

Категория		Название
NFR:	<b>2.А.1</b>	<b>Производство цемента</b>
SNAP:	<b>040612</b>	<b>Цемент</b>
ISIC:	<b>2694</b>	<b>Производство цемента, извести, штукатурки, гипса</b>
Версия	<b>Руководство 2009</b>	

**Координатор**

Йерун Кюэнен

**Соавторы (включая предыдущие издания данной главы)**

Ян Бердовски, Питер ван дер Мост, Р. Весселс Боер, Отто Рентз, Дагмар Ортель,  
Джозеф М. Пачина, Мартин Пирс, Карло Троззи, Тинус Пуллес, Вильфред Аппелман

## Оглавление

1	Общая информация.....	3
2	Описание источников выбросов.....	3
2.1	Описание процесса производства.....	3
2.2	Технология.....	6
2.3	Выбросы.....	6
2.4	Способы контроля.....	8
3	Методы.....	8
3.1	Выбор метода.....	8
3.2	Метод уровня 1, стандартный.....	10
3.3	Метод уровня 2, технологически зависимый.....	12
3.4	Метод уровня 3, моделирование и применение данных по отдельным предприятиям.....	15
4	Качество данных.....	18
4.1	Полнота.....	18
4.2	Предотвращение двойного подсчета.....	18
4.3	Проверка.....	19
4.4	Разработка согласованного временного ряда и пересчет.....	19
4.5	Оценка неопределенностей.....	20
4.6	Обеспечение качества / контроль качества (ОК/КК).....	20
4.7	Географическая привязка.....	20
4.8	Отчетность и документация.....	20
5	Глоссарий.....	21
6	Ссылки.....	21
7	Справки.....	21

# 1 Общая информация

Производство цемента - это основное производство минеральных продуктов. Во время производственного процесса природное сырье измельчают и, подвергнув обжигу при высоких температурах, преобразуют в клинкер. Клинкер остужают и измельчают вместе с минеральными добавками до состояния порошка, известного как цемент. Цемент – это гидравлическое вяжущее вещество, т.е. которое затвердевает при добавлении воды. Цемент используется в бетоне для связи песка и гравия.

В 2006 г. в ЕС-27 на 356 предприятиях было произведено 266 млн. т цемента (European Commission, 2007). Ежедневная производительность крупных цементных заводов около 4 000 т цемента.

Выбросы от обжига в цементной печи обусловлены физическими и химическими реакциями сырьевых материалов и топлива. Основные составляющие отходящих газов это азот и избыточный кислород из воздуха, поступающего в зону горения, и диоксид углерода и вода, образующиеся в результате горения сырья.

Отходящие газы также включают в себя мелкие частицы пыли, диоксиды серы, оксиды азота, оксиды углерода, хлориды, фториды, аммиак и небольшое количество органических соединений и тяжелые металлы.

Цементная промышленность, как и любая другая производственная деятельность, в отношении охраны окружающей среды жестко регулируются национальным и международным законодательством. Поэтому в большей степени уровни выбросов зависят от очистительных установок, используемых для соответствия установленным нормам выбросов.

В большинстве стран заводы по производству цементного клинкера, скорее всего, будут относиться к «ключевой категории» источников выбросов относительно одних загрязняющих веществ (см. обзорную Главу по методологическому выбору, Часть А Руководства) и к «не ключевой категории» относительно других загрязнителей.

Процесс горения в цементной печи является неотъемлемой частью производственного процесса, в котором топливная зола становится частью цементного клинкера и энергетические затраты связаны с образованием составляющих клинкера. Поэтому затруднительно разделить процесс и выбросы, образующиеся при горении. Так как все загрязняющие вещества в большей степени будут обусловлены топливным сырьем, то выбросы от термической обработки будут рассматриваться в категории 1.А.2.f «Производственная промышленность и строительство (Обжигание) - Другое». В этой Главе Таблица коэффициентов выбросов метода уровня 2, обусловленного применяемой технологией, будет содержать в себе информацию о выбросах от горения в процессе цементного производства.

## 2 Описание источников выбросов

### 2.1 Описание процесса производства

В среднем производство цемента включает в себя четыре ступени:

- Добыча и подготовка сырья;

- Обжиг для производства клинкера;
- Смешивание и измельчение клинкера до консистенции цемента;
- Хранение, упаковка и доставка цемента.

### **2.1.1 Добыча и подготовка сырья**

Сырьем для производства цемента является смесь минералов, включающая в себя оксид кальция, оксид кремния, оксид алюминия и оксид железа. Основное сырье, включая известняк, мел, мергель, глинистый сланец или глину, добываются в карьерах. В большинстве случаев карьер располагается вблизи завода. После первичного измельчения сырье перевозят на цементный завод для хранения и последующей обработки. Другие сырьевые материалы, такие как бокситы, железная руда, доменный шлак, песок или материалы вторичного использования доставляются на завод извне.

Для производства 1 т цементного клинкера необходимо около 1,57 т сырья.

Сырьевые материалы в необходимых пропорциях измельчаются и смешиваются до состояния гомогенной смеси, удовлетворяющей жесткие требования относительно тонина помола и химического состава.

### **2.1.2 Обжиг для производства клинкера**

Эта часть производственного процесса является наиболее важной в отношении энергозатрат, потенциала вредных выбросов, контроля качества и цены.

Образование клинкера происходит в цементной печи, где минералы сырьевой смеси под воздействием высоких температур превращаются в новые минералы с гидравлическими свойствами. Мелкие частицы сырьевой смеси переносятся из холодной части печи в теплую, в то время как дымовые газы двигаются в обратном направлении: из горячей части в холодную. Это обеспечивает эффективную тепло- и энергопередачу сырьевой смеси, а также эффективное удаление загрязняющих веществ и золы. При обжигании в цементной печи сырьевая смесь высушивается, подогревается, сжигается и спекается в клинкер, который затем быстро охлаждается воздухом и складывается.

Основополагающие химические процессы при производстве цемента начинаются с распада карбоната кальция при температуре 900 °С, в результате которого образуется оксид кальция (CaO) и выделяется углекислый газ (CO<sub>2</sub>). Этот процесс называется кальцинирование. Далее начинается процесс производства клинкера: при высоких температурах (обычно 1400–1500 °С) оксид кальция вступает в реакцию с диоксидом кремния, оксидом алюминия и оксидом железа для образования силикатов, алюминатов и ферритов кальция, которые и составляют клинкер. После этого клинкер быстро охлаждают.

Цементная промышленность характеризуется высокой энергозатратностью. Теоретическая потребность в тепловой энергии для обеспечения химических/минералогических реакций для производства клинкера (исключая сушку и предварительный подогрев) составляет 1 700 МДж/т клинкера. Фактическая потребность в тепловой энергии в различных по типу и размеру цементных печах составляет примерно 3 500–5 000 МДж/т клинкера (European Commission, 2007).

Для обеспечения производственного процесса теплом и энергией можно использовать разные виды топлива. В Европе основными органическими видами топлива являются уголь и нефтяной кокс. Стоимость нефти и газа обычно мешают их использованию. Однако

высокие температуры и длительное время пребывания топлива в печи обуславливают высокий потенциал для распада органических веществ. Так появляется возможность использовать различные виды мусора и биомассу. Использованием таких, менее дорогих, видов топлива увеличилось за последние 15 лет.

Основными составляющими топливной золы являются диоксид кремния, оксид алюминия и металлические соединения, которые становятся частью клинкера.

### 2.1.3 Смешивание и измельчение цементного клинкера

Портландцемент получают путем совместного измельчения цементного клинкера и сульфатов, таких как гипс и ангидрид. Сульфаты необходимы для достижения требуемых характеристик схватывания цемента. Смешанный цемент (композитный) включает в себя другие элементы, такие как гранулированный доменный шлак, натуральный или искусственный пуццолан, известняк или инертные наполнители. Эти добавки могут быть измельчены вместе с клинкером, или могут нуждаться в отдельной сушке и измельчении.

### 2.1.4 Хранение, упаковка и доставка цемента

Цемент хранится на силосных складах. Разные виды цемента хранятся отдельно. Из силосов цемент грузят сразу в автодорожные, железнодорожные цистерны или на грузовые суда или перевозят на фасовочные станции.

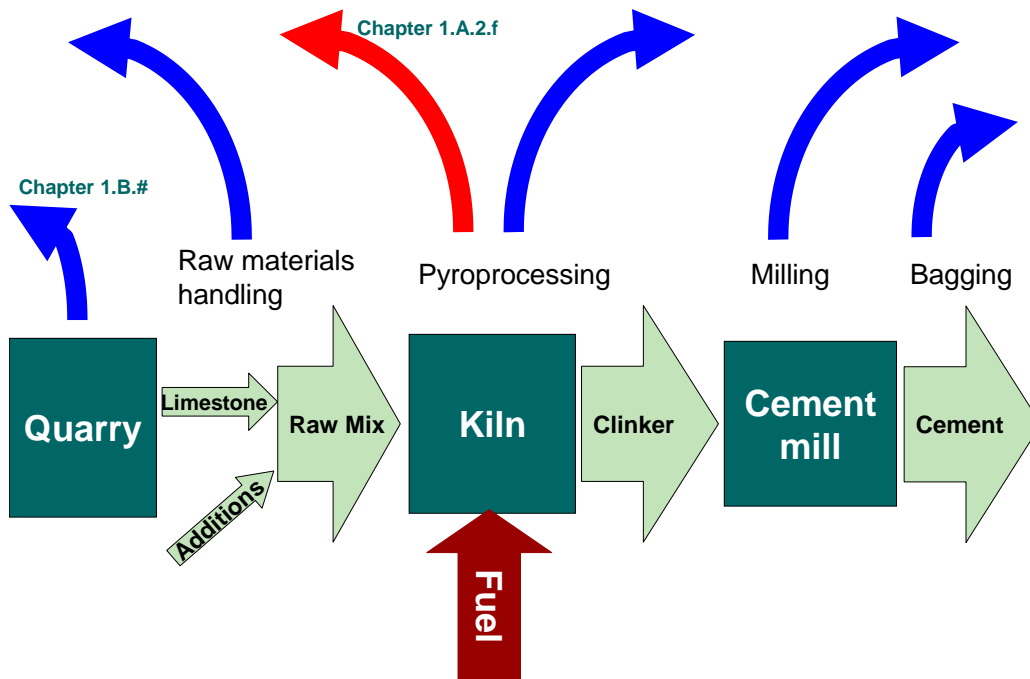


Рис. 2.1 Производство цемента. Выбросы, образующиеся при горении, отмечены красным, выбросы, образующиеся в результате производственного процесса, - синим. Выбросы от добычи сырья рассматриваются Главе 1.B.1.a, а выбросы от сжигания топлива в Главе 1.A.2.f.

## 2.2 Технология

Существует 4 основных технологических способа производства цемента: сухой, полусухой, мокрый и полумокрый:

- При использовании сухого способа сырье измельчается и сушится до состояния сыпучего порошка. Эта сухая сырьевая смесь поступает в печь предварительного подогрева (прекальцинирование) или в более редких случаях в медленную сушильную печь.
- Полусухой способ характеризуется тем, что сырьевая смесь гранулируется с добавлением воды и затем поступает на решетку подогрева, находящуюся перед печью или в длинную вращающуюся печь.
- При мокром способе сырье (обычно высокой влажности) измельчается в воде до консистенции жидкого шлама. Затем шлам поступает или сразу в печь, или вначале в сушилку.
- При полумокром способе жидкий шлам обезвоживается в фильтр-прессе. Затем сухой шлам гранулируется и подается на решетку предварительного подогрева или сразу в сушилку для производства сырьевой смеси.

Выбор того или иного способа производства в основном определяется влажностью материала (влажный или сухой). Мокрый способ производства является более энергозатратным и, следовательно, более дорогостоящим.

Горячие зерна клинкера необходимо быстро остудить, чтобы сохранить их гигроскопические свойства. Поэтому клинкерные холодильники являются частью цементной печи и помещаются сразу за горячей стеной печи. Клинкер охлаждается атмосферным воздухом, который затем используется в печи. Часть горячего воздуха также может использоваться для просушки твердых видов топлива и сырьевых материалов или может выбрасываться обратно в атмосферу.

Измельчение сырьевых материалов, топлива и цемента обычно происходит в больших грануляторах, также могут использоваться шаровые мельницы и пресс-бегуны.

## 2.3 Выбросы

Основные выбросы от производства цемента – это выбросы в воздух, возникающие во время работы цементной печи. Выбросы образуются в результате физических и химических реакций сырья и топлива. Основными составляющими отходящих газов являются азот и избыточный кислород, образующиеся из воздуха для горения, и углекислый газ и вода, образующиеся из сырьевого материала и в результате процесса горения, который является неотъемлемой частью процесса производства цемента. Отходящие газы также содержат в себе небольшой объем загрязняющих воздух веществ. Эти загрязняющие вещества были перечислены в “Справочнике по наилучшим имеющимся технологиям” (Best Available Techniques Reference) (European Commission, 2007):

- оксиды азота ( $\text{NO}_x$ );
- диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ) и другие соединения серы;
- пыль;
- летучие органические соединения (ЛОС);

- полихлорированные дибензодиоксины (ПХДД), полихлорированные дибензофураны (ПХДФ);
- металлы и их соединения;
- фтороводород (HF);
- хлороводород (HCl);
- оксид углерода (CO);
- аммиак (NH<sub>3</sub>).

В данной главе рассматриваются только выбросы твердых частиц, возникающие в результате работы цементных заводов, в особенности в результате подготовки и последующий обработки сырья. Выбросы от работы цементной печи включают в себя выбросы, образующиеся при горении и выбросы в результате производственного процесса. Однако подразумевается, что выбросы основных загрязняющих веществ: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, неметановые летучие органические соединения (НМЛОС) и NH<sub>3</sub>, а также тяжелые металлы и стойкие органические загрязнители происходят в результате горения топлива. Поэтому эти выбросы рассматриваются в Главе 1.А.2.f, которая посвящена сжиганию топлива в цементной промышленности. Это не означает, что вышеозначенные загрязняющие вещества не производятся в результате производственного процесса, но, т.к. невозможно разделить выбросы от производственного процесса и выбросы от сжигания топлива при производстве цемента, было решено рассмотреть эти выбросы в отдельной главе, посвященной сжиганию топлива.

Во всех цементных печах, твердый материал перемешивается с топочными газами. Такое смешивание влияет на выброс загрязняющих веществ, т.к. твердый материал выполняет роль встроенного очистителя воздуха, который абсорбирует газы или на поверхности которого они конденсируются.

NO<sub>x</sub> получаются при горении в результате реакции азота с кислородом, присутствующем или в воздухе, используемом для горения (тепловые NO<sub>x</sub>), или в топливе (топливные NO<sub>x</sub>). Тепловые NO<sub>x</sub> образуются при температуре выше 1200°С. Тепловые NO<sub>x</sub> преобладают из-за применения высоких температур в цементных печах. Оксид азота составляет около 95%, а диоксид азота около 5 %.

Выбросы SO<sub>2</sub> в первую очередь обусловлены наличием летучей серы в сырьевом материале. Эта сера в виде SO<sub>2</sub> выбрасывается со стороны низкотемпературной части печи. При высоких температурах сера, присутствующая в сырье в виде сульфатов, распадается только частично и практически полностью забирается из печи с клинкером. Сера, попадающая в печь вместе с топливом, вступит в реакцию с кислородом до образования SO<sub>2</sub> и не приведет к значительным выбросам SO<sub>2</sub>, т.к. SO<sub>2</sub>, образованный в горячей части печи, прореагирует с активными мелкими частицами сырьевого материала в зонах спекания, кальцинирования и в горячей части предварительного подогрева.

Образование пыли (включая твердые частицы) всегда было наиболее острой экологической проблемой в цементном производстве. Однако сейчас выбросы пыли сократились и контролируются высокоэффективными фильтрами. Основными источниками пыли являются дымовые трубы цементных печей. Кроме этого, возникают некоторые направленные выбросы пыли, связанные с измельчением (сырья, топлива, цемента), и рассеянные выбросы, которые могут возникнуть в результате хранения и погрузки сырья, топлива, клинкера, цемента, а также в результате использования транспортных средств на территории производства.

Хлориды и фториды могут попасть в систему из сырья и / или топлива. Основная часть улавливается мелкими твердыми частицами сырьевого материала и выходит из печи вместе с клинкером. Небольшое количество выбрасывается из печи, абсорбируясь на частицах пыли.

Выбросы летучих органических соединений, СО и NH<sub>3</sub> могут возникнуть на начальных стадиях обжига (предварительный подогрев, прекальцинирование), когда примеси (такие как органическое вещество), присутствующие в сырье, становятся летучими в результате нагревания сырьевой смеси.

Диоксины и фураны могут возникнуть в результате горения элементов установки, в зависимости от устройства печи и самого процесса, условий горения, сырья и типа и управления установками контроля за выбросами. Благодаря высоким температурам в печи производство цемента в Европе редко является существенной причиной выброса ПХДД и ПХДФ, даже если в качестве топлива применяются опасные отходы.

Металлы, попадающие в печь с сырьевым материалом или топливом, впоследствии будут присутствовать или в отходах горения, или в клинкере. Большая часть тяжелых металлов остается в клинкере. Крайне летучие металлы, такие как ртуть и таллий, не будут содержаться в клинкере в том же объеме, что и другие металлы. При высоких температурах многие тяжелые металлы испаряются и затем конденсируются на клинкере, сырье и частицах пыли.

## 2.4 Способы контроля

В отношении охраны окружающей среды цементная промышленность, как и любая другая производственная деятельность, жестко регулируются национальным и международным законодательством. Поэтому в большей степени уровни выбросов определяются очистными установками (например, пылеулавливателями), использующимися для достижения установленных норм выбросов.

Различные технологии по сокращению выбросов в цементной промышленности детально описываются в «Справочнике по наилучшим имеющимся технологиям» (European Commission, 2007).

## 3 Методы

### 3.1 Выбор метода

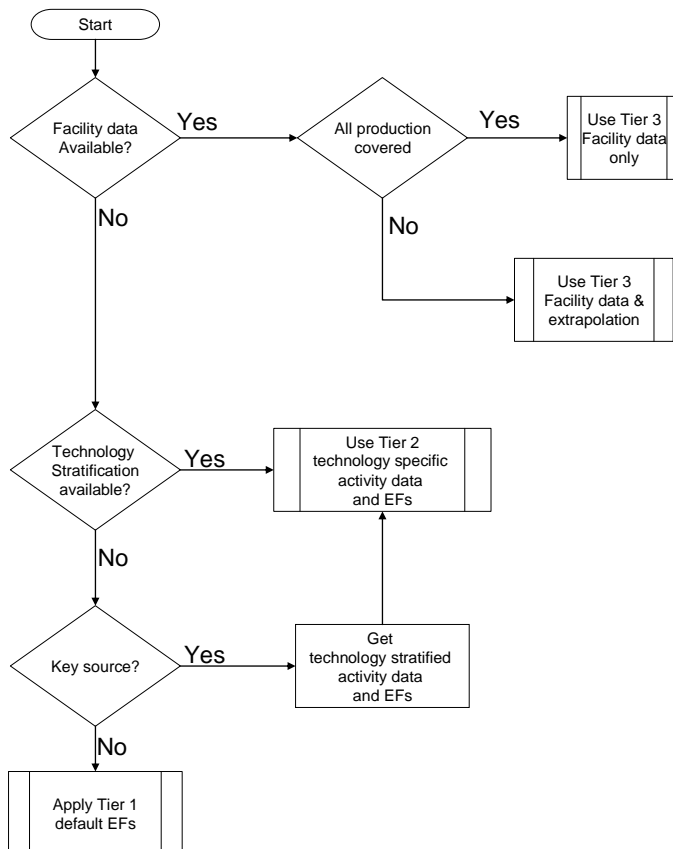
Рис. 3.1 описывает процедуру оценки производственных выбросов в цементной промышленности. Основа процедуры заключается в следующем:

- Если доступна детальная информация и можно использовать более высокий методологический уровень, его необходимо использовать.
- Метод уровня 1 может использоваться только в том случае, когда цементное производство не является ключевым производством. Этот метод основан на стандартных коэффициентах выбросов и национальных объемах производства.
- Если исходная категория является ключевой категорией, то должен применяться метод уровня 2 или более продвинутый метод, а собранная исходная информация должна быть детальной. В этом случае схема принятия решений направляет пользователя к методу уровня 2, т.к. подразумевается, что легче собрать исходную информацию для



этого метода, чем для метода уровня 3. Метод уровня 2 основан на национальных технологически обусловленных коэффициентах выбросов и качественной производственной статистике.

- Применение метода уровня 3, использующего детализированное моделирование процесса, на этой схеме принятия решений детально не показано. Однако детализированное моделирование будет всегда применяться на уровне отдельного предприятия, а результаты такой модели в схеме решений можно определить как «информацию на уровне предприятия».



**Рис. 3.1** Схема принятия решений для категории 2.A.1 Производство цемента

Заводы, производящие цемент, могут не считаться ключевой категорией в отношении одних загрязняющих веществ, но могут являться таковыми для других. Также в некоторых странах необходимо отчитываться в национальном регистре о выбросах некоторых загрязняющих веществ, произведенных отдельными предприятиями. В этом случае, высока вероятность того, что в большинстве стран будут применяться все три метода для определения объемов выбросов загрязняющих веществ при производстве цемента.

Производство цемента включает в себя выбросы от сжигания топлива и обработки сырья. Все выбросы, связанные с сжиганием топлива рассматриваются в Главе 1.A.2.f. Однако это не означает, что эти выбросы могут возникать только в результате горения топлива. Например, сырьевые материалы могут стать причиной выброса тяжелых металлов и диоксида серы.

Но т.к. мы предполагаем, что первопричиной большей части этих выбросов все же является топливо, а не сырьевой материал, все выбросы, за исключением твердых частиц рассматриваются в Главе 1.А.2.f.

## 3.2 Метод уровня 1, стандартный

### 3.2.1 Алгоритм

Метод уровня 1 для расчета выбросов от цементного производства использует общее уравнение:

$$E_{pollutant} = AR_{production} \times EF_{pollutant} \quad (1)$$

где:

- $E_{pollutant}$  выбросы загрязняющих веществ (кг)
- $AR_{production}$  годовое производство цемента (т)
- $EF_{pollutant}$  коэффициент выброса соответствующего загрязняющего вещества (кг загрязняющего вещества / т произведенного цемента)

Это уравнение применяется на национальном уровне и использует национальные статистические данные о производстве цемента. Информация о производстве цемента, подходящая для оценки уровня выбросов более простыми способами (методами уровней 1 и 2) широко доступна из статистических ежегодников ООН или национальной статистики.

Коэффициент выброса учитывает «среднюю» или обычную технологию и систему очистки, применяемую в стране, и включает в себя различные подпроцессы производства цемента с момента поступления сырья в производство и до отгрузки конечного продукта.

В случае, если применяются особые меры по снижению выбросов метод уровня 1 применяться не может, и необходимо воспользоваться методами уровней 2 или 3.

### 3.2.2 Коэффициенты выбросов по умолчанию

Для использования метода уровня 1 необходимо знать коэффициент выброса для всех загрязняющих веществ, возникающих на протяжении всех процессов производства с момента поступления сырья в производство и до отгрузки конечного продукта.

Коэффициенты выбросов по умолчанию для цементной промышленности приведены в Таблице 3.1. Коэффициенты выбросов – это округленные результаты, подсчитанные как среднее диапазона выбросов, показанного в Таблице 1.24 пересмотренного документа BREF (European Commission, 2007). Диапазон BREF объясняется как 95% - доверительный интервал, в то время как среднее геометрическое этого диапазона представлено как значение фактора выбросов в нижеприведенной таблице. Это среднее значение описывает ситуацию в промышленности, когда не существует национальных значений предельно допустимых выбросов и заводской отчетности по выбросам отдельных загрязняющих веществ (в этом случае должна использоваться методы уровней 1 или 2).

Цифры, представленные в таблице по коэффициентам выбросов, рассчитаны исходя из среднего 2 000 м<sup>3</sup>/т клинкера и 1 млн. т клинкера в года. Документ по комплексному предотвращению и контролю загрязнения (IPPC BREF, European Commission, 2001) отмечает особые теплотраты в процессе производства клинкера, примерно 3 500 to 5 000

МДж/т клинкера, в зависимости от типа топлива и способа производства (мокрый или сухой). Выбросы, возникающие в результате сжигания топлива, рассматриваются в Главе 1.А.2.f.

**Таблица 3.1 Коэффициенты выбросов для использования метода уровня 1 в категории 2.А.1 Производство цемента**

Tier 1 default emission factors					
	Code	Name			
NFR Source Category	2.A.1	Cement production			
Fuel	NA				
Not applicable	NH <sub>3</sub> , Aldrin, Chlordane, Chlordecone, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Heptabromo-biphenyl, Mirex, Toxaphene, HCH, DDT, PCB, PCP, SCCP				
Not estimated	NO <sub>x</sub> , CO, NMVOC, SO <sub>x</sub> , Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn, PCDD/F, Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Total 4 PAHs, HCB				
Pollutant	Value	Unit	95% confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
TSP	220	g/Mg cement produced	110	440	European Commission (2007)
PM10	200	g/Mg cement produced	100	400	European Commission (2007)
PM2.5	110	g/Mg cement produced	55	220	European Commission (2007)

Коэффициенты выбросов в вышеприведенной таблице представлены только для твердых частиц и включают в себя дополнительные выбросы в результате подготовки и обработки продукта и сырья. Выбросы твердых частиц в результате горения топлива включены в Главу 1.А.2.f. При использовании метода уровня 1 можно считать, что выбросы NO<sub>x</sub>, CO, НМЛОС, SO<sub>x</sub>, тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей возникают в результате сжигания твердого топлива и отходов и будут включены в коэффициенты выбросов в Главе 1.А.2.f. Для избежания двойного подсчета лучше рассматривать эти выбросы в Главе 1.А.2.f. Если эти выбросы возникают в результате химического распада сырьевого материала, то при использовании метода уровня 1 они будут обозначаться как «не определены» (НО).

### 3.2.3 Статистические данные о деятельности

Данные о производстве цемента, подходящие для определения выбросов при помощи простейших методов (методы уровней 1 и 2), должны содержаться в стандартной общедоступной национальной статистике. Рекомендуется получать эти данные из национальных статистических агентств. Кроме того данные широко доступны в статистических ежегодниках ООН или через CEMBUREAU ([www.cembureau.eu](http://www.cembureau.eu)).

Учитывая, что коэффициенты выбросов выражаются через массу произведенного клинкера, то статистика по операциям должна быть пересчитана со статистических данных по производству цемента на данные по производству клинкера. Основной вид цемента – это портландцемент, который в среднем содержит 90-97% клинкера (IPCC, 2006).

Дальнейшее руководство содержится в «Руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК», 2006, том 3 о «Промышленных процессах и использовании продуктов», раздел 2.2.1.3 «Выбор данных о деятельности» (IPCC, 2006). Для использования руководящих принципов МГЭИК 2006 необходимо обладать информацией о различных видах цемента и о доли клинкера в них. Вероятно, это более значимо для выбросов CO<sub>2</sub>, чем для выбросов загрязнителей воздуха. Тем не менее, если такие данные доступны для отчета по выбросам парниковых газов, целесообразно использовать эти же данные для отчета по загрязнителям воздуха. Руководящие принципы МГЭИК 2006 приводят долю клинкера по умолчанию в различных типах цемента в Таблице 2.2, Раздела 2, Тома 3.

### 3.3 Метод уровня 2, технологически зависимый

#### 3.3.1 Алгоритм

Метод уровня 2 схож с методом уровня 1. Для применения метода уровня 2 статистические данные по операциям и коэффициенты выбросов должны рассматриваться для различных технологий, применяемых в стране. Эти технологии могут включать в себя:

- Различные конечные продукты с различным содержанием клинкера;
- Мокрый или сухой процесс помола;
- Пылеулавливание;
- Иные способы очистки, применяемые в стране.

Метод уровня 2 применяется следующим образом. Вначале необходимо разделить производство цемента в стране по различным продуктам и процессам:

- Определить производства, использующие отдельный продукт и/или способ производства (в нижеприведенной формуле обобщающее название «технологии» (technologies) и;
- Применить коэффициент выбросов, учитывающий тип технологии:

$$E_{\text{pollutant}} = \sum_{\text{technologies}} AR_{\text{production,technology}} \times EF_{\text{technology,pollutant}} \quad (2)$$

где:

$AR_{\text{production,technology}}$  = объем производства при использовании данной технологии

$EF_{\text{technology,pollutant}}$  = коэффициент выбросов от использования данной технологии и для данного загрязняющего вещества

Для страны, где применяется только один тип технологии, возникает особый случай, и уравнение сокращается следующим образом:

$$E_{\text{pollutant}} = AR_{\text{production}} \times EF_{\text{technology,pollutant}} \quad (3)$$

где:

$E_{\text{pollutant}}$  = выбросы данного загрязняющего вещества

$AR_{\text{production}}$  = объем производства цемента

$EF_{\text{pollutant}}$  = коэффициент выбросов для данного загрязняющего вещества

Коэффициенты выбросов в этом методе также будут учитывать все подпроцессы производства, начиная с поступления сырья и до отгрузки произведенного цемента покупателям.

### 3.3.2 Коэффициенты выбросов, обусловленные применяемой технологией

Для использования метода уровня 2 для определения выбросов загрязняющих веществ от производства цемента необходимо применить коэффициент выбросов, зависящий от технологии. Это рассматривается в данном подразделе. Документ BREF для этой промышленности доступен по ссылке <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>. В пункте 4.3.1 настоящего документа для сравнения приводятся коэффициенты выбросов, полученные в результате рассмотрения выбросов, возникающих при использовании наилучших имеющихся технологий.

Данный подраздел рассматривает коэффициенты выбросов, обусловленных применяющейся технологией, в цементном производстве при использовании мокрого и сухого способа. Эти коэффициенты применимы для стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (ВЕКЦА).

#### 3.3.2.1 Мокрый способ производства

В таблице 3.2 показаны коэффициенты выбросов при использовании мокрого способа производства в странах ВЕКЦА. Другие данные не доступны.

**Таблица 3.2 Коэффициенты выбросов при использовании метода уровня 2 в категории 2.А.1 Производство цемента, мокрый способ производства**

Tier 2 emission factors					
NFR Source Category	Code	Name			
	2.A.1	Cement production			
Fuel	NA				
SNAP (if applicable)	040612	Cement (decarbonizing)			
Technologies/Practices	Wet kiln process				
Region or regional conditions	EECCA countries				
Abatement technologies	ESP2, 98.9% efficiency				
Not applicable	NH <sub>3</sub> , Aldrin, Chlordane, Chlordecone, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Heptabromo-biphenyl, Mirex, Toxaphene, HCH, DDT, PCB, PCP, SCCP				
Not estimated	NO <sub>x</sub> , CO, NMVOC, SO <sub>x</sub> , Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn, PCDD/F, Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Total 4 PAHs, HCB				
Pollutant	Value	Unit	95% confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
TSP	0.6	kg/Mg cement produced	0.4	0.9	Kakareka (2008)
PM <sub>10</sub>	0.51	kg/Mg cement produced	0.34	0.77	Kakareka (2008)
PM <sub>2.5</sub>	0.18	kg/Mg cement produced	0.12	0.27	Kakareka (2008)

#### 3.3.2.2 Сухой способ производства

При использовании сухого способа производства сырье поступает печь в сухом виде. Основной причиной для этого является энергоэффективность. Обычно при сухом способе производства используется на 30-40% меньше энергии, чем при мокром. Однако, в сравнении с мокрым способом, поступление сухого сырья в печь отразится на более высоком уровне выбросов пыли.

Коэффициенты выбросов метода уровня 2 при использовании сухого способа производства снова разработаны для стран ВЕКЦА. Другие данные не доступны.

Таблица 3.3 Коэффициенты выбросов при использовании метода уровня 2 в категории  
2.A.1 Производство цемента, сухой способ производства

Tier 2 emission factors					
NFR Source Category	Code	Name			
	2.A.1	Cement production			
Fuel	NA				
SNAP (if applicable)	040612	Cement (decarbonizing)			
Technologies/Practices	Dry kiln process				
Region or regional conditions	EECCA countries				
Abatement technologies	ESP2, 99.5% efficiency				
Not applicable	NH <sub>3</sub> , Aldrin, Chlordane, Chlordecone, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Heptabromo-biphenyl, Mirex, Toxaphene, HCH, DDT, PCB, PCP, SCCP				
Not estimated	NO <sub>x</sub> , CO, NMVOC, SO <sub>x</sub> , Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn, PCDD/F, Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Total 4 PAHs, HCB				
Pollutant	Value	Unit	95% confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
TSP	2.5	kg/Mg cement produced	1.7	3.8	Kakareka (2008)
PM10	1.3	kg/Mg cement produced	0.8	1.9	Kakareka (2008)
PM2.5	0.94	kg/Mg cement produced	0.6	1.4	Kakareka (2008)

### 3.3.3 Очистительные технологии

Существуют системы доочистки, которые призваны сократить выбросы определенных загрязняющих веществ. В результате при подсчете выбросов коэффициент выбросов, определенный применяемой технологией, может быть заменен на уменьшенный коэффициент выбросов, как показано в формуле:

$$EF_{technologyabated} = (1 - \eta_{abatement}) \times EF_{technologyunabated} \quad (4)$$

Данный подраздел рассматривает коэффициенты эффективности очистки для соответствующих установок в цементной промышленности.

#### 3.3.3.1 Пылеулавливание

Коэффициенты эффективности очистки приведены в Таблице 3.4. Они основаны на Координационной европейской программе по инвентаризации выбросов твердых частиц (СЕРМЕИР) (Visschedijk *et al.*, 2004) и учитывают более старые заводы, имеющие лишь электростатический фильтр в главной дымовой трубе и обладающие ограниченным контролем за несистематическими выбросами в атмосферу.

**Table 3.4 Коэффициенты эффективности очистки ( $\eta_{\text{abatement}}$ ) для категории 2.А.1  
Производство цемента**

Tier 2 Abatement efficiencies					
	Code	Name			
<b>NFR Source Category</b>	2.A.1	Cement production			
<b>Fuel</b>	NA	not applicable			
<b>SNAP (if applicable)</b>	040612	Cement (decarbonizing)			
<b>Abatement technology</b>	<b>Pollutant</b>	<b>Efficiency</b>	<b>95% confidence interval</b>		<b>Reference</b>
		<b>Default Value</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper</b>	
ESP on main stack and smaller fabric filters for moderate control of fugitive sources	particle > 10 $\mu\text{m}$	93%	62%	100%	Visschedijk et al. (2004)
	10 $\mu\text{m}$ > particle > 2.5 $\mu\text{m}$	34%	23%	51%	Visschedijk et al. (2004)
	2.5 $\mu\text{m}$ > particle	40%	27%	60%	Visschedijk et al. (2004)
Additional fabric filters on the oven stack; effective control of fugitive sources	particle > 10 $\mu\text{m}$	98%	66%	100%	Visschedijk et al. (2004)
	10 $\mu\text{m}$ > particle > 2.5 $\mu\text{m}$	80%	53%	100%	Visschedijk et al. (2004)
	2.5 $\mu\text{m}$ > particle	73%	49%	100%	Visschedijk et al. (2004)

### 3.3.4 Статистические данные о деятельности

Данные о производстве цемента, подходящие для определения выбросов при помощи простейших методов (методы уровней 1 и 2) широко доступны в статистических ежегодниках ООН, национальной статистике или через CEMBUREAU ([www.cembureau.eu](http://www.cembureau.eu)).

Для использования метода уровня 2 эти данные должны быть разделены, исходя из применяемых технологий и систем очистки. Источниками этой информации могут послужить дочерние промышленные предприятия, находящиеся в стране, или тематические опросники, поданные на отдельные цементные предприятия.

Учитывая, что коэффициенты выбросов выражаются через массу произведенного клинкера, статистика по операциям должна быть пересчитана со статистических данных по производству цемента на данные по производству клинкера. Основной вид цемента – это портландцемент, который в среднем содержит 90-97% клинкера (IPCC, 2006).

Дальнейшее руководство содержится в «Руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК», 2006, том 3 о «Промышленных процессах и использовании продуктов», раздел 2.2.1.3 «Выбор данных о деятельности» (IPCC, 2006).

## 3.4 Метод уровня 3, моделирование и применение данных по отдельным предприятиям

### 3.4.1 Алгоритм

Существуют два метода по определению выбросов, которые идут глубже, чем метод, учитывающий различные технологии производства:

- Детальное моделирование всех производственных процессов;
- Отчеты по выбросам отдельных заводов.

#### 3.4.1.1 Детальное моделирование производственных процессов

Метод уровня 3 учитывает различные особенности производственного процесса и включает в себя суммарную оценку всех последовательных этапов производства цемента:

- Обработку сырья;

- Пироэлектрическую обработку;
- Завершающие этапы подготовки продукта к отгрузке («фасовка»).

### 3.4.1.2 Данные по отдельным предприятиям

Там, где имеются данные по отдельным предприятиям в надлежащем качестве (см. вступительную главу по управлению инвентаризацией и сбору данных в Части А данного Руководства) рекомендуется их использование. Существует два варианта, когда:

- Данные по отдельным предприятиям описывают всю цементную промышленность в стране;
- Данные по отдельным предприятиям имеются не для всех цементных заводов страны.

Если доступны данные по всей цементной промышленности в стране, рекомендуется сравнить соответствующие коэффициенты выбросов (опубликованные выбросы, разделенные на объем произведенного цемента) с коэффициентами выбросов, установленными по умолчанию, или с коэффициентами, обусловленными используемой технологией. Если первые не превышают 95% доверительный интервал для значений, приведенных ниже, то рекомендуется объяснить причины в отчетности.

Если общее производство цемента страны за год не включено в отчетность по отдельным предприятиям, то рекомендуется оценить недостающие части, используя экстраполяцию:

$$E_{Total, pollutant} = \sum_{Facilities} E_{Facility, pollutant} + \left( National\ Production - \sum_{Facilities} Production_{Facility} \right) \times EF \quad (5)$$

В зависимости от национальных особенностей и информативности отчетов по предприятиям, сравниваемых с годовым производством цемента, для данного уравнения рекомендуется выбрать коэффициент выбросов ( $EF$ ) из следующих вариантов, расположенных в порядке уменьшения их предпочтительности:

- Коэффициенты выбросов, обусловленные применяемой технологией на тех предприятиях, где отчетность по выбросам не доступна;
- Соответствующий коэффициент выбросов, полученный из доступной отчетности по выбросам:

$$EF = \frac{\sum_{Facilities} E_{Facility, pollutant}}{\sum_{Facilities} Production_{Facility}} \quad (6)$$

- Коэффициент выбросов по умолчанию из метода уровня 1. Этот вариант может использоваться только в том случае, когда отчетность по выбросам отдельных предприятий описывает более 90% национального производства цемента.

### 3.4.2 Моделирование и использование данных по отдельным предприятиям в методе уровня 3

Цементные печи – крупнейшие промышленные установки, и данные об отдельных заводах должны содержаться в регистре выбросов и переноса загрязняющих веществ (РВПЗВ) или в другом отчетном материале по выбросам. Когда качество этих данных подтверждено детально разработанной системой гарантии и контроля качества и отчеты по выбросам



одобрены независимыми аудиторами, рекомендуется использовать эту информацию. Если для описания всей цементной промышленности в стране необходима экстраполяция, можно использовать или коэффициенты выбросов тех предприятий, которые предоставили отчетность, или коэффициенты выбросов рассмотренные выше (подпункт 3.3.2).

Уровни выбросов загрязняющих веществ в большей степени определяются очистительными установками, используемыми для достижения установленных норм выбросов. Поэтому национальные коэффициенты выбросов могут быть определены исходя из значений предельно допустимых норм выбросов, тем самым обосновывая коэффициент выбросов, характерный для данной страны.

В большинстве стран существуют национальные предельно допустимые выбросы (ПДВ) для ряда загрязняющих веществ. Обычно ПДВ относятся ко всем цементным заводам, вне зависимости от применяемой технологии или типа конечного продукта. Учитывая, что выбросы от производства цемента практически полностью возникают в цементной печи в процессе производства клинкера, ПДВ могут относиться к отходящим газам цементной печи.

Коэффициенты выбросов для производства клинкера могут считаться следующим образом:

$$EF_{pollutant,clinker} = ELV_{pollutant} \times EG_{clinker} \quad (7)$$

где:

- $EF_{pollutant,clinker}$  = коэффициент выброса загрязняющего вещества, относящегося к производству клинкера (мг загрязнителя / т клинкера)
- $ELV_{pollutant}$  = ПДВ загрязняющего вещества (мг/ м<sup>3</sup> отходящих газов)
- $EG_{clinker}$  = объем отходящих газов gas (м<sup>3</sup>/т клинкера)

Коэффициенты выбросов для различных видов цемента могут считаться следующим образом:

$$EF_{pollutant,cement,type} = ELV_{pollutant,clinker} \times CF \quad (8)$$

где:

- $EF_{pollutant,cement,type}$  = коэффициент выбросов для определенного вида цемента (мг загрязнителя / т цемента)
- $EF_{pollutant,clinker}$  = коэффициент выброса загрязняющего вещества, относящегося к производству клинкера (мг загрязнителя / т клинкера)
- $CF$  = коэффициент клинкера (т клинкера / т цемента)

Если производство цемента не возможно разделить на различные его типы, или если в дополнение к обыкновенному цементу производится значительная доля смешанного, допускается использование обобщенного коэффициента клинкера, равного 0,75. Если известно, что производится лишь обыкновенный цемент, допускается использовать коэффициент клинкера, равный 0,95, согласно «Руководящим принципам национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК» (IPCC, 2006).

Если для некоторых видов загрязняющих веществ ПДВ не существуют, и национальные коэффициенты выбросов для различных типов цемента не могут быть найдены другими способами, вместо коэффициента выброса загрязняющего вещества, относящегося к производству клинкера ( $EF_{\text{pollutant,clinker}}$ ), можно использовать коэффициенты выбросов по умолчанию, представленные в Таблице 3.1.

### 3.4.3 Статистические данные о деятельности

Обычно статистические данные о деятельности в РВПЗВ не содержатся, поэтому иногда сложно найти необходимую информацию для предприятий, предоставивших данные о выбросах. Потенциальными источниками информации могут стать регистры торговли разрешениями на выбросы.

Для проектирования понадобятся коэффициенты выбросов отдельно взятых заводов. Коэффициенты можно подсчитать, разделив данный объем выбросов завода на общий объем производства цемента.

Если для некоторых заводов годовой объем выбросов не известен, то подсчеты можно основывать на ПДВ, обозначенных в разрешении о ведении работ. Подсчеты могут быть проведены аналогично подсчетам в подпункте 3.3.2.

Во многих странах национальные статистические агентства собирают данные о производстве на уровне отдельных предприятий, но во множестве случаев это закрытая информация. Однако в некоторых странах национальные статистические бюро входят в состав национальной системы по инвентаризации выбросов. В этом случае, если необходимо, экстраполяция может быть проведена статистическим бюро, с соблюдением конфиденциальности использования данных о производстве.

## 4 Качество данных

Производство цемента – это процесс, в котором горячие газы, возникающие в процессе горения, напрямую попадают в реактор, где происходят химические и физические процессы. Это означает, что разделить выбросы не те, что происходят в процессе горения и те, что с горением не связаны, не всегда легко. Если такое разделение произвести действительно не возможно, то выбросы можно осветить или в данной ключевой категории (2.А.1) или в категории 1.А.2.f.

### 4.1 Полнота

В тех случаях, когда предпринимается попытка разделить выбросы на те, что возникают во время горения, и которые с горением не связаны, необходимо осторожно проследить включение в отчетность всех выбросов.

Рекомендуется проверить, действительно ли включены выбросы, отмеченные в категории 2.А.1 как «включенные в другие пункты», в выбросы, возникающие при горении и рассматриваемые в категории 1.А.2.f.

### 4.2 Предотвращение двойного подсчета

Если это возможно, рекомендуется разделять эти типы выбросов. Однако необходимо уделить тщательное внимание тому, чтобы избежать двойного подсчета.

Рекомендуется проверить, что выбросы, рассмотренные в категории 2.А.1, не учитывались в категории 1.А.2.f.

### 4.3 Проверка

Данные, рассмотренные в методах уровней 1 и 2, могут быть проверены на предмет соответствия Европейскому регистру выбросов и переноса загрязняющих веществ, Е-РВПЗВ (E-PRTR).

Национальные данные о выбросах, используемые в методе уровня 3, могут быть проверены на соответствие коэффициентам выбросов по умолчанию в Таблице 3.1 и данным из Е-РВПЗВ.

#### 4.3.1 Коэффициенты выбросов при наилучших имеющихся технологиях

Пересмотренный документ BREF для цементной и известковой промышленности (European Commission, 2007) описывает технологии и уровни соответствующих выбросов при использовании наилучших имеющихся технологий (НИТ). Уровни выбросов при использовании НИТ показаны в Таблице 4.1. Дополнительная информация содержится в документе BREF.

**Table 4.1 Коэффициенты выбросов при использовании НИТ в категории 2.А.1 Производство цемента**

	Code	Name		
<b>NFR Source Category</b>	2.A.1	Cement production		
<b>Fuel</b>	NA	not applicable		
<b>Pollutant</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>	<b>95% confidence interval</b>	
			<b>Lower</b>	<b>Upper</b>
NOx	300	mg/Nm <sup>3</sup>	200	500
SOx	300	mg/Nm <sup>3</sup>	200	400
TSP	25	mg/Nm <sup>3</sup>	20	30

Коэффициенты, представленные в Таблице 4.1, основаны на потоке газа. Они могут быть пересчитаны на массу произведенного цемента или потребляемой энергии. Для того, чтобы сравнить эти коэффициенты, необходимо обладать информацией о потоке газа на тонну произведенного цемента. Могут использоваться следующие средние коэффициенты перевода:

- 2000 м<sup>3</sup>/т клинкера;
- Цемент, содержащий 90% клинкера по умолчанию.

За дополнительной информацией относительно этих переводных коэффициентов, пожалуйста, обратитесь к документу BREF для цементной и известковой промышленности (European Commission, 2007).

### 4.4 Разработка согласованного временного ряда и пересчет

Для методов уровней 1 и 2 особенностей нет.

Может оказаться, что для метода уровня 3 данные за разные года включают в себя информацию о различных уровнях производства. Это может привести к несогласованности временного ряда. Кроме того, данные из РВПЗВ, как правило, доступны лишь для

некоторых годов. Соединение информации, недавно включенной в Европейский регистр выбросов и переноса загрязняющих веществ/ Европейский регистр загрязняющих веществ, с архивными данными может послужить созданию согласованного временного ряда. Объединение информации может использоваться как для статистических данных о деятельности, так и для коэффициентов выбросов, характерных для данной страны.

Неожиданный разрыв непрерывности временных рядов может произойти в случае начала или окончания особых цементных работ в определенный промежуток времени. Если такая ситуация возникает, рекомендуется четко задокументировать ее причины в архивах инвентаризации.

## **4.5 Оценка неопределенностей**

Достаточно сложно оценить неопределенности в оценке выбросов, возникающих при производстве цемента. Неопределенности оценки выброса оксида серы можно определить по аналогии с неопределенностями оценки для ископаемых видов топлива, используемых для сжигания (см. Главу 1.А.2.г).

Было решено, что до 50% неопределенностей могут относиться к определению выбросов практически всех элементов, выбрасываемых в малых количествах основными точечными источниками в Европе (Расуна, 1994). Похожие неопределенности могут быть определены для оценки выбросов тех же элементов при производстве цемента.

### **4.5.1 Неопределенности коэффициентов выбросов**

Нет особенностей.

### **4.5.2 Неопределенности данных о деятельности**

Нет особенностей.

## **4.6 Обеспечение качества / контроль качества (ОК/КК)**

В данной главе рассматриваются выбросы от производства цемента, не связанные с горением топлива. Выбросы, возникающие в результате сжигания топлива освещены в категории 1.А.2.г в разделе о сжигании топлива. Рекомендуется проверить соответствие данных о производстве цемента, рассматриваемых в настоящей главе, соответствующему расходу топлива, освещенному в разделе о сжигании топлива. Как указывалось выше (подраздел 2.1) расход энергии для производства клинкера равен 3.5–5 ГДж/т. Однако, с учетом потери тепла в процессе производства реальный энергорасход может быть значительно больше.

## **4.7 Географическая привязка**

Если доступны данные об отдельных предприятиях, рекомендуется рассматривать цементные заводы как точечные источники. В противном случае национальные выбросы должны быть разделены на основе мощности завода, занятости или демографической статистики.

## **4.8 Отчетность и документация**

Нет особенностей.

## 5 Глоссарий

ЭСФ	Электростатический фильтр: установка для сокращения выброса пыли
ТФ	Тканевой фильтр: оборудование для сокращения выброса пыли
Процесс сжигания с контактом	Процесс, при котором поток горячего газа, образующийся в результате горения, напрямую попадает в реактор, где проходят химические и физические процессы, превращающие сырье в продукт. Примеры: <ul style="list-style-type: none"> <li>• железо и сталь</li> <li>• цемент</li> <li>• известь</li> </ul>

## 6 Ссылки

European Commission, 2001. *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in the Cement and Lime Manufacturing Industries, December 2001.*

European Commission, 2007. *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in the Cement and Lime Manufacturing Industries.* Draft September 2007. Available at <http://eippcb.jrc.es>. [Accessed 5 August 2009]

IPCC, 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (eds), National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.

Kakareka, 2008. *Personal communication.* Institute for problems of use of natural resources and ecology, Belarusian National Academy of Sciences, Minsk.

Visschedijk, A.J.H., Pacyna, J., Pulles, T., Zandveld, P. and Denier van der Gon, H., 2004. 'Coordinated European Particulate Matter Emission Inventory Program (CEPMEIP)'. In: Dilara, P. et. al (eds), *Proceedings of the PM emission inventories scientific workshop, Lago Maggiore, Italy, 18 October 2004.* EUR 21302 EN, JRC, pp. 163–174.

## 7 Справки

Вопросы по данной главе следует направлять ответственным руководителям экспертной группы по сжиганию топлива и промышленности в рамках рабочей группы по инвентаризации и проектированию выбросов. Пожалуйста, ознакомьтесь на веб-сайте TFEIP ([www.tfeip-secretariat.org](http://www.tfeip-secretariat.org)) с контактными данными ответственных руководителей группы.