одновременной промывки с помощью морской воды, содержащей хлорноватиокислый натрий, который окисляет ртуть. Кроме того, промывочная вода собирает пыль и сокращает атмосферные выбросы SO<sub>2</sub>. Промывочная вода после очистки газа содержит ртуть в виде такой ртутной соли, как динатриевый сульфид (Na<sub>2</sub>S). В результате этого образуется сульфат ртути (HgS) и другой металлический сульфитный осадок, который может быть удален из этого процесса с помощью пресс-фильтра. Процесс "Милтек" позволяет удалять 95% ртути из отходящих газов;

i) с помощью фильтрационного процесса **ДОВА** (пемзовый фильтр, покрытый сульфидом свинца (II)) обеспечивается улавливание металлической и окисленной ртути и ртути в виде частиц.

<sup>13</sup> Информация, представленная Агентством по проблемам климата и загрязнения Норвегии в отношении практики на предприятии "Эрамет" в Порсгрунне, Норвегия.

<sup>14</sup> Информация, представленная Агентством по проблемам климата и загрязнения Норвегии в отношении практики на предприятии "Эрамет" в Квинесдале, Норвегия.

Таблица 7 с)

**Эффективность сокращения содержания ртути в газах для некоторых методов**

Методы удаления ртути		Общая концентрация ртути (Hg-tot)		Эффективность сокращения концентраций, %
		мкг/Нм <sup>3</sup>	мкг/Нм <sup>3</sup>	
<b>Процесс "Болиден-Норцинк"</b> 30 000 Нм <sup>3</sup> /ч	Высокая концентрация	9 879	30	99,7
	Низкая концентрация	51	13	74
<b>Фильтр "Дова"</b> 170 000 Нм <sup>3</sup> /ч	Высокая концентрация	50	1,4	97
	Низкая концентрация	10,5	1,2	88
<b>Селеновый фильтр</b> 80 000 Нм <sup>3</sup> /ч	Высокая концентрация	1 008	48	95
	Низкая концентрация	42	12	71
<b>Фильтр с активированным углем</b> 80 000 Нм <sup>3</sup> /ч	Высокая концентрация	1 206	32	97
	Низкая концентрация	37,2	2,7	93

*Источник:* Ahmadzai, H; Borell, M.; and Svedberg, A.: Information Exchange on Boliden AB Non-ferrous Smelter at Rönnskär; Arctic Council Action Programme (ACAP) Mercury Steering Group, Copenhagen, March 10, 2006.

*Примечание:* Плавильный завод в Рёмскаре производит выплавку меди, свинца и цинка.

51. Для тех процессов, в рамках которых удаление ртути из газов невозможно с практической точки зрения, существуют методы удаления ртути в жидкой фазе. Эти методы используются главным образом для повышения качества серной кислоты. В настоящее время для сокращения содержания ртути в серной кислоте, изготавливаемой в ходе производства цветных металлов, используются следующие методы:

а) **технология молекулярного распознавания**<sup>10</sup> (ТМР) предусматривает применение высокоселективных и нередко неионообменных систем, в которых используются специально отобранные лиганды или макроциклы. Эти лиганды могут химическим образом связываться с твердой подложкой, такой как силикатный гель или полимеры, или свободно использоваться в растворе для формирования комплексного соединения с отдельными ионами. Системы твердой фазы состоят из связанного с лигандами материала (SuperLig), упакованного в ионообменные колонки с фиксированным основанием или фильтровальные патроны. Процесс ТМР может использоваться в качестве основного метода для удаления ртути или на этапе полировки в тех случаях, когда конкретное предприятие уже имеет систему для удаления ртути;

б) **процесс "Тохс"**<sup>10</sup> основывается на добавлении иодида калия и осаждении ртути в форме иодида ртути. Кроме того, в результате дальнейшего добавления йодистой меди будет образовываться более устойчивый осадок в форме  $Cu_2HgI_4$ . Осажденная ртуть выделяется путем фильтрации;

в) **осаждение сульфида**<sup>10</sup>. Коллоидная сера может образовываться в кислоте в результате добавления гипосульфита. Сера будет вступать в реакцию с ртутью, в результате чего будет образовываться кристаллический сульфид ртути (HgS).

52. В промышленности по производству **первичной меди** первичные отходящие газы, содержащие большие количества  $\text{SO}_2$  и образующиеся в ходе процесса обжига и продувки, обычно обрабатываются в многокаскадной системе для улавливания газов, расположенной до установки для производства серной кислоты. Для производства высококачественной серной кислоты необходимо обеспечить восстановление тяжелых металлов (см. пункты 48–49). Диффузные выбросы образуются в ходе загрузки, разгрузки, транспортировки и хранения сырья и готовой продукции, а также в результате процессов, протекающих в анодной печи и при отливке анодов. Для предупреждения этих выбросов необходимо использовать достаточные мощности для улавливания газов (см. пункт 44). После их улавливания отходящие газы обычно очищаются с помощью системы тканевых фильтров. В случае эффективного функционирования и обслуживания системы тканевых фильтров концентрации выбросов пыли могут составлять менее  $1\text{--}5 \text{ мг/Нм}^3$ . В отношении тяжелых металлов могут обеспечиваться следующие концентрации выбросов<sup>15</sup>:

- a) свинец:  $0,01\text{--}0,60 \text{ мг/Нм}^3$ ;
- b) кадмий:  $0,01\text{--}0,05 \text{ мг/Нм}^3$ ;
- c) ртуть:  $< 0,01 \text{ мг/Нм}^3$ ;

53. В промышленности по производству **вторичной меди** выбросы тяжелых металлов образуются в ходе процессов плавки, продувки и огневого рафинирования. Как и в случае первичной меди, важнейшее значение имеет улавливание и достаточная обработка диффузных выбросов (см. пункт 44). Уловленные выбросы обычно обрабатываются в системах тканевых фильтров. Кроме того, для восстановления других загрязнителей (например,  $\text{SO}_2$ , общий органический углерод (ООУ) или ПХДД/Ф) используются устройства для впрыска абсорбентов, мокрые скрубберы и/или термальные или регенеративные дожигатели. В случае эффективного функционирования и обслуживания системы ТФ концентрации выбросов пыли могут составлять менее  $1\text{--}3 \text{ мг/Нм}^3$ . В отношении тяжелых металлов могут обеспечиваться следующие концентрации выбросов<sup>15</sup>:

- a) свинец:  $0,01\text{--}0,50 \text{ мг/Нм}^3$ ;
- b) кадмий:  $0,01\text{--}0,02 \text{ мг/Нм}^3$ ;
- c) ртуть:  $< 0,03 \text{ мг/Нм}^3$ .

54. В промышленности по производству **первичного свинца** первичные отходящие газы, содержащие большие количества  $\text{SO}_2$  и образующиеся в ходе процесса окисления руды, обычно обрабатываются в многокаскадной системе для улавливания газов, расположенной до установки для производства серной кислоты. Для производства высококачественной серной кислоты необходимо обеспечить восстановление тяжелых металлов (см. пункты 48–49). Диффузные выбросы образуются в ходе загрузки, разгрузки, транспортировки и хранения сырья и готовой продукции, а также в ходе процессов отливки и рафинирования. Для предупреждения этих выбросов необходимо использовать достаточные мощности для улавливания газов (пункт 44). После их улавливания отходящие газы обычно очищаются с помощью систем тканевых фильтров или сочетания циклонов и тканевых фильтров. В случае эффективного функционирования и обслуживания системы тканевых фильтров концентрации выбросов пыли могут

<sup>15</sup> Федеральное агентство по окружающей среде Германии, 2012 год, значения выбросов рассчитаны на основе результатов измерений, проведенных на различных немецких установках. Данные предоставлены германскими лицензирующими органами.

составлять менее 1–2 мг/Нм<sup>3</sup>. В отношении тяжелых металлов можно обеспечить следующие концентрации выбросов<sup>15</sup>:

- a) свинец: 0,01–0,90 мг/Нм<sup>3</sup>;
- b) кадмий: 0,01–0,02 мг/Нм<sup>3</sup>;
- c) ртуть: < 0,01 мг/Нм<sup>3</sup>.

55. В промышленности по производству **вторичного свинца** осуществляется обработка свинцовых аккумуляторных батарей, их остатков и других материалов, содержащих свинец. Поэтому размер образующейся ртути зависит от свойств скрапа. Как и в случае первичного свинца, важнейшее значение имеет улавливание и достаточная обработка диффузных выбросов (см. пункт 44). После предварительной обработки сырьевые материалы поступают в самые различные печи. В настоящее время в Европе для производства вторичного свинца используются вращающиеся печи, шахтные печи барабанного типа и отражательные печи. Уловленные выбросы обычно обрабатываются в системах тканевых фильтров. С помощью этого метода удастся обеспечить концентрации выбросов пыли в размере 0,5–2 мг/м<sup>3</sup>. В отношении конкретных тяжелых металлов можно обеспечить следующие концентрации выбросов<sup>15</sup>.

- a) свинец: < 0,5 мг/Нм<sup>3</sup>;
- b) кадмий: < 0,05 мг/Нм<sup>3</sup>;
- c) ртуть: 0,025 мг/Нм<sup>3</sup><sup>16</sup>.

56. В промышленности по производству **первичного цинка** следует проводить различие между пирометаллургическим процессом с использованием печей "Империзэл смелтинг" и собственно гидromеталлургическим процессом. Уже на первом технологическом этапе (обжиг) гидromеталлургического процесса образуется значительный объем тяжелых металлов в виде пыли в отходящих газах. Содержащие большие количества SO<sub>2</sub> газы, отходящие от процессов обжига, обычно обрабатываются в многоступенчатой системе для улавливания выбросов, расположенной до установки для производства серной кислоты. Для производства высококачественной серной кислоты необходимо обеспечить восстановление тяжелых металлов (см. пункты 48–49). На технологических этапах выщелачивания и щелочного рафинирования для очистки возникающих отходящих газов обычно используются скрубберы. С помощью этих методов удастся обеспечить концентрации выбросов пыли в размере 0,3–1 мг/Нм<sup>3</sup>. В отношении конкретных тяжелых металлов можно обеспечить следующие концентрации выбросов<sup>15</sup>:

- a) свинец: < 0,01 мг/Нм<sup>3</sup>;
- b) кадмий: < 0,01 мг/Нм<sup>3</sup>;
- c) ртуть: удаляется главным образом на технологических этапах жидкой обработки, размер концентрации после прохождения выбросов через установку для очистки сточных вод: < 0,005 мг/л.

57. Кадмий образуется в качестве побочного продукта в ходе производства первичного цинка. Его производство обеспечивается в рамках отдельного процесса, состоящего из следующих четырех этапов:

<sup>16</sup> По информации, представленной Агентством по окружающей среде Австрии, 2003 год, значение выбросов рассчитано на основе результатов измерений, проведенных на действующей в Австрии установке.

- a) выплавка кадмиевых брикетов в ходе процесса щелочной очистки;
- b) удаление цинка с помощью едкого натра;
- c) вакуумная дистилляция с целью отделения кадмия от других металлов, таких как медь (Cu), никель (Ni) и Pb;
- d) конденсация в печи для рафинирования кадмия и его отливка. Газы, отходящие от печей, обычно улавливаются и обрабатываются с помощью современных ЭСО. Путем использования этого метода можно обеспечить концентрацию пылевых выбросов в размере 0,3–1 мг/Нм<sup>3</sup>. В отношении конкретных тяжелых металлов можно обеспечить следующие концентрации выбросов<sup>15</sup>.
- e) свинец: < 0,01 мг/Нм<sup>3</sup>;
- f) кадмий: < 0,01 мг/Нм<sup>3</sup>.

Для предотвращения диффузных выбросов необходимо использовать достаточные мощности для их улавливания и обработки (см. пункт 44).

58. **Вторичный цинк** можно производить из пыли ЭДП и других материалов, содержащих цинк. Эти материалы могут рафинироваться во вращающихся печах (печи Вельц) для отделения цинка от других химических элементов. В ходе этого процесса происходят выбросы тяжелых металлов в виде пыли, которые улавливаются и обрабатываются главным образом во многокаскадных системах тканевых фильтров. Для сокращения выбросов газообразной ртути обычно осуществляется впрыскивание адсорбента (известь, активированный уголь и т.д.) в поток отходящих газов до их попадания в последний тканевый фильтр. Путем использования этих методов можно обеспечить концентрации выбросов в размере 0,5–5 мг/Нм<sup>3</sup>. В отношении конкретных тяжелых металлов можно обеспечить следующие концентрации выбросов<sup>15</sup>:

- a) свинец: < 0,02 мг/Нм<sup>3</sup>;
- b) кадмий: < 0,01 мг/Нм<sup>3</sup>;
- c) ртуть: < 0,01–0,05 мг/Нм<sup>3</sup>.

Для предотвращения диффузных выбросов необходимо использовать достаточные мощности для их улавливания и обработки (см. пункт 44).

59. Для **широкомасштабного производства золота** были разработаны различные технологические процессы, альтернативные процессу амальгамации. В тех случаях когда содержание ртути в различных рудах является высоким (например, золотая руда, добываемая на приисках компании "Доум"), могут использоваться адсорбирующие подложки из активированного угля для улавливания большей части ртутных выбросов, возникающих в ходе различных процессов (например, в ходе использования обжиговых печей, печей для рафинирования). Путем применения мер по предотвращению загрязнения, включая такие, как использование ртутных конденсаторов, устройств для адсорбции активированным углем (например, единичные подложки из химически связанного углерода, сложные подложки или колонки или другие устройства), каломельных скрубберов, скрубберов Вентури и химических добавок для повышения эффективности улавливания ртути, ее выбросы в ходе производства золота были сокращены приблизительно на 97%<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> United States, EPA, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Gold Mine Ore Processing and Production Area Source Category; and Addition to Source Category List

60. В ходе производства кремниво- и ферромарганцевых сплавов из руды с высоким содержанием ртути образуется значительный объем выбросов ртути. Использование методов адсорбции ртути с помощью активированного угля в отработанных печных газах может позволить сократить выбросы ртути на 95%.

## **Е. Производство цемента (приложение II, категория 7)**

61. В печах для обжига цемента в качестве дополнительного топлива и материалов (параллельная обработка отходов) могут использоваться отработанные нефтепродукты и старые автомобильные покрышки. Совместное сжигание отходов в цементных печах относится к категории сжигания отходов. Уровень выбросов ртути можно сократить путем ограничения объемов ртути, поступающих в печь, уменьшения температуры отходящих газов для активизации охлаждения ртути в ходе первой фильтрации или борьбы с выбросами ртути посредством использования впрыскивания активированного угля, выступающего в качестве адсорбента, в отработанный газ. Следует проверять качество топлива и содержание ртути в сырьевых материалах в интересах сокращения и ограничения ее выбросов.

62. Ртуть и ее соединения не в полной мере осаждаются и остаются в печи и/или устройстве для предварительного нагрева с учетом высокой температуры, существующей в них, и высокой летучести ртути. Ртуть и ее соединения осаждаются в ходе прохождения отработанного газа в результате его охлаждения и абсорбируются частицами сырьевых материалов в той степени, которая определяется температурой отработанного газа. Эта доля осаждается в печном фильтре для отработанных газов. Поэтому объем ртути может увеличиваться только в ходе внешнего цикла, когда уровень концентрации и объем выбросов определяются, главным образом, состоянием отработанного газа. Не исключено, что для предупреждения долговременного увеличения уровня выбросов ртути потребуется ограничить ее концентрацию во внешнем цикле, например путем непрерывного или периодического удаления части пыли, собираемой в фильтрующей системе. Пыль, содержащаяся в пылевом коллекторе, может снова рециркулироваться в цементную мельницу. Кроме того, уровень осаждения и, следовательно, степень удаления ртути увеличиваются по мере уменьшения температуры отработанного газа. Поэтому еще одна возможность для сокращения выбросов ртути заключается в уменьшении температуры отходящих газов после их прохождения через колонну увлажнения с целью повышения эффективности осаждения ртути и ее соединений в ходе пылевой фильтрации.

63. Пыль поступает в окружающую среду в виде выбросов на всех этапах процесса производства цемента – при погрузочно-разгрузочных операциях, подготовке сырья (измельчители, сушильные камеры), производстве клинкера и приготовлении цемента. Ртуть поступает в печь главным образом вместе с сырьевыми материалами, а ее небольшие объемы, как правило, вместе с топливом. В настоящее время растут масштабы использования топлива из отходов в ходе производства клинкера, которое может выступать в качестве источника выбросов тяжелых металлов. Более значительное воздействие на выбросы тяжелых металлов оказывают, как правило, объемы используемых сырьевых материалов, а не вид технологического процесса.

---

for Standards; Final Rule, 40 CFR Parts 9 and 63, Federal Register, Vol. 76 , No. 33 (17 February 2011).

64. При производстве клинкера применяются следующие виды обжиговых печей: вращающиеся печи с циклонным кальцинатором и декарбонизатором, вращающаяся печь с циклонным кальцинатором, вращающиеся печи с колосниковым подогревателем, длинные вращающиеся печи, работающие по мокрому способу, длинные вращающиеся печи, работающие по сухому способу, и шахтные печи. Выбор процесса оказывает значительное воздействие на потребление энергии и размер атмосферных выбросов, образующихся в ходе производства цементного клинкера. Для новых установок и установок, в которые были внесены большие реконструкционные изменения, НИМ для производства цементного клинкера считается процесс использования печей с многоступенчатым предварительным кальцинированием и обжигом, работающих по сухому способу.

65. Для рекуперации тепла отходящие газы вращающихся печей, прежде чем подвергнуться обеспыливанию, пропускаются через систему предварительного нагрева и сушилки дробильных установок (когда они смонтированы). Собранную пыль вновь добавляют в загружаемый материал. Избыточное тепло печных отходящих газов, а также тепло от клинкерных холодильников можно использовать для производства электроэнергии (комбинированное производство тепла и электроэнергии) или для внешних систем, например таких, как районные теплоэлектроцентрали.

66. С отходящими газами в атмосферу уходит менее 0,5% свинца и кадмия, поступивших в печь. Высокощелочная среда и разрыхление в печи способствуют удержанию этих металлов в клинкере или печной пыли.

67. Атмосферные выбросы тяжелых металлов можно сократить, например, за счет отвода выпускаемого потока и складирования собранной пыли вместо ее добавления к загружаемому сырью. Однако в любом случае такие меры следует рассматривать с учетом последствий попадания тяжелых металлов в накопившиеся отходы. Собранная пыль может рециркулироваться также в цементную мельницу. Если отработанный газ в печи фильтруется с помощью ЭСО, то важной мерой является строго контролируемое стабильное функционирование обжиговой печи, с тем чтобы избежать аварийных отключений ЭСО, которые могут вызываться чрезмерными концентрациями монооксида углерода. Важно избегать пиковых выбросов тяжелых металлов в случае таких аварийных отключений.

68. НИМ для производства цемента с учетом выбросов пыли и тяжелых металлов требует сочетания следующих общих *первичных мер*:

а) обеспечение стабильности и устойчивости работы печей. В этой связи важное значение имеют мониторинг и измерение технологических параметров и уровней выбросов на регулярной основе;

б) тщательный отбор и контроль веществ, поступающих в печь; если это осуществимо, следует отдавать предпочтение выбору сырья и топлива с низким содержанием серы, азота, хлора, металлов (особенно ртути) и летучих органических соединений;

в) использование систем обеспечения качества для контроля характеристик отходов, подлежащих использованию в качестве сырьевых материалов и/или топлива, в интересах обеспечения неизменных критериев качества и других физических и химических критериев. Следует осуществлять контроль за соответствующими параметрами любых отходов, которые будут использоваться в качестве сырья и/или топлива;

d) использование эффективных мер/методов удаления пыли, таких как применение тканевых фильтров (с несколькими отделениями и контрольными устройствами для мониторинга изменений в выбросах) или ЭСО (с устройствами для оперативного измерения и контроля параметров выбросов с целью минимизации числа автоматического отключения фильтров для улавливания угарного газа);

e) Для минимизации/сокращения пылевых выбросов из диффузных источников<sup>18</sup> могут использоваться следующие меры и методы:

- i) минимизация/предотвращение пылевых выбросов из диффузных источников;
- ii) методы измерения параметров пыльных технологических операций;
- iii) меры/методы, применяемые на площадках для хранения незатаренных материалов.

69. В таблице 8 описаны наиболее широко применяемые меры по сокращению выбросов. Для сокращения прямых пылевых выбросов из измельчителей, дробилок и сушилок используются, главным образом, ТФ, а выбросы отходящих газов из печей и охладителей клинкера очищаются с помощью ЭСО или ТФ. Содержание пыли в выбросах, связанных с процессами розжига печей, охлаждения и дробления, можно сократить до концентрации в размере < 10–20 мг/Нм<sup>3</sup> (среднесуточное значение при 10% O<sub>2</sub> по объему), и в выбросах, связанных с другими процессами – до < 10 мг/Нм<sup>3</sup>.

Таблица 8

**Источники выбросов, меры по ограничению выбросов, эффективность и затраты на сокращение выбросов в цементной промышленности**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Меры по ограничению выбросов</i>	<i>Эффективность сокращения выбросов (%)</i>	<i>Представленные данные о выбросах (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>
Прямые выбросы, связанные с процессами розжига печей, охлаждения и дробления	Первичные меры плюс ТФ или ЭСО	Cd, Pb: > 95	Пыль: < 10–20
Прямые выбросы, связанные с пыльными технологическими операциями <sup>a</sup>	Первичные меры плюс ТФ или ЭСО		Пыль: < 10
Прямые выбросы из вращающихся печей	Адсорбция активированным углем	Hg: > 95	Hg: 0,001–0,003

<sup>a</sup> Пыльные технологические операции: например, дробление сырьевых материалов, функционирование конвейеров и грузоподъемных лифтов, хранение топлива и сырья.

<sup>18</sup> Подробное описание мер, применяемых в отношении диффузных источников, см. в разделах 1.4.4.1 и 1.4.4.3 БРЕФ Европейской комиссии, посвященном промышленности по производству цемента, извести и окиси магния (май 2010 года); размещен по адресу [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/clm\\_bref\\_0510.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/clm_bref_0510.pdf).

70. Один из способов сведения к минимуму выбросов ртути предусматривает уменьшение температуры отходящих газов. В случае высоких концентраций летучих металлов (особенно ртути) одним из возможных вариантов является их адсорбция на активированном угле; эффективность ЭСО повышается при дополнительном использовании галогенидов (особенно бромидов).

## **Г. Производство стекла (приложение II, категория 8)**

71. В стекольной промышленности особенно значительны выбросы свинца в силу того, что в различные виды стекла в качестве сырья добавляется свинец. Свинец используется во флюсах и красящих веществах на предприятиях по производству стеклоцемента, в некоторых специальных видах стекла (например, светофильтрах, конусах кинескопа электронно-лучевых трубок (ЭЛТ)) и хозяйственной стеклянной посуде (стаканы из свинцового хрусталя). В случае изготовления натриево-кальциево-силикатного тарного стекла выбросы свинца зависят от качества рециркулированного стекла, которое используется в технологическом процессе. Внешний стеклобой является важным источником загрязнения металлами, в особенности свинцом. Содержание свинца в пыли, образующейся при варке хрустального стекла, обычно составляет порядка 20–80%.

72. Основными источниками выбросов пыли являются процессы приготовления шихты, печи, диффузные утечки из печных отверстий, а также обработка и дутье стеклоизделий. Они особенно зависят от вида используемого топлива, типа печи и вида производимого стекла. С помощью кислородно-топливных горелок объем отходящего газа и уносимой пыли можно уменьшить на 60%. При электрическом нагреве выбросы свинца значительно меньше, чем в случае систем, использующих в качестве топлива нефтепродукты/газ. В тех случаях, когда это экономически применимо, электроплавка главным образом и в целом рассматривается в качестве НИМ для производства свинцового хрусталя и кристалльного и матового стекла, поскольку этот метод позволяет обеспечить эффективное ограничение возможных выбросов летучих элементов. В случае производства хрустального стекла, при котором образуется меньший объем летучих соединений, в качестве НИМ для той или иной конкретной установки могут указываться другие методы.

73. Шихту расплавляют в печах непрерывного или периодического действия. В случае варки стекла в печах прерывистого действия выбросы пыли колеблются в значительных пределах. Пылевые выбросы из печи для варки хрусталя ( $< 5$  кг/Мг расплавленной стекломассы) выше, чем выбросы из печей других типов ( $< 1$  кг/Мг расплавленной соды и калиевого стекла). Концентрация пыли в выбросах из плавильных печей в секторе производства хозяйственной стеклянной посуды при использовании НИМ для свинца, применяющегося при изготовлении свинцового хрусталя, составляет  $< 0,5$ – $1$  мг/Нм<sup>3</sup> ( $< 0,001$ – $0,003$  кг/т расплавленной стекломассы).

74. Ниже указываются некоторые меры, позволяющие сократить прямые выбросы пыли, содержащей металлы:

- а) окомкование стекольной шихты;
- б) перевод нагревательной системы с нефтепродуктов/газа на электроэнергию;
- в) включение в шихту более значительного объема стеклянных утилизируемых отходов (стеклянный бой);

d) более тщательная сортировка сырья (по размеру кусков) и рециркулированного стекла (отказ от использования стекла, содержащего свинец).

В целом, НИМ для ограничения выбросов пыли, исходящей от печей в стекольной промышленности, предусматривают использование систем ЭСО или ТФ, эксплуатируемых, когда это возможно, в сочетании с системами сухого и полусухого скруббирования кислых газов. При применении НИМ уровень выбросов пыли, связанный с этими методами, обычно составляет  $< 10\text{--}20$  мг/Нм<sup>3</sup>, при этом для некоторых видов стекла, таких как сортовое или специальное стекло, этот показатель составляет  $< 10\text{--}20$  мг/Нм<sup>3</sup> и  $1\text{--}10$  мг/Нм<sup>3</sup> в тех случаях, когда используются значительные объемы опасных веществ, что в целом соответствует показателю в размере менее 0,1 кг/т расплавленной стекломассы. В некоторых случаях применение НИМ для выбросов металлов может привести к сокращению выбросов пыли. Уровень выбросов, связанный с НИМ для совокупности концентраций тяжелых металлов, включая свинец (мышьяк (As), кобальт (Co), Ni, Cd, селен (Se), хром (Cr), сурьму (Sb), Pb, Cu, марганец (Mn), ванадий (V) и олово (Sn)), обычно составляет  $< 1\text{--}5$  мг/Нм<sup>3</sup>. Вторичные меры по борьбе с выбросами пыли являются НИМ для большинства стеклоплавильных печей, если только эквивалентные уровни выбросов не могут быть обеспечены с помощью первичных мер. В таблице 9 приведены соответствующие показатели эффективности сокращения выбросов.

75. В настоящее время разрабатываются методы производства хрустального стекла без использования соединений свинца. Действие плазменных плавильных печей основывается на использовании электрической проводимости расплавленной стекломассы, при этом в ходе их эксплуатации образуется незначительный объем выбросов пыли. Однако не следует ожидать, что это оборудование будет использоваться для плавки стекла в обозримом будущем.

76. Для потенциально пыльных технологических операций, относящихся к переработке шихты вплоть до производства конечной продукции, НИМ предусматривает сведение к минимуму выбросов пыли, например путем резки, шлифовки или полировки стекла с использованием жидкости или отведения отходящих газов в систему рукавных фильтров. Для этих операций уровень выбросов составляет менее  $1\text{--}10$  мг/Нм<sup>3</sup> (до  $20$  мг/Нм<sup>3</sup> для листового стекла и до  $50$  мг/Нм<sup>3</sup> только для технологических процессов последовательной переработки стекловаты).

Таблица 9

**Источники выбросов, меры по ограничению выбросов, эффективность и затраты на сокращение пылевых выбросов в стекольной промышленности**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Меры по ограничению выбросов</i>	<i>Эффективность сокращения пылевых выбросов (%)</i>
Прямые выбросы	ТФ	> 99
	ЭСО	> ~95

## **Н. Хлорщелочное производство (приложение II, категория 9)**

77. В хлорщелочной промышленности газообразный хлор (Cl<sub>2</sub>), щелочные гидроксиды и водород получают электролизом солевого раствора. На существующих установках обычно используют ртутный, диафрагменный и мембранный процессы, которые требуют применения эффективных методов для сокра-

шения остроты экологических проблем. Конкретно выбранные технологические процессы оказывают значительное воздействие на энергопользование и выбросы в ходе производства хлора и щелочи. Как считается, НИМ для производства хлора и щелочи является мембранная технология. К числу НИМ можно также отнести диафрагменную технологию без использования асбеста. В последние несколько десятилетий страны Европы и Северной Америки постепенно отказываются от использования ртутной технологии, поскольку многие предприятия данного профиля закрываются или переходят к использованию технологических процессов, не связанных с ртутью. Кроме того, европейские и североамериканские производители обязались не сооружать каких-либо новых предприятий, работающих на основе использования электролизеров с ртутным катодом. Последнее предприятие по производству хлора и щелочи, работающее на основе этого метода, было закрыто в Канаде в 2008 году. В соответствии с действующими в Европе нормативными предписаниями строительство таких предприятий запрещено.

78. Выбросов ртути в ходе технологических операций по производству хлора и щелочи можно в полной мере избежать только в случае перехода к применению процессов, не связанных с ртутью, таких как мембранный процесс. Переход к применению мембранной технологии рассматривается в качестве НИМ. В решении 90/3 Комиссии по предотвращению загрязнения морской среды из наземных источников (ПАРКОМ) от 14 июня 1990 года рекомендуется как можно скорее обеспечить постепенное прекращение применения в хлорщелочной промышленности установок с ртутными элементами с целью полного отказа от них к 2010 году. В 1999–2001 годах был осуществлен обзор решения 90/3, в ходе которого в него не было внесено каких-либо изменений. Страны – стороны заменившей ПАРКОМ Конвенции о защите морской среды Северо-Восточной Атлантики (Конвенция ОСПАРКОМ) и страны Европейского союза совместно обсудили важный вопрос о возможном воздействии повторного сбывта ртути, собираемой с выведенных из эксплуатации установок по производству хлора и щелочи, на глобальный рынок ртути. В 1999 году все западноевропейские производители хлора и щелочи проинформировали соответствующие государственные органы о том, что они в добровольном порядке берут на себя обязательство вывести из эксплуатации свои предприятия по изготовлению хлора и щелочи не позднее 2020 года. Другое положение решения 90/3 ПАРКОМ обязывает их не продавать или не передавать ртутные электролизеры после закрытия предприятий каким-либо третьим сторонам для их повторного использования. В феврале 2009 года Совет управляющих ЮНЕП принял решение о необходимости разработки глобального юридически обязательного документа по ртути и приступил к переговорам по глобальной конвенции по ртути. К числу ключевых элементов этих переговоров относятся, в частности, такие аспекты, как сокращение масштабов поставок ртути на рынки, уменьшение потребности в использовании ртути для изготовления продуктов и осуществления технологических процессов, сокращение атмосферных выбросов ртути, решение проблемы отходов, содержащих ртуть, и восстановление загрязненных участков. Эти переговоры будут завершены к 2013 году<sup>19</sup>.

79. Как сообщается, удельные капиталовложения на замену ртутных элементов мембранным процессом в регионе составляют порядка 700–1 000 долл. США/Мг произведенного Cl<sub>2</sub>. Хотя это может привести к дополнительным рас-

<sup>19</sup> Примечание редактора: с момента написания настоящего документа переговоры были завершены. Текст Миниматской конвенции по ртути будет открыт для подписания с 9 по 11 октября 2013 года.

ходам, связанным, в частности, с более высокой стоимостью коммунальных услуг и затратами на очистку соляного раствора, эксплуатационные затраты в большинстве случаев снизятся. Это объясняется главным образом экономией, получаемой в результате снижения энергопотребления, и снижением затрат на очистку сточных вод и удаление отходов.

80. Источниками выбросов ртути в окружающую среду при применении ртутного метода являются: вентиляция помещения, в котором находятся ртутные элементы, вентиляция оконечного оборудования и водород в виде побочного продукта. Что касается атмосферных выбросов, то Hg в результате диффузной эмиссии попадает из ртутных элементов в помещения, где они находятся, а оттуда в атмосферу. Большое значение в этом случае имеют профилактические меры и меры контроля, приоритетность которых зависит от относительной значимости каждого источника на конкретной установке. В любом случае при извлечении ртути из образующегося осадка необходимо применять конкретные меры контроля.

81. В период до вывода из эксплуатации установок с ртутными элементами следует принять все возможные меры для охраны окружающей среды в целом, включая минимизацию атмосферных выбросов ртути посредством:

- a) использования оборудования и материалов и, когда это возможно, конструктивных особенностей установки, которые позволяют свести к минимуму потери ртути в результате испарения и/или утечки;
- b) внедрения рациональных методов ведения домашнего хозяйства и ремонтно-технического обслуживания;
- c) сбора и обработки содержащих ртуть газов из всех возможных источников, включая газообразный водород. В таблице 10 а) указываются типовые устройства для удаления атмосферных выбросов ртути;
- d) сокращения концентрации ртути в каустической соде;
- e) сведения к минимуму нынешних и будущих выбросов ртути, образующихся в результате транспортировки, хранения, обработки и удаления содержащих ртуть отходов;
- f) вывода из эксплуатации существующих установок таким образом, чтобы предотвратить их воздействие на окружающую среду, а также на здоровье человека в ходе их останова и в последующий период времени.

Таблица 10 а)

**Меры по ограничению выбросов, эффективность и затраты на сокращение выбросов на предприятиях по производству хлора и щелочи**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Меры по ограничению выбросов</i>	<i>Эффективность сокращения выбросов [%]</i>
Производство хлора и щелочи	Охлаждение газов с целью удаления ртути из водородного потока: использование каплеуловителей; использование скрубберов; адсорбция на активированном угле и молекулярных ситах	> 90

82. Эти меры способны сократить выбросы ртути до средней годовой величины, составляющей значительно менее 2,0 г/Мг произведенного  $Cl_2$ . На всех установках обеспечивается соблюдение предельного значения в размере 2 г Hg/Мг  $Cl_2$  для атмосферных выбросов, как это предусматривается в решении 90/3 ПАРКОМ, и совершенно ясно, что на многих установках объем атмосферных выбросов продолжает сокращаться. Однако представленные данные о выбросах свидетельствуют о том, что фактические значения изменяются в диапазоне 0,14–1,57 г Hg/Мг  $Cl_2$ . На наиболее эффективно действующих установках с ртутными элементами среднегодовое среднее значение объема поступления ртути в атмосферу, воду и вместе с продуктами изменяется в диапазоне 0,2–0,5 г Hg/Мг  $Cl_2$ , а размер атмосферных выбросов составляет 0,21–0,32 г Hg/Мг  $Cl_2$ , как это указывается в таблице 10 б). Поскольку выбросы в значительной степени зависят от правильной эксплуатации оборудования, их среднюю величину следует определять за период между проведением обычного обслуживания один раз в год или чаще и включать ее.

Таблица 10 б)

**Поступление ртути в атмосферу из наиболее эффективно действующих установок с ртутными элементами**

	г Hg/Мг $Cl_2$ <sup>a</sup>
Помещение, в котором находятся ртутные элементы	0,2–0,3
Технологические отработанные газы, включая содержащие Hg газы, отходящие от перегонной установки	0,0003–0,01
Необработанный охлаждающий воздух, отходящий от установки для перегонки Hg	0,006–0,1
Газообразный водород	< 0,003

<sup>a</sup> Общее количество ртути на мегаграмм произведенного хлора (в граммах).

## I. Сжигание городских, медицинских и опасных отходов (приложение II, категории 10 и 11)

83. Существуют отходы, которые не классифицируются в качестве опасных, городских или медицинских отходов в зависимости от национального законодательства (например, неопасные промышленные отходы, осадки сточной жидкости и т.д.) и которые могут по отдельности или совместно сжигаться в других секторах: в этой связи они могут представлять собой значительный источник выбросов тяжелых металлов. Кроме того, существуют другие методы термической обработки отходов (например, пиролиз), которые могут также являться крупным источником выбросов тяжелых металлов. Что касается НИМ, то не проводится какого-либо различия между городскими, опасными и медицинскими отходами с точки зрения применяемых методов или достижимых предельных значений, поскольку все типы отходов зачастую сжигаются на одной и той же установке. Выбросы кадмия, свинца и ртути возникают при сжигании городских, медицинских и опасных отходов. В процессе их сжигания происходит улетучивание ртути, значительной части кадмия и небольшой части свинца. С целью уменьшения таких выбросов до и после сжигания следует применять специальные меры. Надлежащими первичными мерами для предупреждения атмосферных выбросов ртути до сжигания являются только те, которые предотвращают или ограничивают, если это возможно, включение ртути в отходы. В некоторых странах содержащие ртуть компоненты отделяются от потока твер-

дых отходов и подвергаются надлежащей очистке или рециркуляции. Удаление ртути из потока отходов до его поступления в мусоросжигательную установку является гораздо более эффективным методом с точки зрения затрат, нежели улавливание ртути на последующем этапе из дымовых газов с помощью устройств для ограничения выбросов. Сокращение выбросов ртути из установок для сжигания городских и медицинских отходов можно обеспечить за счет замены продуктов. Хотя этот метод можно применять в отношении широкого круга компонентов, наибольшее внимание уделяется аккумуляторным батареям с учетом того, что на их долю может приходиться значительная часть ртути в составе городских и медицинских отходов. Возможность применения метода, предусматривающего замену продуктов, в других областях должна основываться на его технической и экономической осуществимости.

84. НИМ для пылеулавливания и сокращения выбросов тяжелых металлов считается применение ТФ в сочетании с сухими и мокрыми способами ограничения выбросов летучих соединений. Для обеспечения низкого уровня пылевых выбросов могут также применяться ЭСО в сочетании с мокрыми методами очистки, однако их возможности меньше, чем возможности ТФ, особенно с фильтрующим слоем для абсорбции летучих загрязнителей. Около 30–60% ртути задерживается с помощью высокоэффективных ЭСО или ТФ, а системы ДДГ обеспечивают улавливание еще 10–20% ртути. При использовании систем сухой очистки можно обеспечить сокращение выбросов более чем на 90% путем дополнительного впрыскивания активизированного угля (пропитанного такими сорбентами, как сера, бром или другие химические вещества), гидрокарбоната натрия или гидроокиси кальция до прохождения потока через тканевой фильтр или посредством использования буроугольного кокса или цеолита. При использовании системы мокрых скрубберов, оснащенной ЭСО или ТФ, для повышения эффективности удаления ртути в раствор мокрых скрубберов можно добавлять различные химические вещества, например такие как перекись водорода, жидкие хелатообразующие реагенты с медными или марганцевыми солями или хлорноватисто-кислый натрий ( $\text{NaClO}$ ).

85. При использовании НИМ для очистки дымовых газов концентрация пыли уменьшается до 1–5  $\text{мг/м}^3$ . Использование тканевых фильтров позволяет в целом уменьшить уровень выбросов в пределах этого диапазона. Важную роль играет эффективное ремонтно-техническое обслуживание систем для ограничения выбросов пыли. В результате уменьшения выбросов пыли обычно уменьшаются также и уровни выбросов тяжелых металлов. Концентрация ртути может быть сокращена до 0,001–0,02  $\text{мг/м}^3$  (среднесуточное значение при нормализации до 11%  $\text{O}_2$ ). Для достижения этих уровней выбросов в связи со многими видами отходов обычно требуется осуществлять адсорбцию с использованием угольных реагентов. В некоторых потоках отходов концентрация Hg изменяется значительным образом, и в таких случаях может потребоваться предварительная обработка отходов для предотвращения пиковой перегрузки систем обработки отходящих газов.

86. В таблице 10 описаны наиболее применяемые вторичные меры по сокращению выбросов. Получение достоверных для всех случаев данных сопряжено с трудностями ввиду того, что относительные затраты в долларах США на тонну зависят от исключительно большого числа специфических для тех или иных объектов переменных, в том числе от состава отходов.

87. В случае повторного сжигания остатков, образующихся при обработке дымовых газов, следует применять надлежащие меры для предупреждения рециркуляции и накопления Hg в конкретной установке.

88. Металлическая ртуть может адсорбироваться (как правило, в размере 95% общего объема), а затем поступать в воздух в концентрациях ниже  $30 \text{ мкг/Нм}^3$  в случае впрыскивания активированного угля в сочетании с использованием устройства для пылеудаления. Ионная ртуть может также удаляться в результате химической адсорбции, поскольку дымовые газы содержат серу, а некоторые виды активированного угля – уголь, пропитанный серой. Использование активированного угля связано с определенным риском возгорания. Адсорбент может перемешиваться с другими реагентами, с тем чтобы уменьшить эту опасность. В некоторых случаях используется 90% извести и 10% угля. Доля угля обычно является более высокой в тех случаях, когда для удаления кислого газа используется ряд дополнительных технологических этапов (например, мокрые скрубберы). В некоторых системах, в которых удаление ртути осуществляется с помощью мокрых кислых скрубберов ( $\text{pH} < 1$ ) с целью сокращения ее входной концентрации, окончательный уровень выбросов составляет ниже  $1 \text{ мкг/Нм}^3$ .

89. Использование ИКВ для ограничения выбросов окислов азота также позволяет в качестве побочного эффекта сокращать выбросы ртути путем ее преобразования в форму, в которой она может собираться с помощью ТФ или осаждаться посредством мокрых скрубберов.

90. Большинство Сторон считает необходимым проводить только дискретный мониторинг выбросов ртути, в то время как другие страны рассматривают непрерывный мониторинг в качестве НИМ; в наличии также имеются доказавшие свою эффективность системы непрерывного измерения параметров выбросов ртути.

91. Для совместного сжигания отходов и рекуперированного топлива в цементных печах широкое применение находят НИМ для таких печей.

92. Для совместного сжигания отходов и рекуперированного топлива в установках для сжигания широкое применение находят НИМ, конкретно разработанные для таких установок.

93. Перспективным методом является технологический процесс Реск, поскольку сопутствующие дымовые газы характеризуются крайне низким содержанием тяжелых металлов. Этот технологический процесс был разработан для обработки твердых коммунально-бытовых отходов, однако он может также, в принципе, использоваться для переработки других отходов. Для сокращения выбросов тяжелых металлов могут также использоваться другие методы, такие как процесс испарения тяжелых металлов и гидрометаллургическая обработка в сочетании с витрификацией.

94. Если на самом начальном этапе эксплуатации высокоэффективного скруббера  $\text{pH}$  поддерживается на уровне ниже 1, то эффективность удаления ионной Hg в виде каломели  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ , которая, как правило, является основным соединением ртути после сжигания отходов, превышает 95%. Степень адсорбции металлической ртути можно повысить путем добавления серных соединений или активированного угля или оксидантов, например таких, как перекись водорода, в скрубберную жидкость. Общая эффективность удаления Hg (как металлической, так и ионной) составляет порядка 85%. С помощью только систем мокрого скруббирования можно обеспечить концентрации ртути в размере около  $36 \text{ мкг/Нм}^3$ , мокрых скрубберов и фильтра из активированного угля –  $< 2 \text{ мкг/Нм}^3$  и сочетания проточно-инжекционных устройств и мокрого скруббера –  $4 \text{ мкг/Нм}^3$ .

Таблица 11

**Меры по ограничению выбросов, эффективность и затраты на сокращение пылевых выбросов в связи со сжиганием городских, медицинских и опасных отходов для дымовых газов**

<i>Меры по ограничению выбросов</i>	<i>Эффективность сокращения выбросов (%)</i>	<i>Затраты на борьбу с загрязнением (общие затраты в долл. США)</i>
Высокоэффективные скруберы	Pb, Cd: > 98; Hg: около 50	
ЭСО (3 отделения) с активированным углем или эквивалентными адсорбирующими реагентами	Pb, Cd: 80–90	10–20/Мг отходов
Мокрый ЭСО (1 отделение) с добавками в сочетании со впрыскиванием активированного угля или фильтрами из активированного угля или кокса	Pb, Cd: 95–99 Hg: > 90 (1 мкг/Нм <sup>3</sup> )	1 600 – 4 000 на фунт удаляемой Hg
Тканевые фильтры	Pb, Cd: 95–99	15–30/Мг отходов
Впрыскивание активированного угля + ТФ или ЭСО	Hg: 50–95 (< 1 мкг/Нм <sup>3</sup> )	Эксплуатационные расходы: около 2–3/Мг отходов; установки для сжигания коммунально-бытовых отходов – 211–870; установки для сжигания медицинских отходов, 2 000–4 000 на фунт удаляемой Hg. Эксплуатационные расходы (тариф за выбросы углерода): 125 000 евро/год для установки, на которой обрабатывается 65 000 тонн опасных отходов <sup>a</sup>
Фильтрация на угольной подложке	Hg: > 99	Эксплуатационные расходы: около 50/Мг отходов; 513–1 083 на фунт удаляемой Hg
Селеновые фильтры (входная концентрация ртути в размере до 9 мг/м <sup>3</sup> )		

<sup>a</sup> См. BREF Waste Incineration, chapter 4.4.6.2 (2006), <http://eippcb.jrc.es/reference/wi.html>.