

# 6

---

## **КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ НА ПРАКТИКЕ**

## **СОПРЕДСЕДАТЕЛИ, РЕДАКТОРЫ И ЭКСПЕРТЫ**

### **Сопредседатели совещания экспертов по междисциплинарным методологиям для оценки неопределенностей и качества кадастра**

Така Хираиши (Япония) и Бурухани Ниензи (Танзания)

### **РЕДАКТОР-РЕЦЕНЗЕНТ**

Ричард Одинг (Кения)

### **Группа экспертов по количественной оценке неопределенностей на практике**

#### **СОПРЕДСЕДАТЕЛИ**

Джим Пенман (СК) и Семере Хабетсион (Эритрея)

#### **АВТОРЫ СПРАВОЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Кай Абель (Австралия), Симон Игглстон (СК) и Тинус Пуллюс (Нидерланды)

#### **СОТРУДНИЧАЮЩИЕ АВТОРЫ**

Симон Игглстон (СК), Кристофер Фрей (США), Кари Гронфорс (Финляндия), Никлас Хёне (Секретариат РКИК ООН), Чарлз Джабб (Австралия), Катарина Маречкова (Словацкая Республика), Джероэн Мейер (ГТП/ПНКПГ-МГЭИК), Франк Нейтцерт (Канада), Тодд Нгара (Зимбабве), Тинус Пуллюс (Нидерланды), Эммануэль Ривьер (Франция), Артур Рипински (США), Мартирос Царукьян (Армения) и Питер Жу (Ботсвана).

## Содержание

<b>6 КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ НА ПРАКТИКЕ</b>	
6.1 ОБЩИЙ ОБЗОР .....	6.5
6.2 ВЫЯВЛЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ.....	6.6
6.2.1 Неопределенности, связанные с непрерывным мониторингом выбросов.....	6.6
6.2.2 Неопределенности, связанные с непосредственным определением коэффициентов выбросов .....	6.7
6.2.3 Неопределенности, связанные с коэффициентами выбросов, заимствованными из опубликованной литературы.....	6.8
6.2.4 Неопределенности, связанные с данными о производственной деятельности .....	6.8
6.2.5 Экспертные оценки .....	6.10
6.3 МЕТОДЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ .....	6.14
6.3.1 Сравнение между уровнями и выбор метода .....	6.15
6.3.2 Уровень 1 – Оценка неопределенностей по категориям источников с упрощающими предположениями .....	6.15
6.3.3 Уровень 1 – Укрупнение и отчетность.....	6.20
6.4 УРОВЕНЬ 2- ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПО КАТЕГОРИЯМ ИСТОЧНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО .....	6.20
6.4.1 Уровень 2 - Неопределенности в тенденциях.....	6.23
6.4.2 Уровень 2 - Отчетность об анализе неопределенностей .....	6.24
6.5 ПРАКТИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО .....	6.26
6.5.1 Определение распределений вероятностей для входных элементов кадастра.....	6.26
6.5.2 Сколько усилий необходимо потратить для того, чтобы охарактеризовать неопределенность во входных элементах информации кадастра?.....	6.28
6.5.3 Выбор метода моделирования и размера выборки моделирования .....	6.28
6.5.4 Зависимость и корреляция между входными элементами кадастра .....	6.29
6.5.5 Имеет ли смысл корреляция? .....	6.29
6.5.6 Некоторые методы учета зависимостей или корреляции.....	6.29
6.5.7 Определение корреляции входных элементов кадастра.....	6.29
6.5.8 Анализ выходных элементов кадастра.....	6.29
6.5.9 Поощрение использования соответствующих методов .....	6.30
6.6 ВЫВОД.....	6.30
ПРИЛОЖЕНИЕ 6А.1 ВЫВОД ФОРМУЛ В ТАБЛИЦЕ 6.1 (УРОВЕНЬ 1).....	6.31
ПРИЛОЖЕНИЕ 6А.2 УРОВЕНЬ 1 - ПРИМЕР РАСЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ .....	6.34
БИБЛИОГРАФИЯ.....	6.36

## Рисунки

Рисунок 6.1	Иллюстрация метода Монте-Карло .....	6.22
Рисунок 6.2	Пример частотных графиков результатов моделирования методом Монте-Карло .....	6.23
Рисунок 6.3	Схема расчета для анализа методом Монте-Карло абсолютных значений выбросов и тенденций отдельной категории источников, оцениваемых как произведение коэффициента выбросов на интенсивность деятельности .....	6.24

## Таблицы

Таблица 6.1	Уровень 1 – Расчет неопределенностей и отчетность .....	6.18
Таблица 6.2	Уровень 2 - Отчетность о неопределенностях .....	6.25
Таблица 6.3	Уровень 1 - Пример расчета неопределенностей и отчетности .....	6.34

## 6 КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ НА ПРАКТИКЕ

### 6.1 ОБЩИЙ ОБЗОР

В настоящей главе описана *эффективная практика* по оценке и составлению отчетности в отношении неопределенностей, связанных с оценками как ежегодных выбросов, так и тенденций выбросов во времени. В ней определены типы неопределенностей с точки зрения составителя кадастра и показано, как согласованным образом получить заключения экспертов. В ней описываются два уровня для объединения неопределенностей по категориям источников в единую оценку неопределенностей для суммарных национальных выбросов и содержится пример применения метода уровня 1.

Эта глава согласуется с *эффективной практикой* для конкретных источников, описанной в главах 2-5, с общими принципами, описанными в приложении 1 – Концептуальная основа для анализа неопределенностей - и с главами по методологическому выбору (глава 7 - Методологический выбор и пересчет) и ОК/КК (глава 8 – Обеспечение качества и контроль качества).

Оценки неопределенностей представляют собой важный элемент полного кадастра выбросов. Информация о неопределенностях предназначена не для того, чтобы ставить под сомнение достоверность оценок кадастра, но для оказания помощи в определении приоритетных мер по повышению качества кадастров в будущем и для руководства в принятии решений о методологическом выборе, как указано в главе 7 – Методологический выбор и пересчет. Составители кадастров понимают, что для большинства стран и категорий источников оценки выбросов парниковых газов довольно точны. Однако национальные кадастры, подготовленные в соответствии с *Пересмотренными руководящими принципами национальных кадастров парниковых газов МГЭИК, 1996 г. (Руководящие принципы МГЭИК)* будут, как правило, содержать широкий диапазон оценок выбросов, варьирующихся от тщательно измеренных и доказуемо полных данных о некоторых технических химических веществах до оценок порядка величины весьма изменчивых потоков закиси азота (N<sub>2</sub>O) из почв и водных объектов.

Оценки выбросов могут использоваться для разнообразных целей. Для некоторых целей имеют значение только национальные суммарные величины, тогда как для других важную роль играют подробные сведения о различных парниковых газах и категориях источников. Для того чтобы эти данные отвечали намеченной цели, пользователи должны быть способны понимать фактическую надежность как суммарных оценок, так и их составляющих. По этой причине методы, используемые для сообщения о неопределенностях, должны быть осуществимыми, научно обоснованными, достаточно надежными для применения к широкому кругу категорий источников, методов и национальных условий и представленными таким образом, чтобы быть понятными для пользователей кадастра, не являющихся специалистами.

Существует много причин, по которым фактические выбросы и поглотители могут отличаться от цифр, рассчитанных в национальном кадастре. Эти причины довольно подробно описываются в приложении 1. Некоторые источники неопределенностей (т.е. ошибка выборки или ограничения в инструментальной точности) могут порождать хорошо обоснованные, легко характеризующиеся оценки диапазона потенциальной ошибки. Однако охарактеризовать другие источники неопределенностей может оказаться гораздо труднее. В настоящей главе описаны методы учета как хорошо обоснованных статистических неопределенностей, так и менее конкретной информации, характеризующей другие формы неопределенностей, а также способы объединения этой информации в единую характеристику неопределенности как общего кадастра, так и его компонентов.

В идеальном случае как оценки выбросов, так и диапазоны неопределенностей, вычисляются на основе данных измерений на конкретном источнике. Поскольку измерить каждый источник выбросов практически невозможно, то при этом оценки часто основываются на известных характеристиках типовых источников, которые берутся как репрезентативные для всей совокупности. Это вводит дополнительные неопределенности, поскольку необходимо предположить, что совокупность этих источников ведет себя в среднем аналогично источникам, которые были измерены. Иногда достаточно будет знать об этих типовых источниках, чтобы эмпирически определить распределения их неопределенностей. Однако на практике часто потребуется экспертная оценка для определения диапазонов неопределенностей.

Прагматический подход к составлению количественных оценок неопределенностей в этой ситуации состоит в использовании наилучших имеющихся оценок – сочетания имеющихся измеренных данных и

заклучений экспертов. В связи с этим методы, предложенные в настоящей главе, могут использоваться для диапазонов неопределенностей по конкретным категориям источников, описанных в главах 2-5, а также дают возможность включить новые эмпирические данные по мере их наличия. В настоящей главе также описываются методы получения экспертных оценок таким образом, чтобы сводился к минимуму риск ошибки, а также способы объединения неопределенностей, присутствующих в коэффициентах выбросов и данных о деятельности, для оценки категории источника и суммарных неопределенностей в кадастрах, а также неопределенностей в тенденции.

В главе используются две основные статистические концепции – плотность распределения вероятностей и доверительный интервал, которые официально определены в приложении 3 – Глоссарий - и более подробно описаны в приложении 1 – Концептуальная основа для анализа неопределенностей. По сути дела плотность распределения вероятностей описывает диапазон и относительную вероятность возможных величин. Доверительный интервал дает границы диапазона, внутри которого, как считается, лежит основная величина неопределенного количества для определенной вероятности. Этот диапазон и называют доверительным интервалом. *Руководящие принципы МГЭИК* предлагают использовать 95 %-ный доверительный интервал, что является интервалом, который имеет 95 % вероятности содержания неизвестной истинной величины.

Анализ неопределенностей, представленный в настоящей главе, не учитывает неопределенности потенциала глобального потепления (ППП). Для целей отчетности величины ППП, принятые на третьей сессии Конференции Сторон РКИК ООН, становятся, в сущности, фиксированными взвешенными коэффициентами. Однако следует иметь в виду, что величины ППП фактически имеют значительные связанные с ними неопределенности и что всеобщая оценка суммарных эквивалентных выбросов должна принимать этот факт во внимание.

## 6.2 ВЫЯВЛЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

Оцененная неопределенность выбросов из отдельных источников (например, электростанции, автомобильные двигатели, молочный скот) является либо функцией характеристик, калибровки и частоты проведения прямых инструментальных измерений, либо (более часто) сочетанием неопределенностей в коэффициентах выбросов для типовых источников и соответствующих данных о деятельности. Неопределенности в коэффициентах выбросов и данных о деятельности должны быть описаны с использованием плотности распределения вероятностей. В тех случаях, когда для этого имеются данные, форма кривой плотности распределения вероятностей должна быть определена эмпирически. В ином случае будет необходима экспертная оценка согласно правилам, изложенным ниже в разделе 6.2.5 – Экспертные оценки. Приведенные ниже разделы 6.2.1-6.2.4 содержат примеры типовых ситуаций, которые могут возникнуть при различных обстоятельствах наличия данных. Эти разделы расположены в порядке желательности в проведении оценок их неопределенностей.

На неопределенности воздействует выбор алгоритма оценки, и это отражено в *эффективной практике*, где методы более высоких уровней (при условии, что они правильно осуществлены), как правило, ассоциируются с более низкими неопределенностями. В целом неопределенности, связанные с выбором модели, будут отражаться в диапазонах неопределенностей, полученных для использования в контексте выбранной модели.

### 6.2.1 Неопределенности, связанные с непрерывным мониторингом выбросов

Непрерывный мониторинг выбросов, хотя и относительно редкий, обычно согласуется с *эффективной практикой* для конкретной категории источников. В этом случае плотность распределения вероятностей и, следовательно, неопределенность выбросов, включая 95 %, доверительный интервал, может быть определена непосредственно. Репрезентативная выборка требует, чтобы используемое оборудование для производства наблюдений было установлено и эксплуатировалось в соответствии с принципами и указаниями, изложенными в главе 8 по вопросам ОК/КК. При выполнении этого условия, вероятно, будет иметь место корреляция ошибок между годами. В связи с этим плотности распределения вероятности различия выбросов между двумя годами (неопределенность тенденции) будет в простой зависимости от плотности распределения вероятностей годовых выбросов. Предполагая, что обе плотности распределения вероятностей имеют форму нормальной кривой, плотность распределения вероятности различия в выбросах будет также нормальной, при этом:

**УРАВНЕНИЕ 6.1**

$$\text{среднее значение} = \mu_1 - \mu_2$$

**УРАВНЕНИЕ 6.2**

$$\text{среднеквадратическое отклонение} = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2},$$

где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – средние величины выбросов в годы  $t_1$  и  $t_2$ , а  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – среднеквадратические отклонения плотности распределения вероятностей выбросов в годы  $t_1$  и  $t_2$ . Границы 95 % доверительного интервала (в этом случае средняя величина или разность средних величин) будут даваться с точностью плюс или минус приблизительно два среднеквадратических отклонения.<sup>1</sup>

## 6.2.2 Неопределенности, связанные с непосредственным определением коэффициентов выбросов

В некоторых случаях данные периодических измерений выбросов могут иметься в распоряжении в точках проведения измерений. Если эти измерения можно увязать с репрезентативными данными о производственной деятельности, которые, разумеется, имеют решающее значение, то есть возможность определить коэффициент выбросов для конкретной точки проведения измерений наряду с ассоциированной плотностью распределения вероятностей для представления ежегодных выбросов.

Это может быть сложной задачей. Для достижения репрезентативности может оказаться необходимым расчленив (или стратифицировать) данные для отражения типовых условий эксплуатации. Например:

- *Ввод в эксплуатацию и закрытие предприятия* могут дать различные интенсивности выбросов по отношению к данным о производственной деятельности. В этом случае данные должны быть расчленены с отдельными коэффициентами выбросов и плотностью распределения вероятности, определенными для условий устойчивого функционирования, ввода в эксплуатацию и закрытия предприятия.
- *Коэффициенты выбросов могут зависеть от нагрузки.* В этом случае оценку суммарных выбросов и анализ неопределенностей необходимо будет стратифицировать с целью учета нагрузки, выраженной, например, в виде процента от полной мощности. Это можно сделать посредством регрессивного анализа и графиков разброса интенсивности выбросов в зависимости от вероятного изменения основной переменной (например, выбросы *в зависимости от* нагрузки) при этом нагрузка становится частью необходимых данных о деятельности.
- *Измерения, произведенные для другой цели,* могут оказаться нерепрезентативными. Например, измерения метана, произведенные по соображениям безопасности на угольных шахтах и мусорных свалках, могут не отражать суммарных выбросов. В таких случаях для анализа неопределенностей следует оценить соотношение между измеренными данными и суммарными выбросами.

Если размер выборки данных достаточно велик, то можно использовать стандартный статистический критерий согласия в сочетании с экспертной оценкой для оказания помощи в принятии решения о том, какую использовать плотность распределения вероятности для описания изменчивости в данных (если необходимо, расчлененных) и как ее параметризовать. Однако во многих случаях количество измерений, на основании которых можно сделать заключение относительно неопределенности, будет небольшим. В типичном случае, коль скоро имеется три или более точек данных и если эти данные являются случайной репрезентативной выборкой величины, представляющей интерес, имеется возможность применить статистические методы для оценки величин параметров многих двухпараметровых распределений (например, нормальное, логарифмически нормальное), которые могут быть использованы для описания изменчивости в комплексе данных (Каллен и Фрей, 1999 г., стр. 116-117). При малых размерах выборки будут иметь место крупные неопределенности в отношении оценок параметров, что следует отразить в количественной оценке неопределенностей для использования в кадастре выбросов. Кроме того, как правило, не имеется возможности положиться на статистические методы для того, чтобы различить критерии согласия альтернативных параметрических распределений, когда размеры выборки очень малы (Каллен и Фрей, 1999 г., стр. 158-159). В связи с этим, при выборе соответствующего параметрического распределения, согласовывающегося с очень малым комплектом данных, требуется серьезная экспертная оценка. В ситуациях, когда коэффициент изменчивости меньше приблизительно

<sup>1</sup> При размерах выборки меньших примерно 30, для оценки границ доверительного интервала следует использовать распределение *t* Стьюдента.

0,3, обоснованным предположением может быть нормальное распределение (Робинсон, 1989 г.). При большом коэффициенте изменчивости и неотрицательном значении искомой величины может быть уместным положительное асимметричное распределение, такое как логарифмически нормальное. Руководство по выбору распределений содержится в приложении 1 – Концептуальная основа для анализа неопределенностей, а использование экспертных оценок в этом контексте описано ниже в разделе 6.2.5 – Экспертные оценки.

### 6.2.3 Неопределенности, связанные с коэффициентами выбросов, заимствованными из опубликованной литературы

При отсутствии данных по конкретным точкам, *эффективная практика* обычно заключается в составлении оценки выбросов, используя коэффициенты выбросов, заимствованные из литературы и согласующиеся с *Руководящими принципами МГЭИК*, а *эффективная практика* по конкретным категориям источников описана в главах 2-5. Эти коэффициенты должны быть измерены в конкретных условиях, которые считаются типовыми. Будут иметь место неопределенности, связанные с первоначальными измерениями, а также с использованием этих коэффициентов в условиях, отличающихся от тех, которые присутствовали при первоначальных измерениях. Основная функция *эффективной практики* по каждой категории источников состоит в оказании помощи при выборе коэффициентов выбросов для того, чтобы по возможности свести к минимуму этот второй источник неопределенности. Руководящие указания по конкретным категориям источников также указывают, когда это возможно, диапазоны неопределенностей, которые, вероятно, будут связаны с использованием этих коэффициентов.

Там, где используются такие коэффициенты выбросов, связанные с ними неопределенности должны оцениваться, исходя из:

- *самостоятельных исследований, включая данные по конкретной стране.* Для коэффициентов выбросов, основанных на измерениях, данные от программы самостоятельных измерений могут позволить произвести оценку неопределенности и, возможно, плотности распределения вероятностей. Хорошо спроектированные программы измерений обеспечат данные выборки, которые охватывают номенклатуру типов предприятий и их эксплуатацию, размеры и возраст, с тем чтобы можно было непосредственно использовать коэффициенты и их неопределенности. В других случаях будут необходимы экспертные оценки для экстраполяции измерений на всю совокупность предприятий в этой конкретной категории источников/поглотителей.
- *Руководящих указаний по эффективной практике.* Для большинства коэффициентов выбросов *эффективная практика* для конкретных категорий источников предоставляет устанавливаемые по умолчанию оценки неопределенностей, которые следует использовать при отсутствии другой информации. Если не имеется четких доказательств обратного, предполагается что плотность вероятностей имеет нормальное распределение. Однако учреждениям, составляющим кадастры, следует оценить репрезентативность этих значений по умолчанию для их собственной ситуации. Если значения по умолчанию считаются нерепрезентативными и эта категория источников важна для кадастра, то следует разработать улучшенные предположения, основанные на экспертных оценках.

Коэффициент выбросов, который превышает или занижает выбросы за базовый год, будет, вероятно, действовать так же и в последующие годы. В связи с этим, неопределенности, обусловленные коэффициентами выбросов, будут иметь тенденцию к корреляции во времени.

### 6.2.4 Неопределенности, связанные с данными о деятельности

Данные о деятельности подчас более тесно увязываются с экономической деятельностью, чем коэффициенты выбросов. Часто существуют хорошо обоснованные ценовые стимулы и финансово-бюджетные требования в отношении точного учета экономической деятельности. В связи с этим, данные о деятельности имеют тенденцию к более низким неопределенностям и более низкой корреляции между годами. Данные о деятельности часто собираются и регулярно публикуются национальными статистическими органами. Возможно, что эти органы уже оценили неопределенности, связанные с их данными, в качестве части их процедур сбора данных. Эти неопределенности могут быть использованы для построения плотности распределения вероятностей. Эта информация не всегда публикуется, поэтому *эффективная практика* заключается в установлении непосредственных контактов со статистическими



органами. Поскольку обычно данные об экономической деятельности не собирают специально для оценки выбросов парниковых газов, применимость этих данных следует оценить перед их использованием.

Примеры общих и конкретных вопросов, которые могут возникнуть в связи с охватом, репрезентативностью и повторяемостью от года к году, таковы:

- *Интерпретация статистических различий.* Статистические различия в энергетическом балансе, как правило, представляют собой различия между количеством сообщаемого первичного топлива, и количеством топлива, определенным по категориям "конечное потребление" и "в стадии преобразования". Они могут дать представление о размерах неопределенностей в данных, особенно в тех случаях, когда рассматриваются длительные временные ряды.
- *Интерпретация энергетических балансов.* Данные о производстве, использовании и импорте/экспорте должны быть согласованными. В противном случае это может быть свидетельством неопределенностей.
- *Перекрестные проверки.* Возможно будет сравнить два типа данных о деятельности, которые применяются в отношении одного и того же источника, с тем чтобы иметь представление о диапазонах неопределенностей. Например, сумма используемого моторного топлива должна соразмеряться с суммой произведений автомобиле-километров на эффективность потребления топлива по типам автомобилей.
- *Количество и типы автомобилей.* Некоторые страны ведут детальную базу данных регистрации автомобилей с указанием данных об их типах, возрасте, типе топлива и технологии борьбы с выбросами, причем все эти данные могут иметь важное значение для детального восходящего кадастра выбросов метана (CH<sub>4</sub>) и закиси азота (N<sub>2</sub>O) из таких автомобилей. Другие страны не имеют такой детальной информации, что создает тенденцию к увеличению неопределенности.
- *Контрабанда топлива через границы.* Это может иметь существенное значение и может вносить систематическую ошибку в данные о деятельности. Видимое потребление и суммы использования топлива по отраслям могут сравниваться в ходе перекрестной проверки.
- *Топливо на основе биомассы.* В тех случаях, когда официального рынка для этих видов топлива не существует, оценки потребления могут быть значительно менее точными, чем для топлива в целом.
- *Данные о популяции домашнего скота.* Точность будет зависеть от охвата и надежности методов национальной переписи и обследования и могут иметь место различные правила учета для животных, которые не живут в течение всего года.

Учреждения, составляющие кадастры, могут также предпринимать целенаправленные исследования для сбора дополнительных данных о деятельности, согласующихся с *эффективной практикой*, ставя на первое место усилия, направленные на *ключевые категории источников* (т.е. те категории источников, которые оказывают значительное воздействие на общенациональный кадастр прямых парниковых газов в исчислении абсолютного уровня выбросов, тенденции выбросов или и того, и другого, как описано в главе 7 – Методологический выбор и пересчет).

Оценка плотности распределения вероятностей, связанной с данными о деятельности, может оказаться трудной. Процедуры, описанные в настоящей главе, должны применяться к имеющейся информации в соответствии с рекомендациями об интерпретации экспертных оценок, помещенными в нижеследующем разделе.

## 6.2.5 Экспертные оценки

Оценки неопределенностей, присутствующих в коэффициентах выбросов или непосредственных измерениях выбросов, необходимо будет основывать на экспертных оценках, когда отсутствуют эмпирические данные. Оценки неопределенностей в данных о деятельности часто будут базироваться на экспертных оценках, выполненных, по мере возможности, с проведением перекрестных проверок, аналогичных тем, которые описаны в предыдущем разделе.

Эксперты - это люди, которые обладают специальными навыками или знаниями в какой-либо конкретной области. Заключение эксперта представляет собой оценку или вывод на основе информации, представленной эксперту или имеющейся у него. Важно отбирать соответствующих экспертов, когда речь идет о входной информации для кадастров выбросов, для которой нужны оценки неопределенностей.

В этом случае задача экспертных оценок заключается в определении плотности распределения вероятности с учетом соответствующей информации, такой как:

- Является ли данный источник выбросов аналогичным другим источникам? Как данную неопределенность можно будет сравнить?
- Насколько глубоко изучен процесс выбросов? Определены ли все возможные источники выбросов?
- Существуют ли физические пределы того, насколько широко может меняться коэффициент выбросов? Если только процесс не является обратимым, его выбросы не могут быть меньше нуля, и это может ограничить весьма широкий диапазон неопределенностей.
- Согласуются ли выбросы с данными об атмосферных концентрациях? Выбросы отражаются в атмосферных концентрациях для конкретной точки и в более крупных масштабах, и вновь это может наложить ограничения на возможные интенсивности выбросов.

В определенной степени экспертные оценки требуются даже тогда, когда к комплектам данных применяются классические статистические методы, поскольку эксперт может судить о том, являются ли данные репрезентативной случайной выборкой и, если это так, то какой метод использовать для анализа этих данных. Это может потребовать как технической, так и статистической оценки. Интерпретация особенно нужна для комплектов данных, которые малы по объему, весьма асимметричны или подвергнуты цензуре.<sup>2</sup> Официальные методы получения данных от экспертов известны как *составление заключений экспертов*.

### ВОЗМОЖНЫЕ ОШИБКИ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ЗАКЛЮЧЕНИЙ ЭКСПЕРТОВ

По мере возможности экспертная оценка относительно неопределенности должна составляться с использованием соответствующего протокола. После того как эксперты определены, должны быть разработаны протоколы составления заключений с целью избежания ошибок, которые могут вкрасться из-за применения экспертом эмпирических правил (иногда называются *эвристикой*) при формулировании оценок неопределенностей.

Наиболее часто распространенные неосознанные ошибки, возникающие из-за применения эмпирических правил, включают:

- *Ошибка доступности* – основывать оценки на выводах, которые легче всего запоминаются.
- *Ошибка репрезентативности* - основывать оценки на ограниченных данных и опыте без полного учета других соответствующих доказательств.
- *Ошибка остановки движения и поправок* – останавливаться на какой-либо одной конкретной величине в диапазоне и вносить незначительные поправки вокруг этого значения при проведении оценки неопределенности.

Для противодействия первым двум потенциальным источникам ошибок протоколы составления заключений должны предусматривать обзор соответствующих доказательств. Для того чтобы противодействовать третьему потенциальному источнику ошибок, важно запросить эксперта провести вначале оценки в отношении экстремальных величин, прежде чем просить его об оценках в отношении

<sup>2</sup> В этих случаях может оказаться полезным рассмотреть численный метод, такой как метод замещения (бутстрап), для того, чтобы охарактеризовать распределения выборки. Методы, характеризующие распределения выборки в отношении средних величин описали Каллен и Фрей (1999 г.), Фрей и Родес (1996 г.) и Фрей и Бурмастер (1999 г.).

центральных величин какого-либо распределения. Когда эксперт дает слишком узкий диапазон величин, это называется "излишней самоуверенностью". Согласно Моргану и Хериону (1990 г.) эксперты часто систематически занижают неопределенности. Желательно избегать чрезмерной самоуверенности с тем, чтобы не занижать истинной неопределенности.

Существует также возможность для более осознанных ошибок:

- *Ошибка мотивации* – это желание эксперта повлиять на конечный результат или избежать противоречий с ранее высказанными позициями по какому-либо вопросу.
- *Ошибка эксперта* возникает из желания неквалифицированного эксперта представить себя в качестве единственного эксперта в данной области. Это, как правило, ведет к чересчур самонадеянным оценкам неопределенности.
- *Управленческая ошибка* – это ситуация, когда эксперт делает заключение, направленное на достижение управленческих целей, а не оценок, которые отражают фактическое состояние знаний относительно входных элементов кадастра.
- *Ошибка выбора* происходит тогда, когда учреждение, составляющее кадастр, выбирает эксперта, который говорит ему то, что оно хочет от него услышать.

Наилучший способ избежания этих ошибок заключается в тщательном отборе экспертов.

Экспертные оценки могут быть составлены отдельными лицами или группами лиц. Группы могут быть полезными, поскольку могут обмениваться внутри себя знаниями, и это может быть частью шагов по мотивации, структуризации и определению условий при составлении заключения. Однако динамика группы может быть причиной других ошибок. Таким образом, обычно предпочтение отдается получению заключения эксперта на индивидуальной основе.

## ПРОТОКОЛ СОСТАВЛЕНИЯ ЗАКЛЮЧЕНИЯ ЭКСПЕРТА

Примером хорошо известного протокола для составления заключения эксперта является протокол Stanford/SRI. Его пять этапов описаны ниже, а пример его использования представлен в блоке 6.1 – Краткий пример детальной экспертной оценки.

- *Мотивация*: Установить взаимопонимание с экспертом и описать содержание заключения. Объяснить метод, который должен быть использован при составлении заключения и причину, по которой он выбран. Заказчик должен также попытаться объяснить эксперту наиболее часто встречающиеся ошибки и определить возможные ошибки эксперта.
- *Структуризация*: Четко определить величины, по которым запрашивается оценка, включая, например, год и страну, категорию источников выбросов, используемое время усреднения (один год), основное внимание неопределенности средних величин коэффициентов выбросов и структуру модели кадастра выбросов. Четко определить ограничивающие факторы и предположения (например, выбросы должны определяться для типичных условий, усредненных за период в один год.)
- *Определение условий*: Работать с экспертом для определения всех соответствующих данных, моделей и теории, относящихся к той количественной величине, для которой требуются оценки относительно неопределенностей.
- *Представление информации*: Запросить оценку эксперта относительно неопределенности. Следующий раздел, посвященный представлению информации, описывает использование некоторых альтернативных методов.
- *Проверка достоверности*: Проанализировать ответ эксперта и предоставить эксперту информацию обратной связи о выводе, который был сделан на основании его или ее оценки. Действительно ли было представлено то, что эксперт имел в виду? Имеются ли нестыковки в экспертной оценке?

## МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Методы, которые следует использовать на этапе представления информации, должны зависеть от познаний эксперта в области распределения вероятностей. Некоторыми наиболее часто применяемыми методами являются:

- *Фиксированная величина*: Оценить вероятность, как находящуюся выше (или ниже) произвольно выбранной величины и повторить, как правило, три или пять раз. Например, какова вероятность того, что коэффициент выбросов будет меньше 100?

- *Фиксированная вероятность*: Оценить величину, ассоциированную с определенной вероятностью, как более высокую (или низкую). Например, каков коэффициент выбросов при условии, что имеется лишь 2,5-процентная вероятность (или 1 на 40 случаев) того, что коэффициент выбросов может быть ниже (или выше) этой величины.
- *Метод интервалов*: Этот метод имеет в центре внимания медиану и квартили. Например, эксперту может быть поручено выбрать величину коэффициента выбросов таким образом, чтобы была равная вероятность того, что истинный коэффициент выбросов будет выше или ниже данной величины. Это дает в результате медиану. Затем эксперт делит нижний диапазон на два элемента таким образом, чтобы вероятность того, что коэффициент выбросов по его или ее мнению будет с одинаковой вероятностью в одном из этих элементов (вероятность 25 процентов) и это будет повторено для другого конца распределения. Наконец, может быть использован метод либо фиксированной вероятности, либо фиксированной величины для получения заключения об экстремальных величинах.
- *Графическая информация*: Эксперт вычерчивает свои собственные графики распределения. Этот метод следует использовать с осторожностью, поскольку некоторые эксперты чересчур самоуверенны в отношении своих знаний в области распределения вероятностей.

#### Блок 6.1

##### Краткий пример детальной экспертной оценки

Предположим, что учреждение, составляющее кадастр, определило эксперта (ее) по вопросам выбросов метана от тепловых электростанций и желает получить ее оценку относительно неопределенности среднегодовых выбросов для этой категории источников. В качестве части этапа мотивации заказчик пояснил эксперту общую цель анализа и протокол составления заключения эксперта, который должен для этого использоваться. На этапе структуризации заказчик работает с экспертом для составления конкретного протокола постановка задач. Например, хотя все учреждения, составляющие кадастры, могут желать получить оценку среднегодовой неопределенности, тем не менее эксперт может заявить заказчику, что он предпочитает предоставить оценки раздельно для ввода предприятия в эксплуатацию, его работы при частичной и полной нагрузке и что эти три оценки должны быть взвешены, с тем чтобы прийти к совокупной неопределенности для среднегодовой величины. После структуризации проблемы заказчик рассматривает информацию эксперта, относящуюся к оценке, такую как измерения, которые могли быть произведены на аналогичных типах электростанций или других источниках выбросов от сжигания топлива. На этапе составления заключения заказчик может запросить эксперта сообщить ему такое верхнее значение, чтобы имелся лишь один шанс из сорока (вероятность 2,5 процента) получения более высокой величины. После получения этой величины заказчик просит эксперта пояснить логическую основу этой оценки, например, сценарий эксплуатации станции, который может привести к такой высокой интенсивности выбросов. Затем этот процесс может повторяться для нижнего конца диапазона и, возможно, для медианы, 25<sup>го</sup> перцентиля и 75<sup>го</sup> перцентиля. Может быть использовано сочетание представления фиксированной величины и фиксированной вероятности. Заказчик должен нанести эти величины на график с тем, чтобы можно было выявить и исправить любые несоответствия за время работы, выделенное эксперту. На этапе проверки достоверности заказчик обеспечивает, чтобы эксперта устраивало хорошее представление их оценки. Заказчик может также проверить реакцию эксперта на возможность иметь величины за пределами интервала, для которого представлены оценки, с тем чтобы убедиться, что эксперт не является чересчур самоуверенным.

Иногда единственная представленная экспертная оценка будет заключаться в указании разброса величин, приводимого, возможно, вместе с наиболее вероятной величиной. При таких условиях применяются следующие правила:

- когда эксперты представляют лишь верхний и нижний пределы величины, предположить, что плотность распределения вероятностей является однородной и что этот диапазон соответствует 95 % доверительному интервалу.
- Когда эксперты предоставляют также наиболее вероятную величину, предположить плотность распределения вероятностей треугольной формы, используя наиболее вероятные величины в качестве мода и предполагая, что как верхний, так и нижний пределы величины исключают 2,5 % всей совокупности. Распределение не обязательно должно быть симметричным.

Некоторые другие источники информации о составлении заключений экспертов включают: Шпецлер и Фон Хольштейн (1975 г.), Морган и Хенрион (1990 г.), Меркхофер (1987 г.), Хора и Иман (1989 г.) и NCRP (1996 г.).

Субъективный характер экспертных оценок увеличивает необходимость в процедурах обеспечения качества и контроля качества для повышения сравнимости оценок неопределенностей между странами. В связи с этим экспертные оценки должны быть документированы в качестве части национального процесса архивации, а учреждениям, составляющим кадастры, предлагается пересматривать экспертные оценки, особенно в отношении *ключевых категорий источников*. Документация должна включать:

- справочный номер оценки;
- дату;
- фамилию лица (лиц) и принадлежность к организации;
- оцениваемую величину;
- логическую основу для оценки, включая любые принимаемые во внимание данные;
- полученное распределение вероятностей или диапазон и наиболее вероятную величину, а также принятое вследствие этого распределение вероятностей;
- сообщение о каких-либо внешних рецензентах;
- результаты любой внешней рецензии;
- одобрение учреждением, составляющим кадастр, с указанием даты и фамилии подписавшего лица.

### 6.3 МЕТОДЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

После выявления неопределенностей по категориям источников их можно объединить для проведения оценок неопределенностей для всего кадастра за любой год и неопределенности временной тенденции во всем кадастре.

Уравнение распространения ошибки, более подробно описанное в приложении I к настоящему докладу, и в приложении I к *Руководящим принципам МГЭИК* (инструкции по составлению отчетности), дает два удобных правила для объединения некоррелируемых неопределенностей посредством сложения и умножения:

- *Правило А:* В тех случаях, когда неопределенные величины должны объединяться с помощью сложения, среднеквадратическое отклонение суммы будет равно квадратному корню из суммы квадратов среднеквадратических отклонений величин, которые складываются, причем все среднеквадратические отклонения выражаются в абсолютном исчислении (это правило верно для некоррелируемых переменных величин).

Используя эту интерпретацию можно вывести простое уравнение для неопределенности суммы, выраженной в процентах:

**УРАВНЕНИЕ 6.3**

$$U_{\text{total}} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{x_1 + x_2 + \dots + x_n}.$$

где:

$U_{\text{total}}$  – неопределенность в процентах суммы величин (половина 95 % доверительного интервала, разделенная на сумму (т.е. средняя величина) и выраженная в процентах);

$x_i$  и  $U_i$  – соответственно неопределенные величины и связанные с ними неопределенности в процентах.

- *Правило В:* В тех случаях, когда неопределенные величины должны объединяться с помощью умножения, применяется то же самое правило, за исключением того, что все среднеквадратические отклонения должны быть выражены в виде долей соответствующих средних величин (это правило является приближенным для всех случайных переменных).
- Можно вывести простое уравнение для неопределенности произведения, выраженной в процентах:

**УРАВНЕНИЕ 6.4**

$$U_{\text{total}} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}.$$

где:

- $U_{\text{total}}$  – неопределенность в процентах произведения величин (половина 95 % доверительного интервала, разделенная на сумму и выраженная в процентах);

- $U_i$  – неопределенности в процентах, связанные с каждой величиной.

Кадастр парниковых газов в большинстве случаев является суммой произведений коэффициентов выбросов и данных о деятельности. В связи с этим, правила А и В можно использовать многократно для оценки неопределенности суммарного кадастра. На практике неопределенности, обнаруженные в кадастре по категориям источников, варьируются от нескольких процентов до порядков величины и могут быть скоррелированы. Это не согласуется с предположениями правил А и В о том, что переменные не коррелируются со среднеквадратическим отклонением меньше примерно 30 % от средней величины, но при таких условиях правила А и В все же можно применять для получения приближенного результата. В качестве альтернативы можно воспользоваться стохастическим моделированием (метод Монте-Карло), которое может объединить неопределенности с любым распределением вероятностей, диапазоном и структурой корреляции при условии, что они должным образом количественно оценены. Таким образом, ниже описывается два уровня для анализа неопределенности:

- *Уровень 1:* Оценка неопределенностей по категориям источников, используя уравнение распространения ошибки через правила А и В, и простое сочетание неопределенностей по категориям источников для оценки общей неопределенности за один год и неопределенности в тенденции.
- *Уровень 2:* Оценка неопределенностей по категориям источников, используя анализ методом Монте-Карло, после чего метод Монте-Карло применяется для оценки общей неопределенности за один год и неопределенности в тенденции.

Анализ методом Монте-Карло можно также использовать ограниченным образом в рамках уровня 1 для объединения неопределенностей данных о деятельности и коэффициентов выбросов, которые имеют очень широкое или ненормальное распределение вероятностей или и то, и другое. Этот подход может также помочь разобраться с категориями источников в рамках уровня 1, которые оцениваются с помощью моделей процесса, а не с помощью классических расчетов "умножения коэффициентов выбросов на данные о деятельности". Выбор между методами описан в разделе 6.3.1 ниже.

### 6.3.1 Сравнение между уровнями и выбор метода

Использование метода либо уровня 1, либо уровня 2 даст возможность гораздо глубже, чем с помощью ранее имевшихся средств, разобраться, в какой степени отдельные категории источников и парниковые газы участвуют в неопределенности суммарных выбросов за любой год и тенденции суммарных выбросов между годами.

Применение метода уровня 2 к кадастру СК (Игглстон *и др.*, 1998 г.) предполагает, что 95 % доверительный интервал является асимметричным и лежит примерно между 7 % ниже и 20 % выше средней величины. Применение метода уровня 1 (см. приложение 6А.2 - Пример расчета неопределенности уровня 1) предполагает неопределенность примерно  $\pm 20$  %. Поскольку аппроксимации, присущие уровню 1, означают, что он не может иметь дело с асимметрией, это сравнение является обнадеживающим. С физической точки зрения причина асимметрии, определенной в уровне 2, состоит в том, что диапазон неопределенностей некоторых очень неопределенных категорий источников ограничивается знанием того, что их выбросы не могут быть меньше нуля. В методе уровня 2 можно воспользоваться этим дополнительным знанием, а в методе уровня 1 – нет. Что касается тенденций между годами, то изучение метода уровня 2, проведенное Игглстоном *и др.*, дает основание предположить, что 95 % доверительный интервал является грубо симметричным и лежит между 5 % выше и 5 % ниже средней величины.<sup>3</sup> Соответствующие результаты метода уровня 1 дают диапазон примерно  $\pm 2$  %. Более низкая величина метода уровня 1 частично связана с тем, что в нем оценивается тенденция за период 1990-1997 гг., тогда как оценка методом уровня 2 приходится на 1990-2010 гг., но маловероятно, что это учитывает все различия. Тем не менее оба метода продолжают давать аналогичные по порядку величины неопределенности тенденции, которые меньше, чем неопределенность суммарных выбросов за любой год.

Дополнительные национальные сравнения между методами будут весьма полезны для расширения знаний. Метод уровня 1, будучи основанным на сводных таблицах, весьма легок в применении и едва ли будет представлять какую-либо дополнительную трудность для учреждения, составляющего кадастр, также взявшего на вооружение метод уровня 2. В связи с этим в настоящее время *эффективная практика* для всех стран, предпринимающих анализ неопределенностей для сообщения результатов уровня 1, и всех учреждений, составляющих кадастры, имеющих достаточно ресурсов и знаний, заключается в том, чтобы взять на вооружение уровень 2.

### 6.3.2 Уровень 1 – Оценка неопределенностей по категориям источников с упрощающими предположениями

При анализе уровня 1 оцениваются неопределенности путем использования уравнения распространения ошибки двумя этапами. Во-первых, используется правило аппроксимации В для объединения диапазонов коэффициентов выбросов и данных о деятельности по категориям источников и парниковым газам. Во-вторых, используется правило аппроксимации А для получения общей неопределенности в национальных выбросах и тенденции в национальных выбросах между базовым годом и текущим годом.

Метод уровня 1 следует применять, используя таблицу 6.1 – Уровень 1 - Расчет неопределенностей и отчетность - которую можно поместить на коммерческое программное обеспечение табличных расчетов. Таблица составлена на уровне категорий источников, используя диапазоны неопределенностей для

<sup>3</sup> В конкретном выражении – падение выбросов на  $6 \pm 5\%$ .

данных о деятельности и коэффициентов выбросов, согласующиеся с *эффективной практикой* по секторам, рассматриваемым в главах 2-5. Различные газы следует вводить отдельно в виде эквивалентов CO<sub>2</sub> (т.е. выбросы должны быть умножены на 100-летние величины ППП). Неопределенности тенденций оцениваются с использованием чувствительности двух типов:

- *Чувствительность типа А*: выраженное в процентах, изменение разности общих выбросов между базовым годом и текущим годом в результате 1 % увеличения выбросов данной категории источника и газа как в базовый год, так и в текущий год.
- *Чувствительность типа В*: изменение различия общих выбросов между базовым годом и текущим годом, выраженное в процентах, в результате 1 % увеличения выбросов данной категории источника и газа только в текущий год.

Концептуально чувствительность типа А вытекает из неопределенностей, которые одинаково затрагивают выбросы в базовый год и в текущий год, а чувствительность типа В вытекает из неопределенностей, которые затрагивают только выбросы в текущий год. Неопределенности, которые полностью коррелируются между годами, будут ассоциироваться с чувствительностью типа А, а неопределенности, которые не коррелируются между годами, будут ассоциироваться с чувствительностью типа В. Описание в разделах 6.2.1-6.2.4 выше предполагает, что неопределенности коэффициентов выбросов будут склонны иметь чувствительность типа А, а неопределенности данных о деятельности будут иметь тенденцию иметь тип В. Однако эта ассоциация не всегда будет сохраняться, и имеется возможность применять чувствительность типа А к данным о деятельности, а чувствительность типа В – к коэффициентам выбросов для отражения конкретных национальных условий. Чувствительности типа А и типа В являются упрощениями, вводимыми для анализа корреляции.

После того как рассчитаны неопределенности, вводимые в национальные выбросы с помощью чувствительностей типа А и типа В, они могут быть просуммированы, используя уравнения распространения ошибки (правило А) для того, чтобы получить общую неопределенность в тенденции.

Колонки в таблице 6.1 – Уровень 1 - Расчет неопределенностей и отчетность - помечены буквами от А до Q и содержат следующую информацию:

- А и В показывают категорию источника МГЭИК и парниковый газ.
- С и D являются оценками кадастра соответственно в базовый год и в текущий год<sup>4</sup> для категории источника и газа, определенных в колонках А и В, выраженными в эквиваленте CO<sub>2</sub>.
- Е и F содержат неопределенности соответственно для данных о деятельности и коэффициентов выбросов, полученные из сочетания эмпирических данных и экспертных оценок, как ранее описано в настоящей главе, введенные в качестве половины 95 % доверительного интервала, разделенной на среднюю величину и выраженной в процентах. Причина разделения пополам 95 % доверительного интервала состоит в том, что величина, введенная в колонки Е и F, затем соответствует знакомым величинам плюс и минус, когда неопределенности приближенно упоминаются как "плюс или минус x %", поэтому экспертные оценки этого типа могут быть непосредственно введены в таблицы для расчета. Если известно, что неопределенность имеет сильно асимметричный характер, вводится более крупное процентное различие между средней величиной и границей доверительного интервала.
- G представляет собой объединенную неопределенность по категории источника, полученную на основе данных в колонках Е и F, с использованием уравнения распространения ошибки (правило В). Поэтому данные колонки G представляют собой квадратный корень из суммы квадратов показателей в колонках Е и F.
- Н показывает неопределенность в колонке G в виде процента от суммарных национальных выбросов за текущий год. Это является мерой степени неопределенности, введенной в суммарные национальные выбросы рассматриваемой категорией источников. Показатель в каждом ряду колонки Н представляет собой величину, записанную в колонке G, умноженную на величину, записанную в колонке D, разделенную на итоговую величину внизу колонки D. Итоговая величина внизу колонки Н представляет собой оценку неопределенности суммарных национальных выбросов за текущий год в процентах, рассчитанную на основе вышеприведенных показателей, используя правило А. Эта итоговая величина получена путем суммирования квадратов всех показателей в колонке Н и извлечения квадратного корня из суммы.
- I показывает, как изменяется разность выбросов в процентах между базовым годом и текущим годом в ответ на однопроцентное увеличение выбросов из категории источников как в базовом, так

<sup>4</sup> Текущий год - это самый недавний год, для которого имеются данные кадастра.



и в текущем году. Колонка показывает чувствительность тенденции выбросов к систематической неопределенности в оценках выбросов (т.е. корреляцию между базовым годом и текущим годом). Это - чувствительность типа А, как определено выше. В приложении 6А.1 содержится вывод формулы для расчета показателей в колонке I.

- J показывает, как изменяется разность выбросов в процентах между базовым годом и текущим годом в ответ на однопроцентное увеличение выбросов из категории источника только в текущем году. Колонка демонстрирует чувствительность тенденции выбросов к случайной ошибке в оценке выбросов (т.е. чувствительность, которая не коррелируется между базовым годом и текущим годом). Это - чувствительность типа В, как описано выше. Формула для расчета показателей в колонке J выводится в приложении 6А.1.
- К использует информацию в колонках I и F для демонстрации неопределенности, вводимой в тенденцию выбросов неопределенностью коэффициента выбросов, исходя из предположения, что неопределенность в коэффициентах выбросов коррелируется между годами. Если пользователь решает, что неопределенности коэффициентов выбросов не коррелируются между годами, то вместо колонки I должны использоваться показатели в колонке J, а результат умножаться на  $\sqrt{2}$ . Формула для определения показателей в колонке К выводится в приложении 6А.1.
- L использует информацию в колонках J и E для демонстрации неопределенности, вводимой в тенденцию выбросов неопределенностью данных о деятельности, исходя из предположения, что неопределенность в данных о деятельности не коррелируется между годами. Если пользователь решает, что неопределенности данных о деятельности коррелируются между годами, то вместо колонки J должны использоваться показатели в колонке I, а коэффициент  $\sqrt{2}$  не применяется. Формула для определения показателей в колонке L выводится в приложении 6А.1.
- M представляет собой оценку неопределенности, вводимой в тенденцию национальных выбросов рассматриваемой категорией источника. При уровне 1 этот показатель выводится из данных в колонках K и L, используя правило В. Таким образом, показатель в колонке M является квадратным корнем из суммы квадратов величин в колонках K и L. Итоговая величина внизу этой колонки является оценкой суммарной неопределенности тенденции, рассчитанной на основе величин, приведенных выше, используя уравнение распространения ошибки. Эта итоговая величина получается путем суммирования квадратов всех показателей в колонке M и извлечения квадратного корня из суммы. Формула для расчета показателей в колонке M и итоговой величины внизу колонки M приведена в приложении 6А.1.
- Колонки N - Q содержат качественные показатели и перекрестные ссылки на подстрочные примечания.
- N содержит D, M или R в зависимости от того, на чем основан диапазон неопределенности коэффициента выбросов: на информации по умолчанию о категории источника (D) в руководстве МГЭИК, измерениях, проведенных для этой цели (M), или на национальной справочной информации (R).
- O содержит D, M или R в зависимости от того, на чем основан диапазон неопределенности данных о деятельности: на информации по умолчанию о секторе в руководстве МГЭИК, на измерениях, проведенных для этой цели или на национальной справочной информации.
- P содержит справочные номера любых экспертных оценок, используемых для оценки неопределенностей в этой категории источников.
- Q содержит номер пояснительного подстрочного примечания внизу таблицы для определения документальной ссылки на неопределенность данных (включая измеренные данные) или другие замечания относящиеся к этой строке.

Пример крупноформатной таблицы, в которую внесены все численные данные, содержится в приложении 6А.2 – Уровень 1 - Пример расчета неопределенностей.

ТАБЛИЦА 6.1

УРОВЕНЬ 1 – РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ И ОТЧЕТНОСТЬ

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Категория источника МГЭИК	Газ	Выбросы в базовый год	Выбросы в год t	Неопределенность данных о производственной деятельности	Неопределенность коэффициентов выбросов	Объединенная неопределенность	Объединенная неопределенность в % от суммарных национальных выбросов в год t	Чувствительность типа А	Чувствительность типа В	Неопределенность тенденции национальных выбросов, вводимая неопределенностью коэффициента выбросов	Неопределенность тенденции национальных выбросов, вводимая неопределенностью данных о деятельности	Неопределенность, вводимая в тенденцию суммарных национальных выбросов
		Входные данные	Входные данные	Входные данные	Входные данные	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{G \cdot D}{\sum D}$	Примечание В	$\frac{D}{\sum C}$	I • F Примечание С	J • E • $\sqrt{2}$ Примечание D	$\sqrt{K^2 + L^2}$
		Гг эквивалента CO <sub>2</sub>	Гг эквивалента CO <sub>2</sub>	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Например, 1.А.1. Энергетика Промышленность Топливо 1	CO <sub>2</sub>											
Например 1.А.1. Энергетика Промышленность Топливо 2	CO <sub>2</sub>											
И т.д.	...											
		$\sum C$	$\sum D$				$\sqrt{\sum H^2}$					$\sqrt{\sum M^2}$
Итого												

Таблица 6.1 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)					
УРОВЕНЬ 1 – РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ И ОТЧЕТНОСТЬ					
А (продолжение)	В (продолжение)	N	O	P	Q
Категория источника МГЭИК	Газ	Качественный показатель коэффициента выбросов	Качественный показатель данных о деятельности	Справочный номер экспертной оценки	Справочный номер подстрочного примечания
		Примечание E	Примечание E		
Например 1.A.1. Энергетика Промышленность Топливо 1	CO <sub>2</sub>				
Например, 1.A.1. Энергетика Промышленность Топливо 2	CO <sub>2</sub>				
И т.д.	...				
Итого					

**Примечание А** Если для какой-либо категории источников известна лишь суммарная неопределенность (не отдельно для коэффициента выбросов и для данных о деятельности) то:

- Если неопределенность коррелируется между годами, внести неопределенность в колонку F и внести 0 в колонку E;
- Если неопределенность не коррелируется между годам, внести неопределенность в колонку E и внести 0 в колонку F.

**Примечание В**

$$\frac{0.01 \cdot D_x + \sum D_i - (0.01 \cdot C_x + \sum C_i)}{(0.01 \cdot C_x + \sum C_i)} \cdot 100 - \frac{\sum D_i - \sum C_i}{\sum C_i} \cdot 100$$

**Примечание С**

В случае, когда предполагается отсутствие корреляции между коэффициентами выбросов, должна использоваться чувствительность типа В, а результат умножаться на  $\sqrt{2}$ :

$$K_x = J_x \cdot F_x \cdot \sqrt{2}$$

**Примечание D**

В случае, когда предполагается корреляция между данными о деятельности, должна использоваться чувствительность типа А, а умножать результат на  $\sqrt{2}$  не нужно:

$$L_x = I_x \cdot E_x$$

**Примечание E**

Просьба использовать следующие сокращения:

D – Информация о категории источника по умолчанию в Руководящих принципах МГЭИК

M – Основано на измерениях

R – Национальные справочные данные

**6.3.3 Уровень 1 – Укрупнение и отчетность**

Таблица 6.1 – Уровень 1 - Расчет неопределенностей и отчетность - имеет одну строку для каждой категории источников, топлива (где это уместно) и парникового газа и должна использоваться для отчетности.

Несмотря на то, что метод уровня 1 позволяет провести корреляцию во времени, как описано выше, тем не менее он не учитывает корреляцию и зависимость между категориями источников, которая может иметь место, поскольку могут использоваться одни и те же данные о деятельности или коэффициенты выбросов для многочисленных оценок. В категории источника часто доминирует один газ и это сокращает эффект любой корреляции. Однако корреляция и зависимость могут быть значительными для ископаемых топлив, поскольку одно конкретное топливо используется с одним и тем же коэффициентом выбросов по нескольким подкатегориям, а если (как это иногда бывает) общее потребление топлива лучше известно, чем потребление, разложенное по категориям источников, то в статистических данных будут существовать скрытые зависимости ввиду ограничений, налагаемых общим потреблением. Зависимость и корреляция могут быть учтены посредством укрупнения категорий источников до уровня общего потребления отдельных топлив перед объединением неопределенностей. Это влечет за собой некоторую потерю деталей в отчетности о неопределенностях, но учитывает зависимости в тех случаях, когда они считаются значительными (например, когда неопределенности выбросов от сжигания ископаемого топлива при укрупнении от уровня источников являются выше, чем ожидалось). Пример расчета уровня 1 с использованием данных СК, приведенный в приложении 6А.2, содержит такое укрупнение категорий ископаемого топлива. Это имеет то преимущество, что позволяет вести учет категорий, предложенный в главе 7, для анализа *ключевых категорий источников*.

**6.4 УРОВЕНЬ 2- ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПО КАТЕГОРИЯМ ИСТОЧНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО**

При уровне 2 упрощающие предположения, требующиеся для уровня 1, можно опустить. Уровень 2 использует анализ методом Монте-Карло для объединения неопределенностей по категориям источников.

Принцип анализа методом Монте-Карло состоит в выборе случайных величин коэффициентов выбросов и данных о деятельности в пределах их индивидуальных плотностей распределения вероятностей и в расчете соответствующих величин выбросов. Эта процедура повторяется много раз, используя компьютер, а результаты каждого тура вычислений создают всеобъемлющую плотность распределения

вероятностей выбросов. Анализ метода Монте-Карло можно проводить на уровне категории источника, для укрупненных категорий источников или для кадастра в целом.

Анализ методом Монте-Карло позволяет обращаться с плотностями распределения вероятностей любой физически возможной формы и ширины, обрабатывать изменяющиеся степени корреляции (как во времени, так и между категориями источников) и иметь дело с более сложными моделями (например, затухание 1<sup>го</sup> порядка для СН<sub>4</sub> со свалок твердых отходов), а также с упрощенными расчетами типа "умножение коэффициентов выбросов на данные о деятельности".

Игглстон *и др.* (1998 г.) приводит пример анализа методом Монте-Карло, применяемого для национального кадастра парниковых газов и используемого для оценки неопределенностей как в суммарных выбросах, так и в тенденциях выбросов. Другой пример использования анализа методом Монте-Карло содержится в работе МакКанна *и др.* (1994 г.). Общее описание метода Монте-Карло можно найти в работе Фишмана (1996 г.).

Подобно всем методам, анализ методом Монте-Карло дает удовлетворительные результаты только в случае правильного применения. Это требует от аналитика научно-технических знаний о кадастре. Разумеется, результаты будут оправдываться лишь в той степени, в какой надежны входные данные, включая любые экспертные оценки.

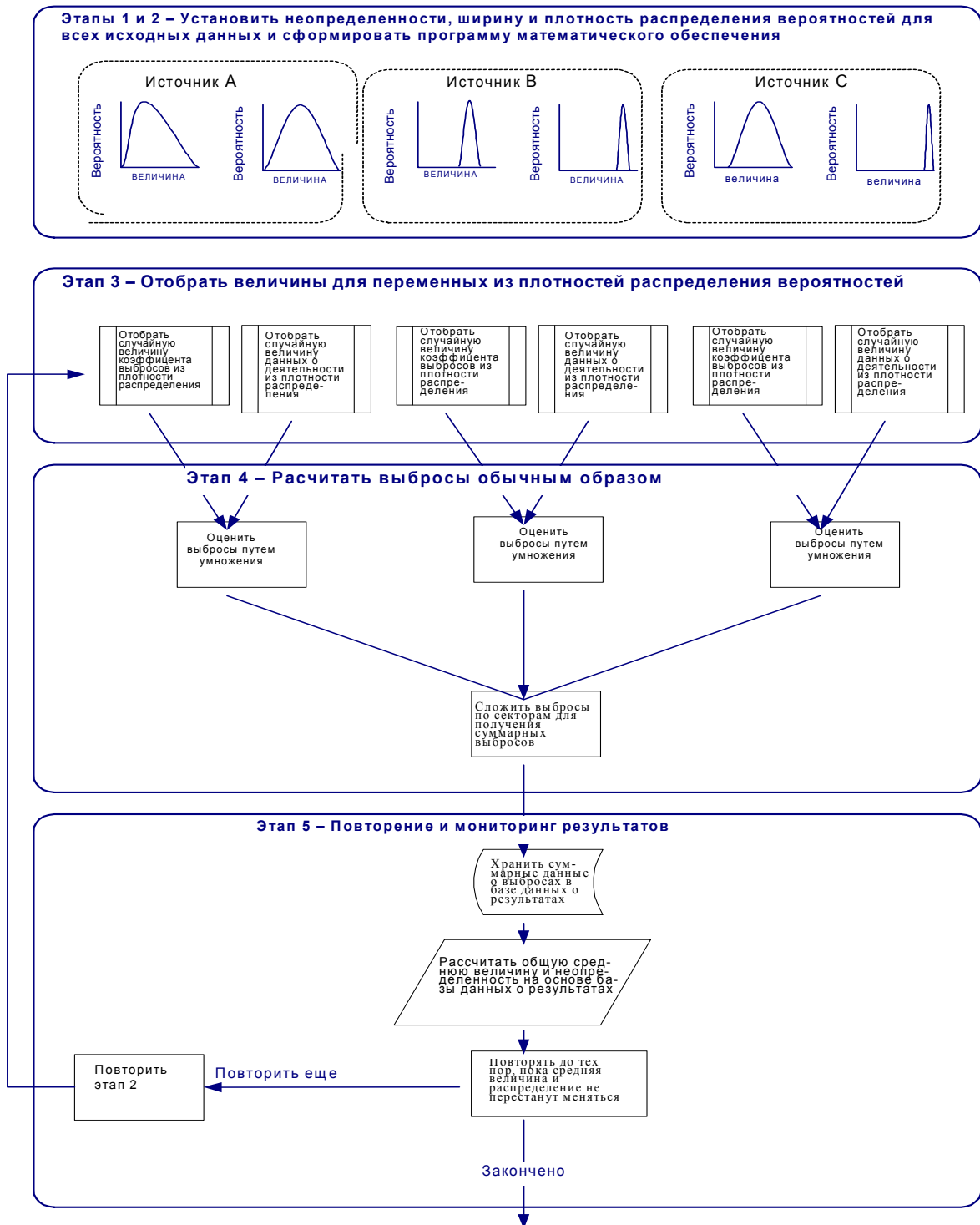
Метод Монте-Карло состоит из пяти четко определенных этапов, показанных на рисунке 6.1. Только первые два из них требуют усилий со стороны пользователя. Остальная часть выполняется программой математического обеспечения. Раздел 6.5.3 содержит краткое описание различных пакетов программ математического обеспечения.

- **Этап 1 – Установить неопределенности категорий источников.** Установить неопределенности в основных данных. Это включает коэффициенты выбросов и данные о деятельности, ассоциируемые с ними средние величины и плотности распределения вероятностей и любую перекрестную корреляцию между категориями источников. Принять во внимание информацию в разделах 6.2.1-6.2.5.
- **Этап 2 – Сформировать программу математического обеспечения.** Расчеты кадастра выбросов, плотности распределения вероятностей и величины корреляции должны быть введены в программу математического обеспечения метода Монте-Карло.

Последующие этапы программа математического обеспечения выполняет автоматически.

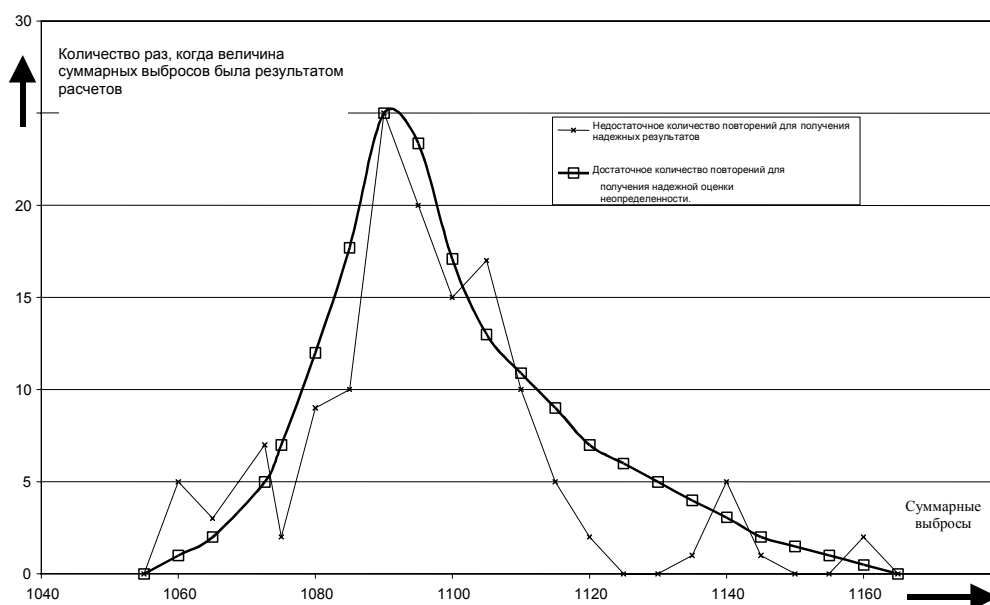
- **Этап 3 – Отобрать случайные переменные.** Это является началом процесса повторения итерации. Для каждого элемента входных данных, коэффициентов выбросов или данных о деятельности выбирается случайное число из плотности распределения вероятности этой переменной.
- **Этап 4 – Оценить выбросы.** Переменные, отобранные на этапе 3, используются для оценки суммарных выбросов. Пример, приведенный на рисунке 6.1, предполагает три категории источников, причем каждая оценивается как умножение данных о деятельности на коэффициент выбросов, а затем суммируется для получения общего количества выбросов. Расчеты могут быть более сложными. Выбросы по отдельным газам могут умножаться на величины ППП, для того чтобы получить суммарные национальные выбросы в эквиваленте СО<sub>2</sub>. Легко ввести корреляции в 100 %, а хорошие программы математического обеспечения метода Монте-Карло позволяют ввести и другие корреляции. Поскольку расчеты выбросов должны быть такими же, как и для оценки национального кадастра, процесс Монте-Карло может быть полностью интегрирован в оценки ежегодных выбросов.
- **Этап 5 – Повторение и мониторинг результатов.** Рассчитанная на этапе 4 суммарная величина вводится в память, а затем процесс повторяется, начиная с этапа 3. Средняя из хранимых в памяти суммарных величин, дает оценку суммарных выбросов. Их распределение дает оценку плотности распределения вероятности результата. По мере того, как процесс повторяется, средняя величина приближается к окончательному ответу. Когда средняя величина больше не изменяется более чем на заранее определенную величину, расчеты могут быть закончены. Затем определяется оценка с 95 % доверительным интервалом в пределах  $\pm 1$  %, и находится достаточно стабильный результат. Сходимость может быть проверена путем составления частотного графика оценок выбросов. Этот график должен быть достаточно гладким (рисунок 6.2 – Пример частотных графиков результатов моделирования с помощью метода Монте-Карло). Эти действия должны выполняться с помощью программы математического обеспечения, а пользователь определяет либо количество повторений, либо критерий сходимости.

Рисунок 6.1 Иллюстрация метода Монте-Карло



Этот пример предусматривает три категории источников выбросов, причем для каждого случая выбросы рассчитываются путем умножения данных о деятельности на коэффициент выбросов.

**Рисунок 6.2** Пример частотных графиков результатов моделирования с помощью метода Монте-Карло



### 6.4.1 Уровень 2 - Неопределенности в тенденциях

Метод Монте-Карло уровня 2 может использоваться для оценки неопределенностей в тенденции, а также в абсолютной величине выбросов в данный год. Процедура состоит в простом расширении того, что описано в предыдущем разделе.

В этом случае тенденция определяется как различие между базовым годом и годом, представляющим интерес (год  $t$ ). Поэтому необходимо провести анализ методом Монте-Карло для одновременной оценки обоих лет. Процедура такова:

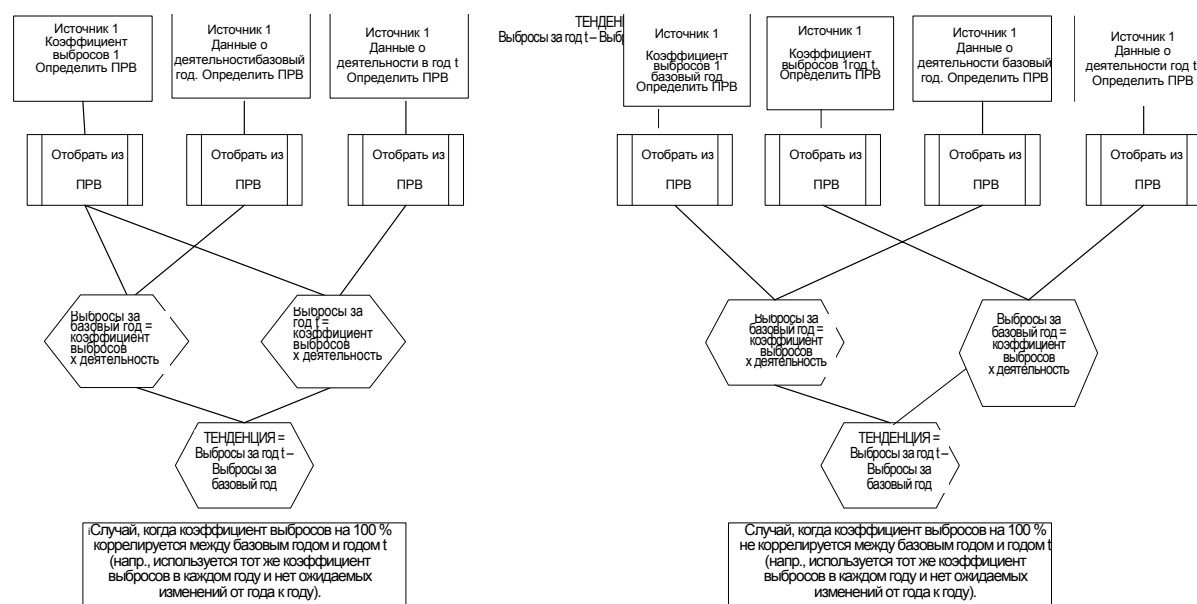
- Этап 1 – Установить неопределенности категорий источников.** Определить плотности распределения вероятностей для каждого коэффициента выбросов и каждого вида деятельности. Это - тот же самый процесс, который описан выше, за исключением того, что его необходимо провести как для базового года, так и для текущего года, и рассмотреть взаимосвязь между данными. Для многих категорий источников будет использоваться один и тот же коэффициент выбросов для каждого года (т.е. коэффициенты выбросов для обоих лет коррелируются на 100%). В этих случаях описывается одно распределение и выбранная из него величина используется для каждого года на этапе 3. Изменения в технологиях или практике будут менять коэффициенты выбросов во времени. В этом случае следует воспользоваться двумя коэффициентами выбросов, которые имеют более низкую или нулевую корреляцию. Если эти коэффициенты выбросов содержат случайный элемент или непредсказуемо варьируются от года к году, то следует также воспользоваться отдельными коэффициентами выбросов (например, в отношении содержания углерода в ископаемом топливе, которое может меняться в зависимости от рыночных поставок топлива и также содержит свою собственную неопределенность). В большинстве случаев предполагается, что интенсивность деятельности не коррелируется между годами, поэтому необходимо вводить два распределения, даже если их параметры одни и те же, с тем чтобы на этапе 3 было проведено два различных случайных отбора из этих распределений. Используемая программа компьютерного математического обеспечения может с успехом ввести другие корреляции, и эти возможности можно будет использовать при наличии достаточной информации. Однако это, вероятно, окажется необходимым лишь в нескольких случаях.
- Этап 2 – Сформировать программу математического обеспечения.** Программа математического обеспечения должна быть сформирована, как описано ранее, за исключением того, что плотности распределения вероятностей должны будут отражать взаимосвязь между выбросами за два года, а для расчетов тенденции необходимо будет провести два отдельных, но одновременных расчета выбросов за базовый год и за год  $t$ . В случаях, когда считается, что входные данные коррелируются на 100% (главным образом, некоторые коэффициенты выбросов), необходимо обратить внимание

на то, чтобы одна и та же случайная величина, выбранная из плотности распределения вероятностей, использовалась при оценке обоих лет. Затем необходим окончательный расчет для определения различия между двумя годами.

Последующие этапы в большинстве случаев выполняются автоматически программой математического обеспечения.

- **Этап 3 – Отобрать случайные переменные величины.** Компьютерная программа будет действовать, как описано ранее, с учетом любой корреляции между плотностями распределения вероятностей (ПРВ). На рисунке 6.3 ниже показана схема расчета для анализа тенденции.
- **Этап 4 – Оценить выбросы.** Как и в предыдущем описании, переменные величины, отобранные на этапе 3, будут использованы для оценки суммарных выбросов.
- **Этап 5 – Результаты.** Рассчитанная на этапе 4 величина суммарных выбросов, хранится в файле данных. Затем процесс повторяется, начиная с этапа 3, до тех пор, пока не будет достигнута достаточная сходимость результатов. Соображения для этого такие же, как описано выше. Диапазон результатов оценивается одновременно, включая суммарные и секторальные выбросы для базового года, суммарные и секторальные выбросы для года  $t$  и различия (тенденции) между этими годами в отношении суммарных выбросов и любых секторов, представляющих интерес.

**Рисунок 6.3** Схема расчета для анализа методом Монте-Карло абсолютных значений выбросов и тенденции отдельной категории источников, оцениваемых как произведение коэффициента выбросов на интенсивность деятельности



## 6.4.2 Уровень 2 - Отчетность об анализе неопределенностей

Уместно применить следующий формат данных для отчетности о результатах анализа методом Монте-Карло выбросов по категориям источников, по топливам (где это уместно) и по парниковым газам, выраженных в эквиваленте  $\text{CO}_2$ . В таблице 6.2 суммарная неопределенность в тенденции национальных выбросов помещена внизу колонок I и J. Учреждения, составляющие кадастр и выполняющие анализ уровня 2, должны также отчитаться о результатах анализа уровня 1, используя таблицу 6.1, как описано в разделе 6.3.1 – Сравнение между уровнями и выбор метода.



ТАБЛИЦА 6.2									
УРОВЕНЬ 2 - ОТЧЕТНОСТЬ О НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЯХ									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Категория источника МГЭИК	Газ	Выбросы в базовый год	Выбросы в год t	Неопределенность выбросов в год t в % от выбросов данной категории		Неопределенность, введенная в национальные суммарные выбросы в год t	Изменение выбросов в % между годом t и базовым годом	Диапазон вероятного изменения в % между годом t и базовым годом	
		(Гг эквивалента CO <sub>2</sub> )	(Гг в эквиваленте CO <sub>2</sub> )	Ниже % (2,5 процентиля)	Выше % (97,5 процентиля)	(%)	(%)	Нижний % (2,5 процентиля)	Верхний % (97,5 процентиля)
Например, 1.A.1 Энергетика Промышленность Топливо 1	CO <sub>2</sub>								
Например, 1.A.2 Энергетика Промышленность Топливо 2	CO <sub>2</sub>								
И т.д....	...								
Итого									

## 6.5 ПРАКТИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Моделирование методом Монте-Карло требует, чтобы аналитик определил распределения вероятностей для каждого входного элемента модели, для которого должна оцениваться неопределенность. При этом предполагается, что такое моделирование достаточно хорошо отражает реальный мир. Распределения вероятностей могут быть получены с помощью разнообразных методов, включая статистический анализ данных или составление заключения эксперта. Основное условие состоит в том, чтобы определить распределения вероятностей для входных элементов таким образом, чтобы все они основывались на одних и тех же основополагающих предположениях относительно времени усреднения, локализации и других обуславливающих факторов, относящихся к конкретной оценке (например, климатологические условия, влияющие на выбросы парниковых газов от сельского хозяйства). По этой причине не следует считать, что распределение вероятностей неопределенностей из одной страны можно непосредственно применить в качестве входного элемента кадастра в другой.

### 6.5.1 Определение распределений вероятностей для входных элементов кадастра

Моделирование методом Монте-Карло требует определения входных элементов модели, которым должны быть присвоены распределения вероятностей, и определения этих соответствующих распределений вероятностей. Методы определения распределений, основанные на заключениях экспертов, уже рассматривались в настоящей главе. Методы определения распределений, основанные на статистическом анализе данных, описываются и иллюстрируются Калленом и Фреем (1999 г.). Другие полезные библиографические источники включают: Хан и Шапиро (1967 г.), Анг и Танг (1975 г.), Д'Агостино и Стивенс (1986 г.), Морган и Хенрион (1990 г.) и ООС США (1996 г., 1997 г., 1999 г.). Некоторые примеры вероятностного анализа в применении к кадастрам выбросов даны в работах Фрея и др. (1998 г.) и Фрея и др. (1999 г.).

Для того чтобы использовать данные в качестве основы для определения распределений первый критический этап состоит в том, чтобы определить, являются ли данные случайной репрезентативной выборкой в случае выборки из совокупности. Несколько основных вопросов, на которые следует ответить в отношении этих данных, включают:

- Являются ли эти данные репрезентативными для разнообразных условий, определяющих коэффициенты выбросов или данные о деятельности, с учетом национальной специфики?
- Являются ли эти данные случайной выборкой?
- Каково время усреднения для комплекта данных и является ли оно таким же, что и для оценки (которая относится к суммарным выбросам за конкретный год)?

Если данные являются случайной репрезентативной выборкой, то распределение может быть установлено непосредственно, используя классические статистические методы, даже если размер выборки небольшой. Может оказаться необходимым преобразовать данные, используя соответствующее время усреднения. Общие рекомендации в отношении выбора плотностей распределения вероятностей содержатся в приложении 1 – Концептуальная основа для анализа неопределенностей, раздела 2.5 – Руководящие указания по эффективной практике относительно выбора функции и вероятности.

В идеальном случае имеющиеся данные будут представлять собой среднегодовую величину для коэффициента выбросов или суммарную годовую величину для данных о деятельности. В этом случае данные будут представлять собой отдельную выборку из распределения совокупности среднегодовых величин. Оцененное среднеквадратическое отклонение совокупности будет соответствующей мерой неопределенности в годовых выбросах. В других случаях данные могут представлять собой исчерпывающий перечень суммы всех видов деятельности (например, суммарное энергетическое использование для конкретного вида топлива). В этом случае основой для оценки неопределенностей будет информация об ошибках в измерительных приборах либо в средствах обследования. Диапазон неопределенности в данных о деятельности может быть ограничен путем использования независимых методов либо проверок на согласованность. Например, данные о потреблении топлива можно сравнить с оценками производства, включая оценки производства с помощью различных методов.

В случае выборки из совокупности наиболее критический аспект состоит в том, чтобы оценить, являются ли данные случайными и репрезентативными для этой совокупности. Если эти условия

удовлетворяются, то для определения распределения можно использовать классические статистические методы. Если нет, то потребуется некоторое сочетание анализа данных и заключения эксперта о распределениях. В первом случае Каллен и Фрей (1999 г.) предлагают изучить комплект данных, используя итоговую статистику и графики для оценки важных особенностей (например, центральная тенденция, диапазон изменений, асимметрия). Понимание, достигнутое при изучении данных, в сочетании со знаниями процессов, которые порождают эти данные, должны учитываться при выборе математического или численного представления распределения для введения в модель Монте-Карло.

Выбрав конкретное распределение в качестве кандидата для подгонки к комплекту данных, можно оценить параметры распределения, используя такие методики, как "оценка максимального правдоподобия"<sup>5</sup> или "метод согласования моментов"<sup>6</sup>. Степень согласия распределения можно оценить различными путями, включая сравнение эмпирически подобранной интегральной функции распределения (ИФР) с первоначальным комплектом данных, составление графиков вероятностей и проверку степени согласия (см. Каллен и Фрей, 1999 г.). Важно, чтобы выбор параметрического распределения для представления комплекта данных основывался не только лишь на проверке степени согласия, но также на подобию процессов, которые привели к формированию данных, с теоретической основой для распределения (например, Хан и Шапиро, 1967 г.).

Если данные усредняются за период меньше одного года, то может оказаться необходимым экстраполировать неопределенность на данный год. Рассмотрим пример, в котором комплект данных отражает изменчивость в среднесуточных измерениях выбросов для конкретной категории источников. Один метод, подробно описанный Фреем и Родесом (1996 г.), заключается в подгонке параметрического распределения к комплекту данных суточной изменчивости, использовании численного метода, известного как метод замещения, для оценки неопределенности в параметрах распределения и использование метода Монте-Карло для моделирования рандомизированных ежегодных средних величин коэффициента выбросов. Используя метод замещения (бутстреп), можно смоделировать неопределенность в распределении выборки для параметров подогнанного распределения (см. Эфрон и Тибширани, 1993г.; Фрей и Родес, 1996 г.; Фрей и Бурмастер, 1999 г.).

В упрощенном виде метод замещения (бутстреп) работает следующим образом. Из подогнанного распределения, используя моделирование Монте-Карло, выбирается случайный синтетический комплект данных такого же размера выборки, как и первоначальный комплект данных. Этот синтетический комплект данных называют *выборкой замещения*. Для выборки замещения могут быть рассчитаны любая статистика или любой параметр, например, средняя величина или параметры нового распределения, подогнанного для синтетического комплекта данных. Статистика или параметр, оцениваемые на основании выборки замещения носят название *повторного замещения* этой статистики или параметра. Этот процесс затем повторяется много раз (как правило, 500-1000 раз), создавая соответствующее число выборок замещения и повторной статистики. Эта статистика будет приобретать каждый раз различные значения, поскольку выборки замещения являются рандомизированными версиями, следующими образцу первоначального комплекта данных. Таким образом, этот подход является численным методом для оценки распределений выборки для любой статистики и для любого типа распределения, для которого существует эта статистика. В сущности метод замещения является численным методом для моделирования ошибки случайной выборки. Количество выборок замещения от 500 до 1000 означает соответствующее количество альтернативных правдоподобных распределений, из которых первоначальный комплект данных может являться случайной выборкой. Для этих альтернативных распределений, каждое из которых отражает ежедневную изменчивость в данном примере, можно смоделировать годовые оценки выбросов (т.е. 365 случайных выборок ежедневных выбросов суммируются для получения суммарной годовой величины или усредняются для получения среднегодового коэффициента выбросов), тем самым выдавая 500-1000 оценок среднегодовых или суммарных годовых выбросов. Распределение этих оценок будет описывать неопределенность для случая ежегодных величин, основанную на случайной ошибке выборки. Ключевым предположением в этом примере является то, что не существует автокорреляции между ежедневными значениями, и что ежедневные величины являются репрезентативными для годовых условий, т.е. что не имеется, например, сезонных воздействий, которые не захватываются выборкой.

<sup>5</sup> Метод максимального правдоподобия выбирается в качестве оценок те значения параметров, при которых данные результаты наблюдения наиболее вероятны (совместные вероятности или совместные распределения).

<sup>6</sup> Метод моментов находит статистическую оценку для неизвестных параметров распределения путем приравнивания соответствующих выбранных моментов к соответствующим моментам распределения. Этот метод легок в применении и обеспечивает согласующиеся оценки. Во многих случаях оценки метода моментов являются смещенными (Уокерли, Менденхалл III и Шиффер, 1996 г.; стр. 395-397).

### 6.5.2 Сколько усилий необходимо потратить для того, чтобы охарактеризовать неопределенность во входных элементах кадастра?

В идеальном случае количество усилий, направленных на то, чтобы охарактеризовать неопределенность во входных элементах кадастра, должно быть пропорциональным его важности для общей оценки неопределенности. Будет неразумно тратить ограниченные ресурсы и большое количество времени исключительно для того, чтобы собрать данные и экспертные оценки для какой-либо категории источников, которая имеет малое воздействие на всеобщую неопределенность. Аналогичным образом, несовершенство оценки будет состоять в невыделении разумных ресурсов для количественного анализа неопределенностей во входных элементах, к которым весьма чувствительна всеобщая неопределенность кадастра. Таким образом, многие аналитики, которые выполняют вероятностное моделирование, предлагают итеративный подход к проведению моделирования. При первой итерации анализа неопределенности могут быть выполнены предварительные оценки неопределенности входных элементов и распространены на кадастр исключительно для цели предварительного выявления основных источников неопределенности. Методы для оценки важности каждого входного элемента описываются в работах Моргана и Хериона (1990 г.), Фрея и Каллена (1999 г.) и др. Примером относительно простого метода является расчет коэффициента корреляции между смоделированными численными величинами распределения выходных элементов кадастра и численными величинами, смоделированными для каждого распределения входных элементов. Эта корреляция отражает степень линейной зависимости между ними двумя. Чем больше величина коэффициента корреляции, тем сильнее зависимость между неопределенностью во входных элементах и неопределенностью в выходных элементах, указывая, что входные элементы должны рассматриваться как "чувствительные". Многие программы математического обеспечения будут автоматически выполнять расчет чувствительности для пользователя и представлять результаты расчетов в графической форме.

После определения чувствительных входных элементов усилия в необходимых случаях можно направить на улучшение оценки неопределенностей исключительно для этих входных элементов. Затем можно выполнить окончательный анализ неопределенностей с большей достоверностью на основе того, что важные элементы получили пропорционально больше внимания, чем нечувствительные входные элементы.

Еще один вопрос, относящийся к методу итерации, касается более долгосрочных аспектов выполнения анализов неопределенности. Проведение моделирования Монте-Карло в первый раз может оказаться отпугивающим. Однако по мере того, как учреждение, составляющее кадастр, наберет опыт проведения таких анализов, оно, по всей вероятности, будет от раза к разу совершенствовать анализы в будущем. Анализ методом Монте-Карло является типичным процессом познания для всех участвующих в нем, поскольку он побуждает к постановке критических и важных вопросов относительно основы для кадастра выбросов и его качества. Таким образом, со временем моделирование Монте-Карло будет помогать решать, на чем сфокусировать деятельность по сбору данных, что в результате принесет повышенную достоверность в отношении кадастра.

### 6.5.3 Выбор метода моделирования и размера выборки моделирования

Имеется несколько коммерческих программ математического обеспечения, которые можно использовать для выполнения моделирования методом Монте-Карло. Примерами их являются Crystal Ball, @Risk, Analytica и Mathematica. Первые две являются встроенными дополнительными программами для широко используемых программ табличных вычислений. Многие программы математического обеспечения предлагают несколько различных альтернативных методов выборки, включая случайное моделирование методом Монте-Карло и вариации Выборочного контроля методом латинских гиперкубов (МЛГ). МЛГ может создать более "сглаженное" распределение выходной информации модели для размеров выборки лишь в несколько сотен образцов. Недостаток использования МЛГ состоит в том, что нужно заранее принимать решение о том, сколько использовать повторений. Это объясняется тем, что два или несколько моделирований МЛГ нельзя объединить, так как они будут использовать частично совпадающие страты, что приводит к трудностям в интерпретации результатов. В некоторых случаях МЛГ может привести к занижению более высоких моментов распределений вероятностей, поскольку метод стратификации также может не позволить разбить совокупность на группы очень высоких или очень низких величин, которые могут иметь место в случайных комплектах данных. В целом предложение состоит в использовании случайного моделирования Монте-Карло в качестве метода по умолчанию, поскольку в нем заложена необходимая гибкость для продолжения случайного

моделирования со все более и более крупными размерами выборки при моделировании до тех пор, пока распределение выходных элементов модели не сойдется. Каллен и Фрей (1999 г.) предоставляют дополнительную информацию о сравнении моделирования МЛГ и Монте-Карло (стр. 207-213).

#### **6.5.4 Зависимость и корреляция между входными элементами кадастра**

Ключевым вопросом, часто рассматриваемым аналитиками при проведении вероятностного анализа, является вопрос о существовании зависимости или корреляции между входными элементами модели. В идеальном случае предпочтительно определить модель таким образом, чтобы входные элементы были бы максимально статистически независимы между собой. Вместо того, чтобы пытаться оценить данные о деятельности по многим подкатегориям, для которых данные определены по крайней мере частично на основании различий, лучше будет присвоить неопределенности более известным совокупным мерам деятельности. Например, использование топлива в жилых районах можно оценить как разницу между суммарным потреблением и использованием в секторах транспорта, промышленности и торговли. В этом случае оценка неопределенности в использовании топлива в жилых районах отрицательно коррелируется с неопределенностями в использовании топлива в других подкатегориях и может быть даже очень большой по сравнению с неопределенностью в суммарном потреблении. Таким образом, вместо того, чтобы пытаться оценить неопределенности отдельно по каждой подкатегории, с практической точки зрения будет более разумно оценить неопределенность для суммарного потребления, для которого могут иметься хорошие оценки и перекрестные проверки.

#### **6.5.5 Имеет ли смысл корреляция?**

Важно помнить о том, что зависимости, даже если они существуют, могут не быть важными для оценки неопределенностей. Зависимости между входными элементами будут иметь смысл только тогда, когда эти зависимости существуют между двумя входными элементами, к которым неопределенность в кадастре является чувствительной и, когда эти зависимости достаточно сильны. В отличие от этого слабые зависимости между входными элементами или сильные зависимости между входными элементами, к которым неопределенность в кадастре не чувствительна, окажут относительно небольшое влияние на результат анализа.

#### **6.5.6 Некоторые методы учета зависимостей или корреляции**

Когда зависимости между входными элементами считаются важными, можно рассмотреть разнообразные методы их учета при анализе. Примерами могут быть: (i) моделирование зависимости в явном виде; (ii) расщепление или укрупнение категорий источников для минимизации влияния зависимости; (iii) моделирование корреляции, используя методы ограниченного спаривания (которые включены во многие программы математического обеспечения); (iv) использование методов повторной выборки в случаях, когда имеются многомерные комплекты данных; (v) рассмотрение случаев связывания или чувствительности (например, один случай предполагает независимость, а другой - полную положительную корреляцию). Подробное описание и примеры таких методов приведены в работах Каллена и Фрея (1999 г.), Моргана и Хенриона (1990 г.) и ООС США (1996 г.). Эти работы содержат также библиографические ссылки на соответствующую литературу.

#### **6.5.7 Определение корреляции входных элементов кадастра**

Многие программы математического обеспечения позволяют точно определить корреляцию между входными элементами модели (см., например, Иман и Коновер, 1982 г.). В некоторых случаях эти программы могут предложить такую функцию только с МЛГ, тогда как в других она может иметься также совместно с моделированием случайных величин Монте-Карло. В отношении этих методов существует деталь, которую продвинутые пользователи пожелают узнать, и состоит она в том, что эти средства программного обеспечения могут определять степень корреляции между любыми двумя или более распределениями, но не корреляцию выборки. Однако существуют методы, которые можно использовать для определения корреляции выборки в некоторых типах распределений, например, для многомерных нормальных распределений (см., например, Морган и Хенрион, 1990 г. или Каллен и Фрей, 1999 г.).

#### **6.5.8 Анализ выходных элементов кадастра**

Многие программы математического обеспечения позволяют пользователю вывести на дисплей плотности распределения вероятностей (ПРВ), интегральные функции распределения (ИФР) и получить на выходе основную статистику для входных элементов модели. Как правило, в любом конкретном случае ИФР будет иметь более гладкую кривую, чем ПРВ. Кроме того, ИФР позволяет количественно интерпретировать медиану, 95 % доверительный интервал или любой другой процентиль данного распределения. Таким образом, для практических целей ИФР часто является наиболее полезным представлением выходных элементов модели. ПРВ полезна для достижения количественного понимания относительно выходных элементов, например, является ли она положительно асимметричной.

### **6.5.9 Поощрение использования соответствующих методов**

Предложенные здесь руководящие указания не служат препятствием для использования усовершенствованных методов по мере их появления. Более того, здесь не охвачены все ситуации, с которыми может столкнуться аналитик. В связи с этим учреждению, составляющему кадастр, предлагается обратиться к приведенному ниже библиографическому списку за дополнительными идеями о том, как выполнять анализ неопределенностей.

## **6.6 ВЫВОД**

Методы, описанные в настоящей главе, должны помочь учреждениям, составляющим кадастры, оценить и подготовить отчетность о неопределенности в суммарных выбросах за любой год и неопределенности в тенденции между годами, наряду с долей, приходящейся на каждую категорию источников в этих суммарных неопределенностях. Эта информация должна помочь определить приоритетные меры по повышению точности кадастров в будущем и может продемонстрировать, как суммарная неопределенность и неопределенность в тенденции реагируют на сокращение неопределенностей по отдельным категориям источников.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6А.1 ВЫВОД ФОРМУЛ В ТАБЛИЦЕ 6.1 (УРОВЕНЬ 1)

### ЭКСПЛИКАЦИЯ ПЕРЕМЕННЫХ

$C_x$  = величина, записанная в колонке С и ряду  $x$ ,

$n$  = количество категорий выбросов (ряды),

$\sum C_i$  = сумма по всем категориям выбросов (ряды) кадастра от  $i=1$  до  $i=n$ .

### Колонки А-Е

Входные данные.

### Колонка G

Объединенная неопределенность, полученная посредством использования уравнения распространения ошибки:

$$G_x = \sqrt{E_x^2 + F_x^2}.$$

### Колонка H

Объединенная неопределенность в процентах от суммарных выбросов в год  $t$ :

$$H_x = \frac{G_x \cdot D_x}{\sum D_i}.$$

Итоговая цифра в колонке H (суммарная неопределенность выбросов) получена посредством использования уравнение распространения ошибки:

$$\text{Итого в колонке H} = \frac{\sqrt{\sum_x \left[ \left( \sum_x D_x \right)^2 \cdot (H_x)^2 \right]}}{\sum_x D_x} = \sqrt{\sum_x H_x^2}.$$

### Колонка I

Величины, записанные в колонке I, показывают, как изменяется разность выбросов между базовым годом и годом  $t$  в ответ на однопроцентное увеличение выбросов из категории источников  $x$  как в базовый год, так и в год  $t$ . Колонка показывает чувствительность тенденции выбросов к систематической неопределенности в оценке выбросов, т.е. чувствительность, которая коррелируется между базовым годом и годом  $t$ . Эта чувствительность описана как чувствительность типа А.

$I_x$  = тенденция в процентах, если категория источника  $x$  увеличивается на 1 % в обоих годах – тенденция в процентах без увеличения

$$= \frac{0.01 \cdot D_x + \sum D_i - (0.01 \cdot C_x + \sum C_i)}{(0.01 \cdot C_x + \sum C_i)} \cdot 100 - \frac{\sum D_i - \sum C_i}{\sum C_i} \cdot 100.$$

#### КОЛОНКА J

Величины, записанные в колонке J, показывают, как изменяется разность выбросов между базовым годом и годом  $t$  в ответ на однопроцентное увеличение выбросов из категории источников  $x$  только в год  $t$ . Колонка показывает чувствительность тенденции выбросов к случайной ошибке неопределенности в оценке выбросов, т.е. чувствительность, которая не коррелируется между базовым годом и годом  $t$ . Эта чувствительность описана как чувствительность типа В.

$J_x$  = тенденция в процентах, если категория источника  $x$  увеличивается на 1 % в год  $t$  – тенденция в процентах без увеличения

$$= \frac{0.01 \cdot D_x + \sum D_i - \sum C_i}{\sum C_i} \cdot 100 - \frac{\sum D_i - \sum C_i}{\sum C_i} \cdot 100$$

$$= \frac{D_x}{\sum C_i}.$$

#### КОЛОНКА K

Исходя из предположения, что в обоих годах используется один и тот же коэффициент выбросов и что фактические коэффициенты выбросов полностью коррелируются, вводимая им ошибка в процентах одинакова в оба года. Поэтому формула для неопределенности, вводимой коэффициентом выбросов в тенденцию, имеет вид:

$$K_x = \text{чувствительность A} \cdot \text{неопределенность коэффициента выбросов}$$

$$= I_x \cdot F_x.$$

В случае, когда корреляция между коэффициентами выбросов не предполагается, следует использовать чувствительность типа В, а результат необходимо умножить на  $\sqrt{2}$  по причине, приведенной ниже в выводе формулы для колонки L:

$$K_x = \text{чувствительность B} \cdot \text{неопределенность коэффициента выбросов} \cdot \sqrt{2}$$

$$= J_x \cdot F_x \cdot \sqrt{2}.$$

#### КОЛОНКА L

Тенденция равна разности между выбросами в базовый год и в год  $t$ . Поэтому должна быть принята во внимание неопределенность данных о деятельности в базовый год и в год  $t$ . Эти две неопределенности, объединяются в одну с использованием уравнения распространения ошибки и исходя из предположения, что неопределенность одинакова в базовый год и в год  $t$ :

$$= \sqrt{(\text{неопределенность (данные о деятельности, базовый год)})^2 + (\text{неопределенность (данные о деятельности, год t)})^2}$$

$$\approx \sqrt{(\text{неопределенность (данные о деятельности, год t)})^2} \cdot 2$$

$$= E_x \cdot \sqrt{2}.$$



Поскольку предполагается, что данные о деятельности в оба года независимы, показатели колонки L вычисляются по формуле:

$$L_x = \text{чувствительность В} \bullet \text{объединенная неопределенность данных о деятельности за оба года} \\ = J_x \bullet E_x \bullet \sqrt{2}.$$

В случае, если предполагается корреляция между данными о деятельности, то должна использоваться чувствительность типа А, а коэффициент  $\sqrt{2}$  не применяется:

$$L_x = I_x \bullet E_x.$$

### Колонка М

Колонка М отображает объединенную неопределенность, вводимую в тенденцию неопределенностью данных о деятельности и неопределенностью коэффициента выбросов.

$$M_x = \sqrt{K_x^2 + L_x^2}.$$

Показатели  $M_i$  в колонке М объединяются для получения суммарной неопределенности тенденции, используя уравнение распространения ошибки:

$$\text{Итого в колонке М} = \frac{\sqrt{\sum_x \left[ \left( \sum_x (D_x - C_x) \right)^2 \bullet (M_x)^2 \right]}}{\sum_x (D_x - C_x)} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_n^2}.$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6А.2

### УРОВЕНЬ 1 - ПРИМЕР РАСЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

В приведенной ниже таблице содержится пример расчета национального кадастра парниковых газов Соединенного Королевства

ТАБЛИЦА 6.3													
УРОВЕНЬ 1 - ПРИМЕР РАСЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ И ОТЧЕТНОСТИ													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Категория источника МГЭИК	Газ	Выбросы в базовый год 1990	Выбросы в год t 1997	Неопределенность данных о деятельности	Неопределенность коэффициентов выбросов	Объединенная неопределенность	Объединенная неопределенность в % суммарных национальных выбросов в год t	Чувствительность типа А	Чувствительность типа В	Неопределенность в тенденции национальных выбросов, вводимая неопределенностью коэффициента выбросов	Неопределенность тенденции национальных выбросов, вводимая неопределенностью данных о деятельности	Неопределенность, вводимая в тенденцию суммарных национальных выбросов
			Тг в эквиваленте CO <sub>2</sub>	Тг в эквиваленте CO <sub>2</sub>	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1A	Уголь	CO2	238 218	142 266	1.2	6	6.1	1.2	-0.0966	0.1840	-0.58	0.31	0.66
1A	Нефть	CO2	208 684	196 161	1	2	2.2	0.6	0.0076	0.2538	0.02	0.36	0.36
1A	Природный газ	CO2	111 052	181 691	2	1	2.2	0.6	0.1039	0.2351	0.10	0.66	0.67
1A	Прочие (отходы)	CO2	138	741	7	20	21.2	0.0	0.0008	0.0010	0.02	0.01	0.02
1B	Преобразование твердого топлива	CO2	2 573	1 566	1.2	6	6.1	0.0	-0.0010	0.0020	-0.01	0.00	0.01
1B	Нефть и природный газ	CO2	8 908	6 265		14	14.0	0.1	-0.0024	0.0081	-0.03	0.00	0.03
2A1	Производство цемента	CO2	6 693	6 157	1	2	2.2	0.0	0.0001	0.0080	0.00	0.01	0.01
2A2	Производство извести	CO2	1 192	1 703	1	5	5.1	0.0	0.0008	0.0022	0.00	0.00	0.01
2A3	Использование известняка и доломита	CO2	1 369	1 551	1	5	5.1	0.0	0.0004	0.0020	0.00	0.00	0.00
2A4	Использование кальцированной соды	CO2	116	120	15	2	15.1	0.0	0.0000	0.0002	0.00	0.00	0.00
2B	Производство аммиака	CO2	1 358	814		5	5.0	0.0	-0.0005	0.0011	0.00	0.00	0.00
2C1	Черная металлургия	CO2	3 210	1 495	1.2	6	6.1	0.0	-0.0019	0.0019	-0.01	0.00	0.01
5D	Изменение землепользования и лесное хозяйство	CO2	31 965	27 075	5	54	54.2	2.1	-0.0027	0.0350	-0.14	0.25	0.29
6C	Сжигание твердых городских отходов	CO2	660	29	7	20	21.2	0.0	-0.0007	0.0000	-0.01	0.00	0.01
		ИтогоCO2	616 137	567 634									
1A	Все топлива	CH4	2 507	1 975	1.2	50	50.0	0.1	-0.0004	0.0026	-0.02	0.00	0.02
1B1	Угольная промышленность	CH4	17 188	6 687	1	13	13.0	0.1	-0.0116	0.0087	-0.15	0.01	0.15
	Преобразование твердого топлива	CH4	215	173	6	50	50.4	0.0	0.0000	0.0002	0.00	0.00	0.00
1B2	Снабжение природным газом	CH4	8 103	7 301	2	15	15.1	0.2	-0.0001	0.0094	0.00	0.03	0.03
	Добыча нефти и газа на шельфе	CH4	2 402	1 957	10	26	27.9	0.1	-0.0003	0.0025	-0.01	0.04	0.04
2C	Черная металлургия	CH4	16	13	1.2	50	50.0	0.0	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
4A	Энтеральная ферментация	CH4	19 177	18 752	1	20	20.0	0.5	0.0016	0.0243	0.03	0.03	0.05
4B	Уборка, хранение, использование навоза	CH4	2 338	2 325	1	30	30.0	0.1	0.0003	0.0030	0.01	0.00	0.01
4F	Сжигание биомассы	CH4	266	0	25	50	55.9	0.0	-0.0003	0.0000	-0.02	0.00	0.02
6A	Утилизация твердых отходов	CH4	23 457	17 346	15	46	48.4	1.2	-0.0052	0.0224	-0.24	0.48	0.53
6B	Переработка сточных вод	CH4	701	726	15	48	50.3	0.1	0.0001	0.0009	0.01	0.02	0.02
6C	Сжигание отходов	CH4	1	1	7	50	50.5	0.0	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
		ИтогоCH4	76 371	57 257									
1A2&1A4&	Прочее сжигание	N2O	3 865	3 562	1.2	195	195.0	1.0	0.0001	0.0046	0.01	0.01	0.01

Таблица 6.3

УРОВЕНЬ 1 - ПРИМЕР РАСЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ И ОТЧЕТНОСТИ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Категория источника МГЭИК	Газ	Выборы в базовый год 1990	Выборы в год t 1997	Неопределенность данных о деятельности	Неопределенность коэффициентов выбросов	Объединенная неопределенность	Объединенная неопределенность в % суммарных национальных выбросов в год t	Чувствительность типа А	Чувствительность типа В	Неопределенность в тенденции национальных выбросов, вводимая неопределенностью коэффициента выбросов	Неопределенность тенденции национальных выбросов, вводимая неопределенностью данных о деятельности	Неопределенность, вводимая в тенденцию суммарных национальных выбросов
			Гг в эквиваленте CO <sub>2</sub>	Гг в эквиваленте CO <sub>2</sub>	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1A5													
1A3	Транспорт	N2O	1 300	3 645	1.4	170	170.0	0.9	0.0032	0.0047	0.54	0.01	0.54
1B2	Нефть и природный газ	N2O	3	2	10	110	110.5	0.0	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
2B	Производство адипиновой кислоты	N2O	25 136	17 766	0.5	15	15.0	0.4	-0.0067	0.0230	-0.10	0.02	0.10
2B	Производство азотной кислоты	N2O	4 383	3 723	10	230	230.2	1.2	-0.0004	0.0048	-0.08	0.07	0.11
4B	Уборка, хранение, использование навоза	N2O	1 583	1 559	1	509 <sup>a</sup>	509.0	1.1	0.0002	0.0020	0.08	0.00	0.08
4D	Сельскохозяйственные земли	N2O	29 472	29 098	1	509	509.0	21.0	0.0029	0.0376	1.47	0.05	1.47
4F	Сжигание биомассы	N2O	78	0	10	230	230.2	0.0	-0.0001	0.0000	-0.02	0.00	0.02
6B	Переработка сточных вод	N2O	153	157	1	100	100.0	0.0	0.0000	0.0002	0.00	0.00	0.00
6C	Сжигание отходов	N2O	115	11	7	230	230.1	0.0	-0.0001	0.0000	-0.03	0.00	0.03
		ИтогоN2O	66 089	59 525									
2	Промышленные процессы	HFC	11 374	18 447	2	25	25.1	0.7	0.0104	0.0239	0.26	0.07	0.27
3	Промышленные процессы	PFC	2 281	661	5	19	19.6	0.0	-0.0018	0.0009	-0.03	0.01	0.04
4	Промышленные процессы	SF6	724	1 170	10	8	12.8	0.0	0.0007	0.0015	0.01	0.02	0.02
		Итого галоидоуглеродов и SF6											
	Суммарные выбросы	ППП взвешенный суммарный	772 976	704 693									
	Суммарные неопределенности				Общая неопределенность в год (%)			21.3	Неопределенность тенденции (%)			2.0	

<sup>a</sup> Неопределенность оценена из логарифмически нормального распределения, используемого в моделировании Монте-Карло, т.е. (97,5 процентиля/среднее)/Среднее \*100.

## 6.7 БИБЛИОГРАФИЯ

- Ang, A.H.S. and W.H. Tang (1975). *Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume 1*. John Wiley and Sons, New York.
- Cullen, A.C. and H.C. Frey (1999). *Probabilistic Techniques in Exposure and Risk Assessment: A Handbook for Dealing with Variability and Uncertainty in Models and Inputs*. Plenum Press, New York.
- D'Agostino, R.B. and M.A. Stephens (1986). *Goodness of Fit Techniques*. Marcel Dekker, New York.
- Efron, B. and Tibshirani, R.J. (1993). *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall, New York.
- Eggleston, S. et al. (1998). *Treatment of Uncertainties for National Greenhouse Gas Emissions*. Report AEAT 2688-1 for DETR Global Atmosphere Division, AEA Technology, Culham, UK.
- Fishman G.S. (1996). *Monte Carlo: Concepts, Algorithms, and Applications*. Springer-Verlag, New York.
- Frey, H.C. and D.E. Burmaster (1999). 'Methods for Characterization of Variability and Uncertainty: Comparison of Bootstrap Simulation and Likelihood-Based Approaches'. *Risk Analysis*, 19(1): 109-129.
- Frey, H.C. and D.S. Rhodes (1996). 'Characterizing, Simulating, and Analyzing Variability and Uncertainty: An Illustration of Methods Using an Air Toxics Emissions Example'. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2(4), pp. 762-797.
- Frey, H.C., Bharvirkar, R., Thompson, R. and Bromberg, S. (1998). 'Quantification of Variability and Uncertainty in Emission Factors and Inventories'. *Proceedings of Conference on the Emission Inventory*, Air & Waste Management Association, Pittsburgh, PA, USA.
- Frey, H.C., Bharvirkar, R. and Zheng, J. (1999). *Quantitative Analysis of Variability and Uncertainty in Emissions Estimation, Final Report*. Prepared by North Carolina State University for U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA, July 1999. Available at [www4.ncsu.edu/~frey/](http://www4.ncsu.edu/~frey/)
- Hahn, G. J. and Shapiro, S. S. (1967). *Statistical Models in Engineering*, John Wiley and Sons, New York.
- Hora, S.C., and R.L. Iman (1989). 'Expert opinion in risk analysis: The NUREG-1150 methodology'. *Nuclear Science and Engineering*, 102, pp. 323-331.
- Iman, R. L. and Conover, W. J. (1982). 'A Distribution-Free Approach to Inducing Rank Correlation Among Input Variables'. *Communications in Statistics*, B11(3), pp. 311-334.
- McCann, T.J. & Associates and Nosal, M. (1994). *Report To Environment Canada Regarding Uncertainties In Greenhouse Gas Emission Estimates*. Calgary, Canada.
- Merkhofer, M.W. (1987). 'Quantifying judgmental uncertainty: methodology, experiences, and insights'. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 17(5), pp. 741-752.
- Morgan, M.G. and M. Henrion (1990). *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*. Cambridge University Press, New York.
- NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements) (1996). *A Guide for Uncertainty Analysis in Dose and Risk Assessments Related to Environmental Contamination*. NCRP Commentary No. 14, Bethesda, MD, USA.
- Robinson, J.R. (1989). 'On Uncertainty in the Computation of Global Emissions for Biomass Burning'. *Climatic Change*, 14, pp. 243-262.
- Spetzler, C.S., and von Holstein, S. (1975). 'Probability encoding in decision analysis'. *Management Science*, 22(3), pp. 340-358.
- USEPA (1996). *Summary Report for the Workshop on Monte Carlo Analysis*. EPA/630/R-96/010, Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- USEPA (1997). *Guiding Principles for Monte Carlo Analysis*. EPA/630/R-97/001, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, March 1997. Available on World Wide Web at: <http://www.epa.gov/ncea/mcpolicy.htm>.
- USEPA (1999). *Report of the Workshop on Selecting Input Distributions For Probabilistic Assessments*. EPA/630/R-98/004, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, January 1999. Available on World Wide Web at: <http://www.epa.gov/ncea/input.htm>.
- Wackerly, D. D., Mendenhall III, W. and Scheaffer, R. L. (1996). *Mathematical Statistics with Applications*. Duxbury Press, USA.