

ГЛАВА 3

УДАЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Авторы

Риитта Пипатти (Финляндия), Пер Свардал (Норвегия)

Джоао Вагнер Силва Алвес (Бразилия), Цинсян Гао (Китай), Карлос Лопес Кабрера (Куба),
Катарина Маречкова (Словакия), Ханс Оонк (Нидерланды), Элизабет Шил (США), Чхемендра Шарма
(Индия), Элисон Смит (Соединенное Королевство) и Масато Ямада (Япония)

Сотрудничающие авторы

Джефри Б. Кобурн (США), Ким Пингоуд (Финляндия), Гуннар Торсен (Норвегия)
и Фабиан Вагнер (Германия)

Содержание

3	Удаление твердых отходов	
3.1	Введение.....	3.6
3.2	Методологические вопросы	3.6
3.2.1	Выбор метода.....	3.6
3.2.2	Выбор данных о деятельности	3.13
3.2.3	Выбор коэффициентов выбросов и параметров	3.14
3.3	Использование измерений при определении выбросов CH ₄ из СТО	3.22
3.4	Углерод, хранящийся на СТО	3.26
3.5	Полнота	3.27
3.6	Формирование согласованного временного ряда.....	3.27
3.7	Оценка неопределенности	3.28
3.7.1	Неопределенности, свойственные методу	3.28
3.7.2	Неопределенности, свойственные данным	3.29
3.8	ОК/КК, отчетность и документация	3.32
	Ссылки	3.33
	Приложение 3А.1 Модель затухания первого порядка	3.36
	Ссылки	3.46

Уравнения

Уравнение 3.1	Выбросы CH_4 из СТО.....	3.8
Уравнение 3.2	Разложимый DOC из данных по удалению отходов.....	3.9
Уравнение 3.3	Преобразование из DDOC_m в L_0	3.10
Уравнение 3.4	DDOC_m накопленный на СТО к концу года T	3.10
Уравнение 3.5	DDOC_m разложившийся к концу года T	3.10
Уравнение 3.6	CH_4 образованный из разложившегося DDOC_m	3.11
Уравнение 3.7	Оценка DOC с использованием значений содержания углерода по умолчанию.....	3.14
уравнение 3A1.1	Дифференциальное уравнение для затухания первого порядка.....	3.36
уравнение 3A1.2	Уравнение затухания первого порядка.....	3.36
уравнение 3A1.3	DDOC_m , остающееся после года разложения.....	3.37
уравнение 3A1.4	DDOC_m , разложившийся после года разложения.....	3.37
Уравнение 3A1.5	DDOC_m , разложившийся за год T	3.37
Уравнение 3A1.7	Уравнение ЗПП для реакции распада, начинающейся через 3 месяца.....	3.37
Уравнение 3A1.8	DDOC_m , разложившийся в год помещения на свалку (задержка 3 месяца).....	3.38
Уравнение 3A1.9	DDOC_m , диссимилированный в год (T) (задержка 3 месяца).....	3.38
Уравнение 3A1.10	Масса способного к разложению органического углерода, накопленного в конце года T	3.39
Уравнение 3A1.11	Масса способного к разложению органического углерода, разложившегося в год T	3.39
Уравнение 3A1.12	DDOC_m , остающийся на свалке в конце года после удаления.....	3.40
Уравнение 3A1.13	DDOC_m , разложившийся в год после удаления.....	3.40
Уравнение 3A1.14	DDOC_m , разложившийся к концу года T	3.40
Уравнение 3A1.15	DDOC_m , разложившийся в год T	3.40
Уравнение 3A1.16	Расчет нестойкого DOC_m из данных по удалению отходов.....	3.41
Уравнение 3A1.17	CH_4 , образованный из разложившегося DDOC_m	3.41
Уравнение 3A1.18	CH_4 , выделенный из СТО.....	3.41
Уравнение 3A1.19	Расчет хранящегося длительное время DOC_m из данных по удалению отходов.....	3.42
Уравнение 3A1.20	Коэффициент первого порядка для уравнения реакции.....	3.42
Уравнение 3A1.21	Уравнение Руководящих принципов МГЭИК 1996 г. для DDOC_m , подверженного реакции в год T	3.43
Уравнение 3A1.22	Уравнение ЗПП МГЭИК РУЭП2000 для DDOC_m , подверженного реакции в год T	3.44
Уравнение 3A1.23	ЗПП с коэффициентом удаления $D(t)$	3.45
Уравнение 3A1.24	Накопленный за год способный к разложению органический углерод.....	3.45
Уравнение 3A1.25	CH_4 , образованный за год.....	3.45

Рисунки

Рисунок 3.1	Схема принятия решений относительно выбросов CH ₄ со свалок твердых отходов.....	3.8
Рисунок 3A1.1	Ошибка, полученная из-за неполного интегрирования кривой интенсивности реакции.....	3.43
Рисунок 3A1.2	Последствие ошибки в уравнении РУЭП2000.....	3.44

Таблицы

Таблица 3.1	Классификация СТО и поправочные коэффициенты для метана (MCF).....	3.16
Таблица 3.2	Коэффициент окисления (OX) для СТО	3.17
Таблица 3.3	Рекомендуемый уровень значений образования метана по умолчанию (k) в рамках уровня 1	3.19
Таблица 3.4	Рекомендуемые значения по умолчанию периода полураспада (t _{1/2}) в рамках уровня 1	3.20
Таблица 3.5	Оценочные значения неопределенностей, связанных с данными о деятельности и параметрами по умолчанию, используемыми в методе ЗПП для выбросов CH ₄ из СТО.	3.31
Таблица 3A1.1	Новый метод расчета ЗПП.....	3.39

Блоки

Блок 3.1	Непосредственные измерения из систем сбора газа, полученные для определения параметров модели ЗПП.....	3.23
Блок 3.2	Непосредственные измерения выбросов метана с поверхности СТО	3.24

3 УДАЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

3.1 ВВЕДЕНИЕ

При обработке и удалении коммунальных, промышленных и других видов твердых отходов образуется значительное количество метана (CH_4). Помимо CH_4 , также на свалках твердых отходов (СТО) образуются диоксиды углерода (CO_2) органического происхождения, летучие неметановые органические соединения (ЛНОС) и небольшое количество закиси азота (N_2O), оксидов азота (NO_x) и монооксидов углерода (СО). Образованный на свалках CH_4 обеспечивает приблизительно 3-4 процента ежегодных глобальных антропогенных выбросов парниковых газов (МГЭИК, 2001). За последние годы во многих промышленно развитых странах практика управления отходами претерпела значительные изменения. Для снижения количества образованных отходов была введена политика минимизации и переработки/повторного использования отходов, а также для снижения воздействия на окружающую среду результатов управления отходами были осуществлены возрастающие альтернативные практики управления отходами для их удаления в землю. Также рекуперация газа со свалок стала более распространенной практикой для снижения выбросов CH_4 со СТО.

Разложение органического материала, полученного из источников биомассы (например, сельскохозяйственных культур, древесины), является основным источником CO_2 , образующимся из отходов. Данные выбросы CO_2 не включены в национальные итоговые величины, потому что углерод имеет биогенное происхождение, и поэтому годовой объем выбросов рассматривается в секторе «Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования». Методологии для ЛНОС, NO_x и СО учитываются в руководствах в рамках других конвенций, таких как Конвенция ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Ссылки по данным методологиям предоставлены в главе 1 данного тома, а дополнительную информацию можно найти в главе 7 тома 1. Так как выбросы N_2O со СТО не являются значительными, то методология по данным выбросам не представлена.

В *Пересмотренных Руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов, МГЭИК, 1996 г. (Руководящие принципы 1996 г., МГЭИК, 1997) и Руководящих указаниях МГЭИК по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов (РУЭП2000, МГЭИК, 2000)* приводится два метода для оценки выбросов CH_4 со СТО: метод компенсации массы (уровень 1) и метод затухания первого порядка (ЗПП) (уровень 2). В данном томе не приветствуется использование метода компенсации массы, так как полученные результаты не сопоставимы с методом ЗПП, в результате которого можно добиться более точной оценки годовых выбросов. В данной главе вместо метода компенсации массы приводится метод уровня 1, который является вариантом метода ЗПП, включающим простую модель табличных расчетов с пошаговым руководством и улучшенными данными по умолчанию. С помощью этого руководства все страны смогут применить метод ЗПП.

3.2 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

3.2.1 Выбор метода

Методология МГЭИК для оценки выбросов CH_4 со СТО основана на методе затухания первого порядка (ЗПП). Данный метод допускает, что способные к разложению органические компоненты (способный к разложению органический углерод, DOC) в отходах медленно разлагаются на протяжении нескольких декад, во время которых происходит формирование CH_4 и CO_2 . Если условия являются постоянными, то уровень образования CH_4 зависит исключительно от количества углерода, продолжающего оставаться в отходах. В результате выбросы CH_4 из отходов, удаленных на свалках, первые несколько лет после их удаления остаются высокими, а затем постепенно уменьшаются, так как способный к разложению углерод, содержащийся в отходах, уничтожается ответственными за распад бактериями.

Преобразование способного к разложению материала на СТО в CH_4 и CO_2 происходит благодаря цепи реакций и параллельных реакций. Полная модель, по всей вероятности, является очень сложной и варьируется в зависимости от условий на СТО. Однако в лабораторных и полевых исследованиях по данным образования CH_4 предполагается, что полный процесс разложения может быть приближен к кинетике первого порядка (например, Noeks, 1983), и впоследствии это предположение было широко

принято. Поэтому, в качестве основы оценки выбросов CH_4 со СТО, МГЭИК была заимствована относительно простая модель ЗПП.

«Период полураспада» для различных видов отходов варьируется в диапазоне от нескольких лет до нескольких десятилетий или более длительного периода.

Для получения приемлемых точных результатов по методу ЗПП, необходимо подготовить или оценить исторические данные об удалении отходов за период, насчитывающий от 3 до 5 «периодов полураспада». Таким образом, *эффективная практика* заключается в использовании данных по удалению за период не менее 50 лет, так как с учетом данного временного интервала можно добиться приемлемых точных результатов для наиболее типичных методик и условий удаления отходов. В случае, когда выбран более короткий временной отрезок, составитель кадастра должен доказать отсутствие значительного недоучета выбросов. В данных *руководящих принципах* представлено руководство по оценке исторических данных относительно удаления отходов (раздел 3.2.2 «Выбор данных о деятельности»), значения по умолчанию для всех параметров модели ЗПП (раздел 3.2.3 «Выбор коэффициентов выбросов и параметров»), а также простая модель табличных расчетов для оказания помощи странам в использовании метода ЗПП.

Ниже описаны три уровня оценки выбросов CH_4 со СТО:

Уровень 1: Принцип оценки метода уровня 1 основан на методе МГЭИК ЗПП, в основном использующем данные о деятельности по умолчанию и параметры по умолчанию.

Уровень 2: Метод уровня 2 использует метод МГЭИК затухания первого порядка и некоторые параметры по умолчанию, однако также предполагает наличие качественных применимых к конкретным странам данных о деятельности по умолчанию относительно удаления отходов на СТО в настоящее время и в прошлом. Исторические данные по удалению отходов за последнее десятилетие, либо более длительный период, должны основываться на применимой к конкретным странам статистике, исследованиям или другим подобным источникам. Также необходимы данные по количеству отходов, удаленных на СТО.

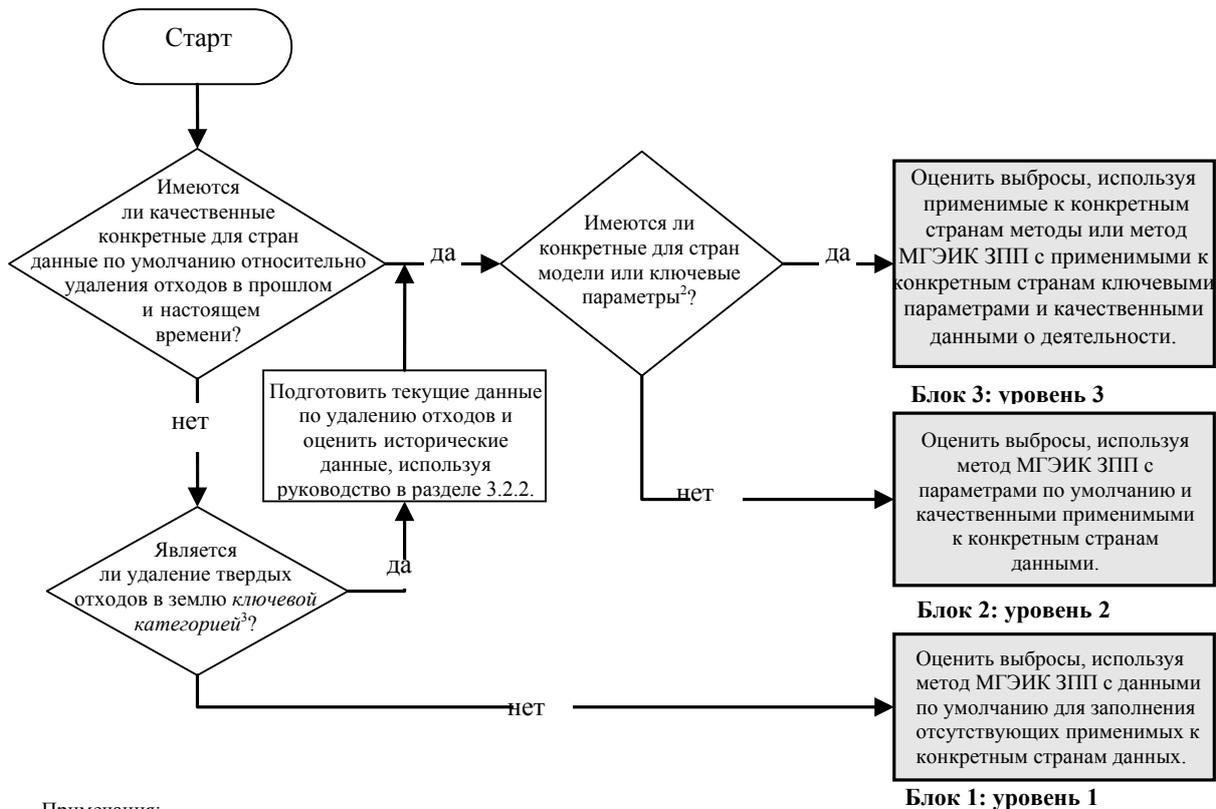
Уровень 3: Методы уровня 3 основаны на использовании высококачественных применимых к конкретным странам данных о деятельности (см. уровень 2), а также использовании, либо метода ЗПП с (1) национально разработанными ключевыми параметрами, либо (2) измерений, полученных из применимых к конкретным странам параметров. Составитель кадастра может использовать применимые к конкретным странам методы, которые имеют схожее или более высокое качество по сравнению с вышеперечисленным методом уровня 3, основанном на ЗПП. Ключевые параметры должны включать данные о «периоде полураспада», потенциале образования метана (L_0), либо данные о содержании DOC в отходах и доли DOC, подвергающейся разложению (DOC_f). Данные параметры могут основываться на измерениях, которые описаны в блоке 3.1.

Схема принятых решений относительно выбора наиболее подходящего метода показана в рисунке 3.1. Для того чтобы учесть временную зависимость выбросов, *эффективная практика* для всех стран заключается в применении метода ЗПП или другого утвержденного для конкретной страны метода.

Метод ЗПП кратко изложен в разделе 3.2.1.1, а более подробная информация по данному методу содержится в приложении 3А.1. Модель табличного расчета была разработана МГЭИК, чтобы помочь странам в использовании метода ЗПП: *Табличные расчеты МГЭИК для определения выбросов метана со свалок твердых отходов. (Модель МГЭИК по отходам)*¹. Ниже более детально рассмотрена *модель МГЭИК по отходам*, которая также может быть изменена и использована для всех уровней.

¹ См. прилагаемые таблицы в формате Excel. <IPCC_Waste_Model.xls>.

Рисунок 3.1 Схема принятия решений относительно выбросов CH_4 со свалок твердых отходов.



Примечания:

1. Качественные конкретные для стран данные о деятельности по умолчанию означают применимые к конкретным странам данные по отходам, удаленным на СТО за последнее десятилетие или большее количество времени.
2. Ключевые параметры означают DOC/L_0 , DOC_T и «период полураспада».
3. См. главу 4 (Методологический выбор и определение ключевых категорий) (раздел 4.1.2 по ограниченным ресурсам) тома 1, в которой рассматриваются ключевые категории и использование схем принятия решений.

3.2.1.1 ЗАТУХАНИЕ ПЕРВОГО ПОРЯДКА (ЗПП)

ВЫБРОСЫ МЕТАНА

Выбросы CH_4 , образующиеся при удалении твердых отходов за год, могут быть оценены с помощью уравнения 3.1. CH_4 образуется в результате распада органического материала под воздействием анаэробных условий. Часть образованного CH_4 окисляется в верхних слоях СТО, либо может быть рекуперирована с целью получения энергии или сжигания в факельной установке. Таким образом, количество метана, выброшенного в атмосферу непосредственно со СТО, будет значительно меньше количества образовавшегося CH_4 .

УРАВНЕНИЕ 3.1
Выбросы CH_4 из СТО

$$\text{Выбросы } CH_4 = \left[\sum_x CH_4 \text{ образованный}_{x,T} - R_T \right] \cdot (1 - OX_T)$$

Где:

Выбросы CH_4 = CH_4 , выработанный в год T , Гг

T = учитываемый в кадастре год

x	=	категория отходов или тип/материал
R_T	=	рекуперированный CH_4 в год T , Гг
OX_T	=	коэффициент окисления в год T , (дробь)

Рекуперированный CH_4 должен рассчитываться из количества образовавшегося CH_4 . Только доля CH_4 , который не был рекуперирован, подлежит окислению в верхнем слое СТО.

ОБРАЗОВАНИЕ МЕТАНА

В последующие десятилетия потенциал образования CH_4 в удаленных в определенном году отходах будет постепенно снижаться. В связи с этим, выброс CH_4 в атмосферу, образовавшегося непосредственно из данного количества отходов, также будет снижаться. Модель ЗПП основывается на экспоненциальном факторе, описывающим часть поддающегося разложению материала, который каждый год распадается на CH_4 и CO_2 .

Одним из ключевых входных данных модели является количество способного к разложению органического вещества (DOC_m) в отходах, удаленных на СТО. Эти данные определяются на основании информации по удалению различных категорий отходов (коммунальные твердые отходы (КТО), отстой, промышленные или другие отходы) и различных типов/материалов отходов (пищевые, бумажные, древесные, текстильные и другие типы отходов), включенных в данные категории, либо, в качестве альтернативы, на основании среднего количества DOC в массе удаленных отходов. Также необходима информация по типам СТО в конкретной стране и параметрам, описанным в разделе 3.2.3. Для метода уровня 1 могут быть использованы региональные данные о деятельности по умолчанию и параметры МГЭИК по умолчанию, которые включены в модель табличного расчета. Уровень 2 и 3 предусматривают наличие применимых к конкретным странам данных о деятельности и/или параметров.

Уравнения для расчета образования CH_4 приводятся ниже. Так как математические расчеты для оценки выбросов CH_4 из всех категорий/видов/материалов отходов являются одинаковым, то индексирование различных категорий/материалов/типов отходов в представленных ниже уравнениях не используется.

Потенциал CH_4 , образовавшийся в течение нескольких лет, может быть рассчитан на основе количества и состава удаленных на СТО отходов и практики обращения с отходами на свалках. Основой расчета базируется на количестве способного к разложению нестойкого органического углерода (DDOC_m), как было определено в уравнении 3.2. DDOC_m является частью органического углерода, которая подвергнется разложению под воздействием анаэробных условий на СТО. Данное значение указано в уравнениях и моделях табличных расчетов в качестве DDOC_m. Индекс m используется для обозначения массы. DDOC_m приравнивает произведение количества отходов (W), часть способного к разложению органического углерода в отходах (DOC) и часть способного к разложению органического углерода, которые подвергнется распаду под воздействием анаэробных условий (прежде чем условия станут анаэробными) на СТО, который интерпретируется в поправочном коэффициенте для метана (MCF).

УРАВНЕНИЕ 3.2 РАЗЛОЖИМЫЙ DOC ИЗ ДАННЫХ ПО УДАЛЕНИЮ ОТХОДОВ

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

Где:

DDOC _m	=	масса помещенного на свалку нестойкого DOC, Гг
W	=	масса удаленных отходов, Гг
DOC	=	способный к разложению органический углерод в год удаления на свалку, фракция, Гг С/Гг отходов
DOC _f	=	доля DOC, способного к разложению (дробь)
MCF	=	поправочный коэффициент CH_4 для анаэробного разложения в год помещения на свалку (дробь)

Несмотря на то, что потенциал образования метана (L_0)² в данных *Руководящих принципах* не используется прямо, он равняется произведению DDOC_m, концентрации CH₄ в газе (F) и соотношению молекулярного веса CH₄ и C (16/12).

УРАВНЕНИЕ 3.3
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗ DDOC_m В L₀

$$L_0 = DDOC_m \cdot F \cdot 16/12$$

Где:

- L_0 = потенциал образования CH₄, Гг CH₄
 DDOC_m = масса помещенного на свалку нестойкого DOC, Гг
 F = доля CH₄ в образованном на свалках газе (доля по объему)
 16/12 = соотношение молекулярного веса CH₄/C (соотношение)

Применяя DDOC_m (DDOC_m, накопленного на СТО) из табличных расчетов, вышеуказанное уравнение может быть использовано для расчета общего потенциала образования CH₄ в отходах, остающихся на СТО.

ЗАТУХАНИЕ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

С реакцией первого порядка количество продукта всегда пропорционально количеству реактивного материала. Это означает, что год, когда отходный материал был помещен на СТО, не соответствует количеству CH₄, который образуется каждый год. Лишь общая масса разлагающегося в настоящее время на свалке материала является значимой.

Это также означает, что когда нам известно количество разлагающегося материала на СТО в начале года, то в методе оценке выбросов каждый год может рассматриваться, как год номер 1, а основные расчеты для метода первого порядка могут быть произведены с помощью двух этих уравнений, с реакцией распада, начинающейся 1 января через год после помещения отходов на свалку.

УРАВНЕНИЕ 3.4
DDOC_m НАКОПЛЕННЫЙ НА СТО К КОНЦУ ГОДА T

$$DDOC_m a_T = DDOC_m d_T + (DDOC_m a_{T-1} \cdot e^{-k})$$

УРАВНЕНИЕ 3.5
DDOC_m РАЗЛОЖИВШИЙСЯ К КОНЦУ ГОДА T

$$DDOC_m decomp_T = DDOC_m a_{T-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

Где:

- T = учитываемый в кадастре год
 DDOC_m a_T = DDOC_m накопленный на СТО к концу года T, Гг
 DDOC_m a_{T-1} = DDOC_m накопленный на СТО к концу года (T-1), Гг
 DDOC_m d_T = DDOC_m удаленный на СТО в год T, Гг
 DDOC_m decomp_T = DDOC_m удаленный на СТО в год T, Гг
 k = константа реакции, $k = \ln(2)/t_{1/2}$ (г⁻¹)
 t_{1/2} = время периода полураспада (г)

² В *Руководящих принципах 2006* L₀ (Гг образованного CH₄) определяется из количества нестойкого DOC на СТО. Уравнение в *Руководящих указаниях по эффективной практике за 2000 год* отличается, так как L₀ определен как Гг CH₄ на Гг удаленных отходов, а выбросы рассчитаны путем умножения на массу, подвергшуюся удалению.

Данный метод может быть применен для даты начала реакции, наступающей раньше 1 января через год после удаления. Уравнения и объяснения могут быть найдены в приложении 3А.1.

CH₄ образованный из нестойкого DDOC_m

Количество CH₄, образовавшегося из нестойких материалов, можно рассчитать путем умножения доли CH₄, содержащегося в газе со свалок и CH₄/C коэффициента молекулярной массы.

УРАВНЕНИЕ 3.6

CH₄ ОБРАЗОВАННЫЙ ИЗ РАЗЛОЖИВШЕГОСЯ DDOC_m

$$CH_4 \text{ образованный}_T = DDOC_m \text{ decomp}_T \cdot F \cdot 16/12$$

Где:

CH ₄ образованный _T	=	количество CH ₄ , образованного из нестойкого материала
DDOC _m decomp _T	=	CH ₄ , выработанный в год T, Гг
F	=	доля CH ₄ , по объему, в образованном на свалках газе (дробь)
16/12	=	соотношение молекулярного веса CH ₄ /C (соотношение)

Дальнейшие детали по вопросу исследования ЗПП и объяснения различий в подходах в предыдущих версиях руководства (МГЭИК, 1997; МГЭИК, 2000) приводятся в приложении 3А.1.

ПРОСТАЯ МОДЕЛЬ ТАБЛИЧНЫХ РАСЧЕТОВ ЗПП

Простая модель табличных расчетов ЗПП (*модель МГЭИК по отходам*) была получена на основе представленных выше уравнений 3.4 и 3.5. Табличные расчеты содержат промежуточную сумму количества нестойкого DOC на свалках, принимая во внимание количество помещаемых каждый год отходов и количество отходов, оставшихся с прошлых лет. Эти данные используются при расчете количества DOC, разлагающегося каждый год на CH₄ и CO₂.

Табличные расчеты также позволяют определить временную задержку между помещением отходов и началом образования CH₄. С помощью чего можно представить время, принятое за реальное для образования CH₄ из удаленных на свалке отходов (см. раздел 3.2.2 и приложение 3А.1).

Модель рассчитывает количество CH₄, образованного из DDOC_m, и для определения выброшенного в атмосферу количества CH₄, вычитает рекуперированный CH₄ и CH₄, окисленный в материале для укрытия (см. уравнения в приложении 3А.1).

Модель МГЭИК по отходам предоставляет два варианта определения выбросов из КТО, которые могут быть использованы в зависимости от имеющихся данных о деятельности. Первый вариант – это многофазовая модель, которая основывается на **данных по образованию отходов**. Количество разлагающихся отходов каждого вида в КТО (пищевых, отходов, образующихся в садах и парках³, бумажных и картонных, древесных, текстильных и др.) введены отдельно. Второй вариант – это однофазовая модель, которая основывается на **крупногабаритных отходах (КТО)**. Выбросы, образованные из промышленных отходов и отстоя, определяются похожим способом и для крупногабаритных КТО. Страны, которые предпочитают использовать модель табличных расчетов, могут использовать либо вариант, основанный на данных по образованию отходов, либо на крупногабаритных отходах, в зависимости от уровня доступных данных. Когда состав отходов является относительно устойчивым, оба варианта приводят к похожим результатам. Однако, когда в составе отходов происходят резкие изменения, то данные варианты могут привести к различным результатам. Например, изменения в практике обращения с отходами, такие, как запрет на удаление пищевых отходов или разлагающихся органических материалов, могут привести к резким изменениям в составе отходов, помещенных на СТО.

Оба варианта могут быть использованы для оценки углерода в заготовленных лесоматериалах (ЗЛ), которые в течение длительного периода хранятся на СТО (см. том 4, главу 12 (Заготовленные лесоматериалы)). В случае, когда национальные данные по крупногабаритным отходам не доступны, *эффективная практика* заключается в использовании в табличных расчетах варианта, основанного на составе отходов, с применением предоставленных МГЭИК данных по умолчанию для состава отходов.

³ В американском варианте английского языка «садовые» отходы могут также называться «дворовыми».

В модели табличного расчета отдельные значения для DOC и периода полураспада могут быть введены для каждой категории отходов, а при использовании варианта, основанного на составе отходов, также для каждого вида/материала отходов. Согласно предположениям период полураспада может считаться одинаковым для всех категорий и/или видов отходов. Первый подход подразумевает, что разложение различных видов/материалов отходов на СТО никак не зависит друг от друга; второй подход подразумевает, что разложение всех видов отходов полностью зависит друг от друга. На момент написания данных *Руководящих принципов*, не существовало никаких доказательств того, что один подход лучше другого (см. раздел 3.2.3, Период полураспада).

Табличные расчеты вычисляют количество CH_4 , образованного из каждого компонента отходов в различных рабочих листах. Поправочный коэффициент для метана (MCF – см. раздел 3.2.3) вводится в качестве средней взвешенной для всех свалок в стране. MCF может варьироваться в зависимости от времени принятия во внимание изменений в практике обращения с отходами (таких как переход на более контролируемые СТО или более глубокие свалки). Наконец, количество CH_4 , образованного из каждой категории отходов и вида отходов/материала суммируется, а для определения всех выбросов CH_4 , количество рекуперированного CH_4 и подвергнутого окислению в укрывочном материале CH_4 вычитаются (если возможно). Для варианта, основанного на крупногабаритных отходах, DOC может пониматься как средняя взвешенная для КТО.

Модель табличного расчета чаще всего используется в методе уровень 1, однако может быть адаптирована для использования в других уровнях. Для уровня 1 модель табличных расчетов может определить данные о деятельности исходя из данных о населении и данных по удалению отходов на душу населения (для КТО) и ВВП (для промышленных отходов), для дополнительных указаний см. раздел 3.2.2. При использовании подходов уровень 2 и 3, страны могут увеличить модель табличных расчетов для соответствия требованиям или создания своих собственных моделей. В случае необходимости модель табличного расчета может быть увеличена на несколько листов для расчета выбросов CH_4 . MCF, OX и DOC для крупногабаритных отходов могут быть внесены для внесения изменений со временем. Такие же изменения могут быть внесены и для других параметров, таких как DOC_f . Для новых периодов полураспада могут потребоваться новые расчетные листы для оценки CH_4 . Страны, располагающие достаточными данными по промышленным отходам могут добавить новые расчетные листы для оценки выбросов CH_4 для различных видов промышленных отходов. Когда модель табличных расчетов подвергается изменениям или используются применимые к конкретным странам модели, ключевые допущения и параметры должны быть отчетливо задокументированы. Детальные сведения по использованию модели табличных расчетов могут быть найдены в информационной таблице.

Модель можно скопировать с CDROM *Руководящие принципы, 2006 г.* или загрузить с веб-сайта МГЭИК, расположенного по адресу <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/> >.

Моделирование различных географических и климатических регионов

Возможно проведение оценки образования CH_4 в различных географических регионах страны. Например, если в стране есть регионы с жарким и влажным климатом и регионы с жарким и сухим климатом, уровень распада будет различным для каждого региона.

Рассмотрение различных категорий отходов

Некоторые пользователи могут обнаружить, что их национальные статистические данные по отходам не совпадают с категориями, используемыми в модели (пищевые, отходы, образующиеся в садах и парках, бумажные и картонные, текстильные и другие виды отходов, а также промышленные отходы). В таком случае необходимо изменить модель табличных расчетов, чтобы она соответствовала категоризации, использованной в конкретной стране, или переклассифицировать в категории МГЭИК применимые к конкретным странам виды отходов. Например, одежда, шторы и ковры включены в текстильные отходы, кухонные отходы схожи с пищевыми отходами, а солома и бамбук схожи с древесными отходами. Национальные статистические данные могут содержать категорию, именуемую, как уличный мусор. Пользователь должен определить состав данного вида отходов. Например, он может включать 50 процентов неактивных материалов, 10 процентов пищевых отходов, 30 процентов бумажных отходов и 10 процентов отходов, образующихся в садах и парках. Категория уличных отходов может разделяться на данные категории МГЭИК и может быть добавлена к отходам уже содержащимся в данных категориях. Также мебель может быть распределена на древесные отходы, пластмассовые или металлические отходы, а электронные приборы на металлические, пластиковые и стеклянные отходы. Все вышеперечисленные изменения могут быть отображены на отдельном рабочем листе, подготовленном составителем кадастра.

Приведение в соответствие состава отходов в момент образования с составом отходов на СТО

Пользователь должен установить соотносятся ли национальные статистические данные по составу отходов с составом произведенных отходов или с отходами, полученными на СТО. Представленные здесь статистические данные по умолчанию по составу отходов являются данными по составу образованных отходов, а не данными по отходам, удаленным на СТО. В случае необходимости состав отходов должен быть приведен в соответствие с тем, чтобы учитывать воздействия процессов переработки или компостирования на состав отходов, отправленных на СТО. Наилучшим вариантом является создание составителем кадастра отдельных табличных расчетов с целью определения количества полученного отходного материала, затем вычитание оценочных значений количества каждого переработанного отходного материала, подвергшегося инсинерации или компостированию и определение нового состава остаточных отправленных на СТО отходов.

Открытое сжигание отходов на СТО

Открытое сжигание отходов на СТО является распространенной практикой во многих развивающихся странах. Количество отходов (и DDOCm) доступных для разложения на СТО должно быть приведено в соответствие с количеством сжигаемых отходов. В главе 5 приводятся методики определения количества сжигаемых отходов. Оценка выбросов со СТО должна согласовываться с оценкой для отходов, подвергшихся открытому сжиганию на свалках.

3.2.2 Выбор данных о деятельности

Данные о деятельности состоят из данных по образованию для крупногабаритных отходов или по компонентам отходов и доли отходов, удаленных на СТО. Образование отходов является результатом уровня образования отходов на душу населения (тонн/на человека/год) для каждого компонента и населения (на человека). В главе 2 приводится руководство по сбору данных по образованию и составу отходов, а также практики управления ими. Региональные значения по умолчанию для КТО зафиксированы в таблице 2.1 для определения уровня образования и доли удаленных на СТО отходов, а в таблице 2.3 для определения состава отходов. Данные по умолчанию для промышленных отходов содержатся в таблице 2.2. Для достижения точных оценочных значений выбросов в национальных кадастрах, зачастую необходимо включать данные по удалению твердых отходов (количество и состав) для 3-5 периодов полураспада (см. раздел 3.2.3) удаленных на СТО отходов и характеристики различных периодов полураспада для разных компонентов потока отходов или крупногабаритных отходов по типу СТО (МГЭИК, 2000). Изменения в практике обращения с отходами (например, укрытие/кэппирование свалок, улучшение сточных дренажных систем, уплотнение и установление запрета на удаление опасных отходов вместе с КТО) также должны приниматься во внимание при составлении исторических данных.

Методы ЗПП предусматривают наличие данных по удалению твердых отходов (количество и состав), собранных по умолчанию в течение 50 лет. Странам, не располагающим историческими статистическими данными, или аналогичными данными по удалению твердых отходов за 50 лет или более, потребуется оценить эти данные с помощью использования суррогатов (экстраполяция с народонаселением, экономические и другие параметры). Выбор метода будет зависеть от доступных в стране данных.

Для стран, использующих данные по умолчанию по удалению КТО в землю, или стран, чьи собственные данные не покрывают период последних 50 лет, отсутствующие исторические данные могут быть оценены пропорционально городскому населению.⁴ (или общему населению, когда исторические данные по городскому населению не известны, либо в тех случаях, когда сбор отходов покрывает все население). Для стран, располагающих национальными данными по образованию КТО, практикам управления и составу за последние 2 года (уровень 2 ЗПП), рекомендуется провести анализы параметров по удалению твердых отходов. Исторические данные могут быть пропорциональны экономическим показателям или сочетанию показателей населения и экономики. Экстраполярные тенденции также могут иметь хорошие результаты. В анализе необходимо учитывать политику обращения с отходами, направленную на уменьшение образования отходов и на продвижение альтернатив для удаления твердых отходов. Данные по промышленному производству (количество или объем продукции, предпочтительно в соответствии с видом производства, в зависимости от доступности данных) рекомендуются в качестве суррогата для проведения оценки удаления промышленных отходов (уровень 2). В том случае, когда данные по производству недоступны, историческое удаление промышленных отходов может быть оценено

⁴ Выбор между городским населением и общей численностью населения должен руководствоваться охватом сбора отходов. Когда данные по охвату сбора отходов не доступны, рекомендуется использование в качестве показателя городского населения.

пропорционально ВВП или другим экономическим показателям. ВВП используется в качестве показателя в методе уровня 1.

Исторические данные по городскому населению (или общему населению), ВВП (или другие экономические показатели) и статистика по промышленному производству могут быть получены из национальных статистических данных. Международные базы данных могут помочь, когда национальные данные не доступны, например:

- данные о населении (1950 г., далее с интервалом в пять лет) могут быть найдены в статистике ООН;
- данные о ВВП (с 19970 г., ежегодные данные по текущим ценам в национальной валюте) можно найти в статистике ООН (см. <http://unstats.un.org/unsd/snaama/selectionbasicFast.asp>).

Для периода времени, когда данные не были доступны, можно применять интерполирование и экстраполирование.

В литературе были предложены альтернативные методы, которые можно использовать в том случае, когда с их помощью можно установить более точные значения, чем с помощью предложенных выше методов по умолчанию.

Выбор метода и его заменителя, а также мотивировка выбора, должны быть четко зафиксированы в кадастре. Более детальное описание использования заменителя метода, интерполирования и экстраполирования в качестве средств получения отсутствующих данных приводится в главе 6 (Согласованность временного ряда) тома 1.

3.2.3 Выбор коэффициентов выбросов и параметров

СПОСОБНЫЙ К РАЗЛОЖЕНИЮ ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД (DOC)

Способный к разложению органический углерод (DOC) – это органический углерод в отходах, который подвержен биохимическому разложению и который следует выражать в виде Гг С на Гг отходов. Оценка DOC в крупногабаритных отходах основывается на составе отходов и его количество может быть рассчитано по средней взвешенной содержания способного к разложению углерода в различных компонентах (виды отходов/материал) общего потока отходов. Оценка DOC проводится по приведенному ниже уравнению с использованием значений содержания углерода по умолчанию:

УРАВНЕНИЕ 3.7
ОЦЕНКА DOC С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗНАЧЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА ПО УМОЛЧАНИЮ

$$DOC = \sum_i (DOC_i \cdot W_i)$$

Где:

- DOC = доля способного к разложению органического углерода в крупногабаритных отходах, Гг С/Гг отходов
- DOC_i = доля способного к разложению органического углерода в типе отходов *i*
например, значение по умолчанию для бумаги – 0,4 (на основе влажного веса)
- W_i = доля типа отходов *i* по категории отходов
например, значение по умолчанию для бумаги в КТО в Восточной Азии – 0,188 (на основе влажного веса)

Значения содержания углерода по умолчанию для этих долей в КТО можно найти в таблице 2.4, в главе 2 данного тома. Похожий подход может быть использован для оценки содержания DOC во всех отходах, удаленных в стране. В модели табличного расчета оценка DOC в КТО необходима только для *опции крупногабаритных отходов* и является средним DOC для КТО, удаленных на СТО, включая неактивные материалы.

Неактивная часть отходов (стекло, пластик, металл и другие неразлагающиеся отходы, см. значения в таблице 2.3, глава 2) является значимой при определении общего количества DOC в КТО. Поэтому не рекомендуется использовать данные МГЭИК по умолчанию относительно образования отходов вместе с

применимыми к конкретным странам данными по удалению КТО без предварительной проверки того, что неактивная часть отходов приблизительно соответствует неактивной части в данных МГЭИК по умолчанию.

При наличии необходимых данных рекомендуется использовать применимые к конкретным странам значения. Значения для конкретных стран могут быть получены с помощью проведения исследований образования отходов и взятия проб со СТО наряду с анализом содержания способного к разложению углерода внутри определенной страны. В случае использования национальных значений следует заносить в отчеты даты проведения исследований и результаты взятия проб (см. раздел 3.2.2 для данных о деятельности и раздел 3.8 для отчетности).

ДОЛЯ ФАКТИЧЕСКИ РАЗЛОЖИВШЕГОСЯ СПОСОБНОГО К РАЗЛОЖЕНИЮ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА (DOC_F)

Доля фактически разложившегося способного к разложению органического углерода (DOC_F) – это оценочное значение той доли углерода, которая практически разложилась и высвободилась из СТО; в этой оценке находит отражение тот факт, что некоторая часть органического углерода под воздействием анаэробных условий на СТО не разлагается или разлагается очень медленно. Рекомендуемое значение по умолчанию для DOC_F соответствует 0.5 (допуская, что среда на СТО является анаэробной и значение DOC включают лигнин, для значений по умолчанию DOC, см. таблицу 2.4, глава 2) (Oonk and Boom, 1995; Bogner and Matthews, 2003). Значение DOC_F зависит от многих факторов, таких как температура, влажность, pH, состав отходов и др. Национальные значения DOC_F или значения из схожих стран могут быть использованы для DOC_F, однако они должны быть основаны на хорошо задокументированном исследовании.

Количество DOC, выщелоченного из СТО не учитывается при оценке DOC_F. В основном количество DOC, утраченное при выщелачивании, не превышает 1 процента и может быть опущено при проведении расчетов.⁵

Методологии более высокого уровня (уровень 2 или 3) также должны использовать отдельные значения DOC_F, полученные для различных видов отходов. По данному вопросу существует несколько источников, раскрывающих сведения об анаэробной разлагаемости (DOC_F) в соответствии с видом материала (Barlaz, 2004; Micales & Skog, 1997; US EPA, 2002; Gardner *et al.*, 2002). Указанная разлагаемость, в особенности для древесины, варьируется в широких пределах и пока еще является довольно неуверительной. Также разлагаемость может изменяться в зависимости от породы древесины. Различные значения DOC_F для определенных видов отходов предполагают допущение того, что разлагаемость различных видов отходов не зависит от его типа. Далее будет установлено, что относительно «периода полураспада» научные знания в настоящее время написания данных *Руководящих принципов* не являются окончательными по данному аспекту.

Следовательно, использование значений для DOC_F в соответствии с типом отходов может привести дополнительную неопределенность при оценке в тех случаях, когда данные по составу отходов основываются на значениях по умолчанию, моделировании или значениях, базирующихся на экспертной оценке. И поэтому, *эффективная практика* заключается в использовании характерных для определенных типов отходов значений DOC_F только в том случае, когда данные по составу отходов основываются на репрезентативном взятии проб и анализе.

ПОПРАВОЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ МЕТАНА (MCF)⁶

Практики удаления отходов различаются в зависимости от контроля, расположения отходов и управления свалкой. Поправочный коэффициент для CH₄ (MCF) применяется в связи с тем фактом, что неконтролируемые СТО выбрасывают в атмосферу меньше CH₄ из какого-либо определенного количества отходов, чем контролируемые анаэробные СТО. На неконтролируемых СТО более крупная доля отходов разлагается аэробным способом в верхних слоях. На неконтролируемых СТО с глубоким размещением отходов и/или высоким уровнем грунтовых вод, доля аэробно разлагаемых отходов должна быть меньше, чем на СТО с неглубоким размещением отходов. Полуаэробные контролируемые СТО

⁵ В странах с высоким уровнем осадков, количество DOC теряется, так как выщелачивание может быть выше. В Японии, где уровень осадков является высоким, на СТО с высокой степенью проникновения выщелачивается значительное количество DOC (иногда более 10 процентов углерода на СТО) (Matsufuji *et al.*, 1996).

⁶ Термин «поправочный коэффициент для метана» (MCF) в данном контексте нельзя путать с коэффициентом преобразования метана (MCF), упоминаемым в секторе «Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования» для выбросов, образующихся в результате ведения животноводческого хозяйства, хранения и использования навоза.

управляются пассивно для того, чтобы воздух проник в слой отходов для создания полуаэробных условий на СТО. MCF по отношению к практике управления твердыми отходами предназначен для определенной области и должен восприниматься как поправочный коэффициент практики управления отходами, отображающий аспект управления, который он охватывает.

MCF относится к каждой из четырех категорий, приведенных в таблице 3.1. Значение по умолчанию приводится для стран, в которых количество удаленных на каждую СТО отходов не известно. Классификация страной своих свалок на управляемые и неуправляемые может изменяться в течение нескольких лет, так как там обеспечивается выполнение национальных мер по обращению с отходами.

Доля твердых отходов, удаленных на СТО (SW_F) и MCF отображают способ управления отходами и влияние структуры свалки и практики управления на образование CH_4 . Методология предполагает, чтобы страны предоставили данные или оценочные значения количества отходов, удаленных на свалках твердых отходов, попадающих под каждую из четырех категорий (Таблица 3.1). Только в том случае, когда страны не могут классифицировать свои СТО на четыре категории управляемых и неуправляемых СТО, можно использовать MCF для «СТО вне категории».

Таблица 3.1 Классификация СТО и поправочные коэффициенты для метана (MCF)	
Тип свалки	Поправочный коэффициент для метана (MCF), Значения по умолчанию
Контролируемая - анаэробная	1,0
Управляемая – полу-анаэробная ²	0,5
Неконтролируемая ³ – глубокая (>5 м отходов) и/или с высоким уровнем грунтовых вод	0,8
Неконтролируемые ⁴ – неглубокие (<5 м отходов)	0,4
СТО вне категории ⁵	0,6

¹ **Анаэробные контролируемые свалки твердых отходов:** На данном виде свалок должны присутствовать находящиеся под контролем места для удаления отходов (т.е., отходы отправляются на специально подготовленные площадки, на которых в той или иной мере имеются контролируемая «продувка» отходов и контролируемая защита от возгорания) и при этом должно соблюдаться хотя бы одно из перечисленных условий: (i) отходы чем-либо укрываются, (ii) осуществляется их механическая спрессовка, или (iii) или отходы укрываются послойно.

² **Полуанаэробные контролируемые свалки твердых отходов:** На данном виде свалок необходимо наличие находящихся под контролем мест для удаления отходов и при этом должно соблюдаться хотя бы одно их перечисленных условий: (i) отходы укрываются негерметичным материалом, (ii) имеются сточные дренажные системы, и (iii) вентиляционные системы.

³ **Неконтролируемые свалки твердых отходов – глубокие и/или с высоким уровнем грунтовых вод:** Все СТО не соответствующие критериям управляемых СТО, и на которых глубина отходов превышает или равна 5 метрам и/или имеется высокий уровень грунтовых вод в верхнем уровне земли. В дальнейшем ситуация соотносится к заполнению отходами внутренних вод, таких как пруды, реки или заболоченные территории.

⁴ **Неконтролируемые неглубокие свалки твердых отходов.** Все СТО, не соответствующие критериям управляемых СТО и глубина которых не превышает 5 метров.

⁵ **Свалки твердых отходов вне категории:** Только в том случае, когда страны не могут классифицировать свои СТО на четыре категории управляемых и неуправляемых СТО, можно использовать MCF для «СТО вне категории».

Источники: МГЭИК (2000); Matsufuji *et al.* (1996)

ДОЛЯ CH_4 В ГАЗЕ, ОБРАЗОВАННОМ НА СВАЛКАХ (F)

Большинство отходов на СТО образуют газ с приблизительным 50-и процентным содержанием CH_4 . Только материалы, включающие в свой состав значительное количество жира и масла, могут производить газ с содержанием CH_4 в размере более 50 процентов. Поэтому использование значений МГЭИК по умолчанию для доли CH_4 в газах со свалок (0,5) всячески приветствуется.

Долю CH_4 в образованном газе со свалок нельзя путать с измерением CH_4 в газе, выброшенном со СТО. На СТО CO_2 поглощается фильтрационными водами, а нейтральные условия на СТО преобразовывают большинство поглощенного CO_2 в бикарбонат. Поэтому, *эффективная практика* заключается в урегулировании поглощаемости CO_2 в фильтрационных водах, если доля CH_4 в газе со свалок основывается на измерениях концентрации CH_4 , полученных путем оценки газа со свалок, выброшенного со СТО (Bergman, 1995; Kämpfer and Weissenfels, 2001; МГЭИК, 1997).

КОЭФФИЦИЕНТ ОКИСЛЕНИЯ (ОХ)

Рекуперированное количество метана (ОХ) отражает количество CH_4 образовавшееся на СТО, которое окисляется в почве или в другом материале, покрывающем отходы.

Окисление CH_4 происходит с помощью метанотрофных микроорганизмов в поверхностных слоях и может варьироваться от пренебрежимо малого процента до 100 процентов произведенного CH_4 . Толщина, физические свойства и содержание влаги в поверхностных слоях напрямую влияют на окисление CH_4 (Bogner and Matthews, 2003).

Исследования показывают, что на организованных, хорошо управляемых СТО уровень окисления выше, чем на неуправляемых свалках. Коэффициент окисления на свалках, покрытых толстым и хорошо проветриваемым материалом, может в значительной степени отличаться от коэффициента на свалках, не имеющих никакого покрытия, или на свалках, где большие количества CH_4 просачиваются через трещины в покрытии.

Результаты полевых и лабораторных измерений концентраций и потоков выбросов CH_4 и CO_2 , определяющих окисление CH_4 из единообразных и однородных слоев почвы не следует использовать напрямую для определения коэффициента окисления, так как в реальной действительности, только часть образовавшегося CH_4 диффундирует сквозь такой однородный слой. Другая часть просачивается через трещины или диффундирует в боковых направлениях без окисления. Соответственно, пока пространственная напряженность измерений является достаточно широкой, а трещины/щели явным образом присутствуют, результаты полевых и лабораторных условий могут приводить к завышенным оценкам окисления в почвенном покрытии свалок.

Значение по умолчанию для окисления CH_4 соответствует нулю. Смотри таблицу 3.2. Использование коэффициента окисления в 0,1 оправдано для покрытых, хорошо контролируемых свалок, как для определения проникновения сквозь укрывочный материал и просачивание через трещины/щели. Использование значения окисления выше 0,1 следует четко документировать и обосновывать справочными данными, а также данными, схожими с национальными условиями. Важно помнить о том, что любые количества CH_4 , которые были рекуперированы, должны вычитаться из общего образовавшегося количества до того, как будет применен коэффициент окисления.

Тип свалки	Коэффициент окисления (ОХ) Значения по умолчанию
Управляемая ¹ , неуправляемая и СТО вне категории	0
Управляемая, укрытая CH_4 окисляющим материалом ²	0,1
¹ Управляемые, но не укрытые проветриваемым материалом	
² Примеры: почва, компост	

ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА

Значение полураспада $t_{1/2}$ является временем, взятым для DOCm в отходах для разложения до половины его первичной массы. В модели ЗПП и уравнениях в данном томе используется постоянная реакции k . Отношения между k и $t_{1/2}$ таковы: $k = \ln(2)/t_{1/2}$. Полураспад подвергается воздействию широкого спектра факторов, связанных с составом отходов, климатическими условиями на участке, на котором расположена СТО, характеристикой СТО, практикой обращения с отходами и другими факторами (Pelt *et al.*, 1998; Environment Canada, 2003).

Значение полураспада, применимое к любой СТО обусловлено большим количеством факторов, связанных с составом отходов и условиями на свалке. Последние исследования содержат больше данных по полураспаду (экспериментальных или полученных с помощью моделей), однако полученные результаты основываются на характеристиках, используемых в развитых странах с умеренным климатом. Лишь некоторые доступные результаты отражают характеристики развивающихся стран и стран с тропическим климатом. Измерения со СТО в Аргентине, Новой Зеландии, Соединенных Штатах, Объединенном Королевстве и Нидерландах поддерживают значения для $t_{1/2}$ в диапазоне приблизительно от 3 до 35 лет (Oonk and Boom, 1995; USEPA, 2005; Scharff *et al.*, 2003; Canada, 2004; and Argentina, 2004).

Самый быстрый показатель ($k = 0.2$, или период полураспада, составляющий приблизительно 3 года) связаны с условиями высокой влажности и быстрой разлагаемостью материала, такого как пищевые отходы. Самый медленный показатель ($k = 0.02$, или период полураспада, составляющий приблизительно 35 лет) связаны с сухим климатом с и медленной разлагаемостью материалов, таких как древесные и бумажные отходы. Самый длительный полураспад в течении 70 лет или выше может быть оценен для неглубоких сухих СТО, расположенных в умеренной климатической зоне или для древесных отходов в сухой климатической зоне. Полураспад длительность менее 3 лет может соответствовать управляемым СТО с влажным умеренным климатом или быстрой разлагаемостью отходов во влажном тропическом климате. Составителю кадастра рекомендуется установить значения полураспада применимые для конкретных стран. Опыт в данной области на сегодняшний день и ограниченность данных сдерживают развитие методологии по умолчанию для оценки полураспада, основанных на полевых данных со СТО.

Существует два альтернативных подхода, чтобы выбрать период полураспада (или k) для проведения расчетов: (а) рассчитайте среднюю взвешанную для $t_{1/2}$ для смешанных КТО (Jensen and Pipatti, 2002) или (b) разделите поток отходов на категории отходов в соответствии с их скоростью разложения (Brown *et al.*, 1999). Первый подход предполагает, что разложение различных типов отходов полностью зависит друг от друга. И поэтому распад древесных отходов увеличен по причине наличия пищевых отходов, а распад пищевых отходов снижен из-за древесных отходов. Второй подход предполагает, что разложение различных видов отходов не зависит друг от друга. Древесина разлагается как древесина, независимо от ее хранения на неактивной СТО или на свалке, содержащей большое количество отходов, разлагающихся с более высокой скоростью. В действительности, истина скорее всего будет где-то посередине. Однако существует небольшое исследование, проведенное для установления того, какой из подходов является лучшим (Oonk and Boom, 1995; Scharff *et al.*, 2003). В результате данное исследование не содержит каких-либо неоспоримых доказательств. Два варианта модели табличных расчетов МГЭИК применяют два упомянутых выше подхода для выбора полураспада в следующем порядке:

Вариант крупногабаритных отходов. Вариант крупногабаритных отходов предусматривает альтернативный подход (а) и подходит для стран не располагающих данными или располагающих ограниченными данными по составу отходов, однако имеющими достаточную информацию по крупногабаритным отходам, удаленным на СТО. Значения по умолчанию определяются в качестве функции климатической зоны.

Вариант состава отходов. Вариант состава отходов предполагает использование подхода (b) и может применяться странами, располагающими данными по составу отходов. Особенности полураспада ($t_{1/2}$) каждого компонента потока отходов (МГЭИК, 2000) необходимы для достижения приемлемых точных вариантов.

Для обоих вариантов значения полураспада по умолчанию определяются как функция климатической зоны. Основные допущения и расчеты, которые были приняты:

- состав отходов (в особенности органический компонент) является одним из наиболее важных факторов, влияющих, как на количество, так и на сроки образования CH_4 ;
- содержание влаги на СТО является существенным элементом анаэробного разложения и образования CH_4 ; упрощенный метод предполагает, что содержание влаги на СТО пропорционально среднегодовой норме осадков (МАР) на участках СТО (Pelt *et al.*, 1998; U.S. EPA, 1998; Environment Canada, 2003) или соотношению МАР и потенциальной эвапотранспирации (PET);
- предел, по которому температура атмосферного воздуха влияет на температуру СТО, а уровень образования газа во многом зависит от уровня практики обращения с отходами и глубины СТО;
- отходы на неглубоких открытых свалках в основном разлагаются аэробным способом и вырабатывают небольшое количество CH_4 , а выбросы уменьшаются за более короткий период времени, чем в анаэробных условиях; на управляемых (а также на глубоких неуправляемых) СТО создаются анаэробные условия.

Страны могут установить специальные значения полураспада (или значения k), которые больше подходят для их условий и характеристик. *Эффективная практика* заключается в том, чтобы страны, которые устанавливают свои собственные значения полураспада, фиксировали порядок проведения применимых к ним испытаний.

Значения по умолчанию k и соответствующий период полураспада приводятся ниже в таблице 3.3 и таблице 3.4.

ТАБЛИЦА 3.3									
РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ЗНАЧЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ МЕТАНА ПО УМОЛЧАНИЮ (k) В РАМКАХ УРОВНЯ 1									
(Установлено из значений k , полученных в экспериментальных измерениях, рассчитанных по моделям или использованных в кадастрах парниковых газов и других исследованиях)									
Тип отходов		Климатическая зона*							
		Арктическая и умеренная (MAT ≤ 20°C)				Тропическая ¹ (MAT > 20°C)			
		Сухая (MAP/PET < 1)		Влажная (MAP/PET > 1)		Сухая (MAP < 1000 мм)		Сухая и влажная (MAP ≥ 1000 мм)	
		По умолча нию	Диапазон ²	По умолча нию	Диапазон ²	По умолч анию	Диапазон ²	По умолча нию	Диапазон ²
Медленно разлага ющиеся отходы	Бумажные/ текстильные отходы	0,04	0,03 ^{3,5} – 0,05 ^{3,4}	0,06	0,05 – 0,07 ^{3,5}	0,045	0,04 – 0,06	0,07	0,06 – 0,085
	Древесные отходы/ солома	0,02	0,01 ^{3,4} – 0,03 ^{6,7}	0,03	0,02 – 0,04	0,025	0,02 – 0,04	0,035	0,03 – 0,05
Умеренно разлага ющиеся отходы	Другие (непищевые) органические подверж. гниению/ отходы, образующие ся в садах и парках	0,05	0,04 – 0,06	0,1	0,06 – 0,1 ⁸	0,065	0,05 – 0,08	0,17	0,15 – 0,2
Быстро разлага ющиеся отходы	Пищевые отх./отстой сточных вод	0,06	0,05 – 0,08	0,185 ⁴	0,1 ^{3,4} – 0,2 ⁹	0,085	0,07 – 0,1	0,4	0,17 – 0,7 ¹⁰
Крупногабаритные отходы		0,05	0,04 – 0,06	0,09	0,08 ⁸ – 0,1	0,065	0,05 – 0,08	0,17	0,15 ¹¹ – 0,2

¹ Доступная информация по определению k и полураспада в тропических условиях ограничена. Значения, включенные в данную таблицу характерны для таких условий и в основном были получены из ориентировочных расчетов, которые описаны в тексте и значений, полученных для умеренных условий.

² Диапазон относится к минимальным и максимальным данным, содержащимся в литературе или подвергшимся оценке авторами данной главы. В основном диапазон включен для того, чтобы описать неопределенности, связанные со значениями по умолчанию.

³ Oonk and Boom (1995).

⁴ МГЭИК (2000).

⁵ Brown *et al.* (1999). При медленном разложении было использовано ближайшее значение (16 лет), при проверке адекватности модели ГазСим (Attenborough *et al.*, 2002).

⁶ Министерство по охране окружающей среды Канады (2003).

⁷ В данном диапазоне зафиксированы более длительные значения периода полураспада (до 231 года), которые не были включены в таблицу, так как они были получены из очень низких значений k , использованных на свалках со средней ежедневной температурой < 0°C (Levelton, 1991).

⁸ Определено из RIVM (2004).

⁹ Значения, используемые при быстром разложении при проверке адекватности модели ГазСим (Attenborough *et al.*, 2002).

¹⁰ Определено в работах Jensen and Pipatti (2003).

¹¹ Принимая $t/2 = 4 - 7$ лет за характерное значение для большинства развивающихся стран с тропическим климатом. Условия с высокой влажностью и быстро разлагающиеся отходы.

* Установлено из: главы 3 в РУЭП-ЗИЗЛХ (МГЭИК, 2003).

MAT – среднегодовая температура; MAP – среднегодовая норма осадков; PET – потенциальная эвапотранспирация.

MAP/PET – соотношение MAP к PET. Среднегодовые MAT, MAP и PET во временных рядах должны быть выбраны для проведения оценки выбросов и должны быть указаны ближайшей уполномоченной метеорологической станцией.

ТАБЛИЦА 3.4									
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПО УМОЛЧАНИЮ ПЕРИОДА ПОЛУРАСПАДА ($T_{1/2}$) В РАМКАХ УРОВНЯ 1									
(Установлено из значений k , полученных в экспериментальных измерениях, рассчитанных по моделям или использованных в кадастрах парниковых газов и других исследованиях)									
Тип отходов		Климатическая зона*							
		Арктическая и умеренная (MAT $\leq 20^\circ\text{C}$)				Тропическая ¹ (MAT $> 20^\circ\text{C}$)			
		Сухая (MAP/PET < 1)		Влажная (MAP/PET > 1)		Сухая (MAP < 1000 мм)		Сухая и влажная (MAP ≥ 1000 мм)	
		По умолча нию	Диапа- зон ²	По умолча нию	Диапа- зон ²	По умолча нию	Диапаз- он ²	По умолча нию	Диапазон ²
Медленно разлагающи- еся отходы	Бумажные/ текстильные отходы	17	14 ^{3,5} – 23 ^{3,4}	12	10 – 14 ^{3,5}	15	12 – 17	10	8 – 12
	Древесные отходы/ солома	35	23 ^{3,4} – 69 ^{6,7}	23	17 – 35	28	17 – 35	20	14 – 23
Умеренно разлагающи- еся отходы	Другие (непищевые) органические подверж. гниению/ отходы, образующие- ся в садах и парках	14	12 – 17	7	6 – 9 ⁸	11	9 – 14	4	3 – 5
Быстро разлагающи- еся отходы	Пищевые отходы/ отстой сточных вод	12	9 – 14	4 ⁴	3 ^{3,4} – 6 ⁹	8	6 – 10	2	1 ¹⁰ – 4
Крупногабаритные отходы		14	12 – 17	7	6 – 9 ⁸	11	9 – 14	4	3 – 5 ¹¹

¹ Доступная информация по определению k и полураспада в тропических условиях ограничена. Значения, включенные в данную таблицу характерны для таких условий и в основном были получены из ориентировочных расчетов, которые описаны в тексте и значений, полученных для умеренных условий.

² Диапазон относится к минимальным и максимальным данным, содержащимся в литературе или подвергшимся оценке авторами данной главы. В основном диапазон включен для того, чтобы описать неопределенности, связанные со значениями по умолчанию.

³ Oonk and Boom (1995).

⁴ МГЭИК (2000).

⁵ Brown *et al.* (1999). При медленном разложении было использовано ближайшее значение (16 лет), при проверке адекватности модели ГазСим (Attenborough *et al.*, 2002).

⁶ Министерство по охране окружающей среды Канады (2003).

⁷ В данном диапазоне зафиксированы более длительные значения периода полураспада (до 231 года), которые не были включены в таблицу, так как они были получены из очень низких значений k , использованных на свалках со средней ежедневной температурой $< 0^\circ\text{C}$ (Levelton, 1991).

⁸ Определено из RIVM (2004).

⁹ Значения, используемые при быстром разложении при проверке адекватности модели ГазСим (Attenborough *et al.*, 2002).

¹⁰ Определено в работах Jensen and Pipatti (2003).

¹¹ Принимая $t/2 = 4 - 7$ лет за характерное значение для большинства развивающихся стран с тропическим климатом. Условия с высокой влажностью и быстро разлагающиеся отходы.

* Установлено из: главы 3 в РУЭП-ЗИЗЛХ (МГЭИК, 2003).

MAT – среднегодовая температура; MAP – среднегодовая норма осадков; PET – потенциальная эвапотранспирация.

MAP/PET – соотношение MAP к PET. Среднегодовые MAT, MAP и PET во временных рядах должны быть выбраны для проведения оценки выбросов и должны быть указаны ближайшей уполномоченной метеорологической станцией.

РЕКУПЕРАЦИЯ МЕТАНА (R)

CH₄, образованный на СТО может быть рекуперирован и сожжен в факелах или для получения энергии. В уравнении 3,1 количество подвергнувшегося рекуперации CH₄ выражено с помощью R. В случае, когда рекуперированный газ используется с целью получения энергии, то образованные в результате сжигания выбросы парниковых газов следует заносить в отчеты в разделе «Энергетика». Тем не менее, выбросы при сжигании в факельных установках не являются значительными, так как выбросы CO₂ имеют биогенное происхождение, а выбросы CH₄ и N₂O очень малы, и поэтому *эффективная практика* сектора «Отходы» не предполагает их оценки. Однако если будет производиться оценка данных выбросов, то результаты должны быть учтены в секторе «Отходы». Рассмотрение выбросов, образующихся в результате сжигания, а также более подробные сведения, приводятся в томе 2 (Энергетика), глава 4.2. Выбросы при сжигании в факельных установках не обрабатываются с помощью метода уровня 1.

Значение по умолчанию для рекуперации CH₄ соответствует нулю. Рекуперация CH₄ должна быть задокументирована лишь в тех случаях, когда ссылки, фиксирующие рекуперацию CH₄ являются доступными. *Эффективной* практике соответствует подготовка отчетности, основанной на измерении всего газа, рекуперированного с целью получения энергии и сжигания в факелах, а также основанная на контроле количества полученного из газа электричества (учитывая доступность коэффициента нагрузки, теплотворной способности и соответствующего удельного расхода тепла, а также других факторов, оказывающих влияние на количество газа, которое было использовано для производства контролируемого количества электричества).

Оценка количества рекуперированного CH₄, использующая непрямые методы должна проводиться с большой осторожностью и с применением обоснованных допущений. Непрямые методы могут основываться на количестве СТО в стране со сбором CH₄ или на суммарной мощности утилизационного оборудования или объема сжигания газа в факелах.

При оценке рекуперации CH₄ на основании количества СТО с рекуперацией газа со свалок, оценочное значение коэффициента рекуперации по умолчанию составит 20 процентов. Это значение рекомендуется в связи со многими неопределенностями при использовании данной методологии. В проектах по рекуперации газа были проведены измерения показателей эффективности, и зафиксированные результаты определены от 10 до 85 процентов (Oonk and Boom, 1995) для закрытых СТО, и от 10 до 80 процентов для открытых; среднее значение по 11 СТО составило 37 процентов. Позже (Scharff *et al.*, 2003) были замерены показатели эффективности на четырех свалках, и составили 9%, 50%, 55% и 33%. В недавних работах Spokas *et al.* (2006) и Diot *et al.* (2001) отмечены показатели, превышающие 90%. В общем, высокие показатели эффективности рекуперации можно отнести к СТО закрытого типа, с пониженными потоками газов, управляемой рекуперацией и с более плотными и менее проницаемыми покрытиями. Низкую эффективность можно отнести к свалкам с большими участками, все еще находящимися в эксплуатации, и с временными, например, песочными, покрытиями.

Можно использовать конкретные для страны значения, однако при этом потребуется провести значительные исследования, для того, чтобы выяснить влияние на рекуперацию следующих параметров, таких как: тип покрытия, процент СТО, охваченных проектом рекуперации, наличие прокладок, открытый или закрытый тип, и др.

Когда количество рекуперированного CH₄ основывается на общей пропускной способности перерабатывающего оборудования или объеме сжигания газа в факелах, необходимо приложить все усилия для того, чтобы установить какое оборудование все еще функционирует. Консервативная оценка количества образовавшегося CH₄ может основываться на инвентаризации минимальной пропускной способности действующего перерабатывающего оборудования и факелов. Другой консервативный подход служит для определения общей рекуперации в качестве 35 процентов установленной пропускной способности. Основываясь на исследованиях, проведенных в Голландии и США (Oonk, 1993; Scheehle, 2006), рекуперированное количество варьируется в пределах от 35 до 70 процентов от коэффициента использования производственных мощностей.

Причины такого диапазона включают: (i) рабочие часы от 95 до 80 процентов, из-за проблем технического обслуживания; (ii) переоценка объемов производства газа, и, как следствие, избыточная мощность оборудования; (iii) резервные факелы, как правило, не работают. Более высокая интенсивность уже требует учета этих факторов при оценке производительности. Если страна использует этот метод для сжигания в факелах, следует обеспечить, чтобы в проекте газ-энергия факелы были не резервными. Факелы должны быть по возможности согласованы с СТО, во избежание двойного учета.

Во всех случаях, рекуперированное количество должно учитываться как CH₄, а не газ со свалок, так как газ со свалок содержит только часть CH₄. Основания отчета также должны быть четко задокументированы. Когда отчет основывается на количестве СТО с рекуперацией газа со свалок или на общей пропускной способности перерабатывающего оборудования, необходимо, чтобы все допущения,

используемые при оценке рекуперации, были четко описаны и обоснованы применимыми к конкретной стране данными и справочными материалами.

ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ

На большинстве свалок твердых отходов, отходы помещаются непрерывно в течение всего года, зачастую на ежедневной основе. Однако, существует доказательство, что выработка CH_4 начинается не сразу после помещения отходов на свалку.

Сначала, разложение является аэробным, что может длиться несколько недель, до того как весь легкодоступный кислород не будет полностью израсходован. Далее следует стадия окисления с выработкой водорода. Зачастую период окисления длится приблизительно несколько месяцев. После данного этапа наступает переходный период из кислотной среды в нейтральную среду, тогда и начинается выработка CH_4 .

Промежуток между разложением отходов и полной выработкой CH_4 является химически сложным и предполагает участие последовательной микробиальной реакции. Значения времени задержки являются неточными и возможно будут изменяться в зависимости от состава отходов и климатических условий. Значения за промежуток вплоть до одного года должны быть документально зафиксированы (Gregory *et al.*, 2003; Bergman, 1995; Kämpfer and Weissenfels, 2001; Barlaz, 2004). МГЭИК предоставляет значения по умолчанию на шесть месяцев для времени задержки (МГЭИК, 1997). Это соответствует времени начала реакции, которое наступает 1 января через год после помещения на свалку, когда среднее время хранения отходов на СТО составляет шесть месяцев. Однако неопределенности по данному допущению составляют не менее 2 месяцев.

Модель МГЭИК по отходам позволяет изменить задержку по умолчанию соответствующую шести месяцам на другое значение по умолчанию. *Эффективная практика* заключается в выборе времени задержки в интервале от нуля до шести месяцев. Значения вне данного интервала должны поддерживаться доказательствами.

3.3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЫБРОСОВ CH_4 ИЗ СТО

Модель ЗПП и другие методы определения образования CH_4 на СТО построены на использовании научных знаний, а также предположениях о микробиальном метаболизме под воздействием анаэробных условий на СТО. Так как при использовании всех моделей проверка, включающая некоторые формы непосредственных измерений для сравнения прогнозируемых расчетов модели с реальными измерениями, увеличивает уверенность пользователя в модели и может быть использована для уточнения и улучшения прогнозируемых расчетов модели. Эти измерения также могут быть использованы для проверки модели путем сравнения прогнозируемых расчетов модели с уровнем образования CH_4 , полученного на основании измерений, и для документирования выбора относящихся к конкретной стране значений для параметров, использованных в модели при подготовке национальных кадастров.

Измерениями могут являться подвергшееся оценке количество газа, рекуперированного в системах сбора газа (в комбинации со значениями коэффициента эффективности рекуперации) и подвергшееся оценке количество рассеянных в воздухе выбросов CH_4 , либо комбинация обоих значений.

В некоторых исследованиях были использованы результаты измерений систем сбора газа для установления оценочных показателей параметров, необходимых для модели ЗПП (таких как постоянная уровня распада и потенциал образования CH_4) для определенных СТО, для групп СТО в определенных регионах и для применения к СТО на национальном уровне (Oonk and Boom, 1995; Huitric *et al.*, 1997; SWANA, 1998; SCS Engineers, 2003; U.S. EPA, 1998; U.S. EPA, 2005). Данная техника использует статистические методы для получения наиболее подходящих значений для параметров модели, таких как криволинейная регрессия, оценивающая параметры в повторяющемся виде для определения наилучших оценочных значений для параметров модели, основанных на наименьшей сумме возведенных в квадрат погрешностей. При наличии полной, учитывающей местные условия, детальной и достаточно крупной базы данных по СТО, статистический анализ может выявить результаты изменений в составе отходов, географическом положении и других факторах для соответствующих значений параметров модели. Например, в некоторых исследованиях было установлено, что с выпадением осадков постоянная уровня распада увеличивается (U.S. EPA, 2005).

Использование непосредственных измерений количества газа, извлеченного для определения параметров модели ЗПП, является одной из опций для *эффективной практики* при составлении относящихся к конкретной стране значений. Данная техника была использована для установления некоторых значений по умолчанию для периода полураспада, приведенного в таблице 3.4. Данная техника применима к

странам, обладающим точными измерениями, полученными из систем сбора газа со свалок для группы показательных СТО с хорошо известным количеством и составом отходов, а также датами их удаления. Если учитывающие местные условия данные по сбору CH_4 используются для определения параметров модели ЗПП для национального кадастра, *эффективная практика* заключается в том, чтобы убедиться, что используемые для проведения анализа СТО являются показательными из всех СТО страны, с учетом основных факторов, оказывающих влияние на значения параметров и выбросов CH_4 . Дополнительные сведения по данной технике содержатся в блоке 3.1.

Блок 3.1
НЕПОСРЕДСТВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗ СИСТЕМ СБОРА ГАЗА, ПОЛУЧЕННЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
МОДЕЛИ ЗПП

Ключевым элементом для составления значений параметров модели ЗПП является показательная база данных по свалкам, обладающим следующими характеристиками:

- (i) содержание показательных типов отходов на свалках в пределах всей страны;
- (ii) включение ряда размеров, возраста отходов и географических регионов (в особенности, если учитывается влияние выпадаемых осадков);
- (iii) наличие учитывающих местные условия измерений уровня сбора газа со свалок (LFG) и процентное соотношение CH_4 , которое включает сезонные изменения во время определенного отрезка времени (учитывая хотя бы один год, но предпочтительно более длительный период);
- (iv) наличие учитывающих местные условия измерений уровня годовой способности принятия отходов или всех отходов, хранящихся на свалке, а также год открытия свалки (то есть, отходы на месте их залегания или средний годовой уровень способности принятия для района свалки под влиянием системы сборки);
- (v) включение учитывающих местные условия оценочных значений процента рекуперации (основанного на проектных и эксплуатационных показателях или информации);
- (vi) включение среднего годового уровня выпадения осадков (в случае, если этот фактор подвергается оценке).

Точность непосредственных измерений уровня расхода LFG, процента CH_4 и уровня ежегодного удаления отходов может быть выше, чем ± 10 процентов. Самым значительным источником ошибок при использовании непосредственных измерений уровня сбора CH_4 для определения уровня образования CH_4 является определение коэффициента сбора LFG. Однако данные ошибки можно снизить и проконтролировать в том случае, если данные по уровню сбора используются только для свалок, на которых имеются или будут организованы эффективные и содержащиеся в надлежащем состоянии системы сбора и укрывочные материалы.

Для того, чтобы с уверенностью применять данные по коэффициенту сбора, необходимо изучить и обосновать данный параметр. Необходимо учитывать такие факторы, как тип окончательной грунтовой засыпки, производимый на регулярной основе контроль поверхности, определяющий низкий уровень или неподдающийся обнаружению CH_4 , и программа коррекционных действий в случае обнаружения CH_4 (например, осуществление технического обслуживания для улучшения целостности покрытия или повышение вакуума в резервуарах сбора отходов). Оценка коэффициента сбора может основываться на применимых к конкретным условиям расчетах и адаптации к верхнему или нижнему показателю диапазона после учета данных факторов. Суммарная погрешность и влияние на конечные результаты обычно бывает ниже, когда подвергается усреднению в большой базе данных по свалкам, из-за того, что ошибки будут исключаться при использовании объективных среднестатистических оценочных значений.

Несмотря на то, что измерения поверхности, как указано выше, могут использоваться для обнаружения CH_4 , использование этих измерений на свалках для прямой оценки коэффициента сбора является единственной рекомендованной практикой, когда ограничения методов полностью принимаются во внимание, что более детально рассмотрено в следующем разделе, описывающем трудности и неточности данных измерений. Изменения, которые следует принять во внимание при измерении коэффициента сбора, таковы: (i) окисление CH_4 , которое снижает соотношение количества выброшенного CH_4 и (ii) раствора CO_2 в водной фазе отходов на верхних слоях при сравнении соотношения выбросов CH_4 и CO_2 и рекуперации CH_4 и CO_2 .

Блок 3.1 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

После того, как показательная база данных была полностью установлена, а измерения коэффициент сбора были оценены, данные по измерениям могут быть подвергнуты анализу для выявления применимых к конкретной стране или региону параметров. Если страна обладает достаточными данными по составу отходов на свалках, то данная информация может быть использована вместе с измерениями и моделированием для установления таких параметров, как DDOC. Для стран, обладающих менее точными данными о составе отходов, параметры должны быть определены на более обширном уровне, принимая L_0 и k вместо более определенных параметров по отходам. Для стран не рекомендуется проведение оценки национальных выбросов напрямую из полученных измерений. Использование измерений для установления уровня национальных параметров, основанных на характеристиках анализа свалок, является наиболее предпочтительным подходом для применения данных по измерениям из систем сбора.

Непосредственные измерения выбросов CH_4 на поверхности (вместо измерений сбора или образования CH_4) определенных СТО могут быть похожими по существу значениями для оценки параметров модели ЗПП и составления национальных оценочных значений кадастра. Однако, на практике существуют несколько ограничений, введенных по нескольким причинам:

- (i) (i) контроль и измерение выбросов CH_4 на поверхности СТО является довольно сложной задачей, а также не было установлено общих согласованных или стандартных методов, доступных для постоянного или длительного контроля по причине того, что выбросы поступают с больших участков и изменяются в течении года;
- (ii) лишь небольшое количество показательных данных доступно из прямых измерений выбросов CH_4 на определенных СТО, и еще меньше для получения точных оценок для национальных кадастров по выбросам. Таким образом в настоящее время *эффективной практикой* считается использование оценочных значений выбросов, полученных из конкретных свалок и основанных на контроле и измерении только в том случае, если репрезентативность контроля и измерений может быть подтверждена. В том случае, когда учитывающие местные условия данные по выбросам используются для определения национальных выбросов, *эффективная практика* заключается в группировании всех СТО страны в соответствии с их характеристиками и обоснование национальных оценочных значений по репрезентативным характеристикам выбросов в каждой группе.

Техники измерения атмосферных выбросов, связанные с данным процессом трудности и другие условия более детально рассматриваются в блоке 3.2.

Блок 3.2**НЕПОСРЕДСТВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫБРОСОВ МЕТАНА С ПОВЕРХНОСТИ СТО**

Выбросы, образующиеся из газа с поверхности свалок (LFG), являются крайне изменчивыми, как в пространственном, так и во временном отношении. Выбросы изменяются ежедневно в результате изменений в атмосферном давлении и под влиянием количества атмосферных осадков, которые оказывают воздействие на проницаемость верхнего слоя. Вдобавок ко всему существует наличие сезонных изменений в выбросах по причине сниженной реакции окисления в зимний период года. Кроме того, также выбросы варьируются в различных разделах СТО из-за различий в количестве отходов, возрасте и составе. По причине высокой горизонтальной проницаемости, по сравнению с вертикальной проницаемостью, на склонах свалок концентрация выбросов выше, чем на верхней поверхности. В более частном масштабе, выбросы сильно различаются в зависимости от регионов со сниженной проницаемостью глубинной поверхности почвы и по причине наличия трещин в поверхности. В результате выбросы на участках, находящихся на расстоянии нескольких метров друг от друга могут изменяться на фактор 1000.

Блок 3.2 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Измерение рассеиваемости выбросов CH_4 в данном контексте должно дать приблизительные показатели средних годовых выбросов со всей СТО. Таким образом, временные и сезонные колебания выбросов газа (Maurice and Lagerkvist, 1997; Park and Shin, 2001) должны учитываться в качестве части проведения оценки применимых к конкретным условиям данных. Период сбора данных должен являться достаточным, для того чтобы учесть временные изменения, происходящие на свалке. Сезонные изменения могут беспрепятственно быть приняты во внимания.

Во время проведения измерений диффузных выбросов, необходимо понимать, что проводится измерение потока после окисления, что может составлять значительную часть процентного соотношения образованного CH_4 , который не был рекуперирован.

Было предложено несколько видов техники проведения непосредственных измерений на поверхности и/или под поверхностью почвы и над поверхностью почвы. Самые значительными техниками являются:

- (i) измерение постоянного или искусственного потока в резервуаре;
- (ii) метод баланса массы;
- (iii) микрометеорологические изменения;
- (iv) измерение шлейфа.

Метод потока резервуара широко применялся для измерения потока CH_4 на поверхности СТО (например, Park and Shin, 2001; Mosher *et al.*, 1999; UK Environment Agency, 2004). Недостатком данного метода является необходимость наличия большого количества опорных точек измерения для того, чтобы получить точные показатели всех выбросов, которые делают данный метод очень трудоемким и поэтому дорогим. Существует несколько способов улучшения точности или снижения количества необходимых измерений, например, расширение показателей из небольших разделов на всю СТО с помощью геостатистического метода (Börjesson *et al.*, 2000; Spokas *et al.*, 2003) или установление основных зон выбросов путем исследования трещин, растительности, зон взаимодействия между закрытыми зонами, состояния окраин и склонов и т.д. (UK Environment Agency, 2004), или использования переносных газометров, распространения запаха и температуры земной поверхности в качестве первоначальных показателей (Yamada *et al.*, 2005).

В *методе баланса массы* выбросы подвергаются оценке с помощью измерения потока, проходящего сквозь воображаемую вертикальную плоскость на СТО путем исследования скорости ветра и концентрации CH_4 на различных высотах по всей поверхности СТО. Данная плоскость может иметь как одно (Oonk and Boom, 1995; Scharff *et al.*, 2003), так и два измерения. Преимущества данного метода состоят в том, что он легко поддается автоматизированию и может измерить выбросы на большой поверхности (во многих случаях на всей СТО) за более длительный период времени (недели или месяца). Еще одним преимуществом является то, что могут быть получены, как выбросы CH_4 , так и выбросы CO_2 и вследствие этого, информация по окислению CH_4 и коэффициентам сбора. Недостаток данного метода состоит в том, что он применяется на ограниченном пространстве (250 м), поэтому довольно сложно измерить выбросы на больших СТО.

В *микрометеорологическом методе* выбросы измеряются как поток, проходящий сквозь воображаемую горизонтальную плоскость, и рассчитываются заново, как вертикальные потоки. Концентрация CH_4 над СТО используется в комбинации с информацией по атмосферному переносу и смешиванию на уровне нескольких m^3 (и значит на микрометеорологическом уровне, Fowler and Duyzer, 1989). В работах Laurila *et al.* (2005) предложен микрометеорологический метод микровихревых пульсаций в качестве подходящего для определения выбросов газов со свалки, так как он поддается легкой автоматизации, что позволяет производить измерения в течение более длительного периода времени и одновременный контроль выбросов CH_4 и CO_2 . Недостатки данного метода заключаются в ограничении зон наблюдения (около 25 м) и в результате невозможно определить репрезентативные выбросы со всей СТО.

Блок 3.2 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Метод измерения шлейфа предназначается для измерения выбросов со всей СТО с помощью проведения измерений разницы в потоке CH_4 между поперечным экраном по направлению ветра и против направления ветра со СТО. Выбросы могут быть оценены с помощью сопоставления увеличения концентрации CH_4 с концентрацией индикатора (например, из известного количества N_2O или SF_6 , высвободившегося на СТО) или с помощью дисперсионной модели. Варианты данной модели используются во всем мире в работах Czepiel *et al.* (1996), Savanne *et al.* (1997), Galle *et al.*, (1999) and Hensen and Scharff (2001). Преимущества данного метода заключаются в его точности и возможности измерения выбросов на всей СТО, что является весьма эффективным в применении метода на большом пространстве. Однако, этот метод является дорогостоящим и обычно им пользуются в течении одного или нескольких определенных дней. Поэтому результаты, полученные при применении данного метода не являются репрезентативными для определения среднегодовых выбросов со свалок (Scharff *et al.*, 2003). По этой причине в работах Scharff *et al.* (2003) разработана стационарная версия мобильного измерения шлейфа (МИШ) для измерения шлейфа вокруг СТО в течении длительного периода.

В настоящее время (2006 г.) не существует единого научного мнения с помощью какой методологии лучше всего определять среднегодовые выбросы со всей СТО. Сравнения данных методов описаны в Savanne *et al.* (1995) and Scharff *et al.* (2003), а выводы таковы, что ни один метод не может совладать с пространственной и временной изменчивостью и пока не является доступным. По Scharff *et al.* (2003) метод баланса массы и метод постоянного шлейфа являются наиболее приемлемыми для их дальнейшего развития и проверки. Однако на момент написания данных *Руководящих принципов* проводилось небольшое научное обсуждение на предмет приемлемости этих методов.

3.4 УГЛЕРОД, ХРАНЯЩИЙСЯ НА СТО

Некоторая часть углерода будет храниться на СТО в течении длительного периода времени. Распад древесных и бумажных отходов происходит очень медленно и поэтому она накапливается на СТО (длительное хранение). Доли углерода в других видах отходов распадаются за разное количество времени (см. Период полураспада в разделе 3.2.3).

Количество углерода, хранящегося на СТО, можно оценить с помощью модели ЗПП (см. приложение 3А.1). Длительное хранение углерода в бумаге и картоне, древесине, отходах, образующихся в садах и парках, обусловлено особыми причинами, так же, как и изменение запасов углерода, содержащегося в отходах из заготовленных лесоматериалов, описанных в томе «Сельское хозяйство, лесное хозяйство и прочее землепользование» (см. главу 12 «Заготовленные лесоматериалы»). В данном томе модель ЗПП представляет эти оценочные показатели в качестве побочного продукта. Вариант *состава отходов* рассчитывает долю углерода, долгое время хранящегося в древесине, бумаге, картоне и отходах, образующихся в садах и парках, которые были удалены на СТО, так эта величина является всего лишь долей DOC, которая не была потеряна при распаде (уравнения по определению количества приводятся в приложении 3А.1). При использовании варианта *крупногабаритных отходов* перед определением количества длительного хранения углерода необходимо определить соответствующую долю DOC, образованного в заготовленных лесоматериалах из общей доли DOC в отходах. В том случае, когда недоступны применимые к конкретным странам оценочные значения по умолчанию, можно использовать доли МГЭИК по умолчанию бумажных, картонных и древесных отходов, а также отходов, образующихся в садах и парках.

Углерод, длительное время хранящийся на СТО, зафиксирован в качестве единицы информации в секторе «Отходы». Учетные значения для отходов, образованных из заготовленных лесоматериалов (бумага, картон, древесина, образующиеся в садах и парках отходы) приравниваются переменному значению $1B$, $\Delta C_{\text{HWP SWDS DC}}$, то есть изменение запасов углерода в заготовленных лесоматериалах домашнего потребления, удаленных на СТО в составляющей кадастр стране использованы в главе 12 (Заготовленные лесоматериалы), тома «Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования». Данный параметр, также как и годовые выбросы CH_4 из отходов заготовленных лесоматериалов в стране, может быть определен с помощью модели ЗПП (см. лист «Заготовленные лесоматериалы» в табличных расчетах).

3.5 ПОЛНОТА

Несмотря на то, что составителям кадастра было предложено учитывать выбросы из других видов отходов, в предыдущих изданиях *Руководящих принципов МГЭИК* основное внимание уделялось выбросам со свалок КТО. Однако, в настоящее время признано, что зачастую выбросы из других видов отходов составляют значительную долю в общей массе выбросов. И поэтому *Руководящие принципы 2006 года* содержат данные по умолчанию и методологию для оценки образования и содержания ДОС в следующих видах отходов:

- коммунальные твердые отходы (КТО) – значение по умолчанию и сведения по образованию приводятся в главе 2;
- отстой сточных вод (как из коммунальных, так и их промышленных очистительных сооружений);
- промышленные твердые отходы (включая отходы от древесной и бумажной промышленности, строительных и демонтажных работ, которые в значительной степени могут быть наполняющими материалами, однако, также включают древесину в качестве источника $DDOC_m$);
- остатки из механическо-биологических очистительных сооружений (см. главу 4 (Биологическая обработка твердых отходов));

Страны должны предоставить свои собственные оценки удаленных на СТО, инсинерированных или переработанных частей данных видов отходов.

Виды отходов указанные в других главах *Руководящих принципов 2006 г.*:

- выбросы, образующиеся в результате уборки, хранения и использования навоза (включены в раздел (Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования));

Виды управления отходами должны включать:

- управляемые СТО;
- неуправляемые СТО (открытые свалки, включая наземные свалки, ямы в земле и сброс отходов в природные массивы, например, такие как овраги;

виды управления отходами указаны в других главах *Руководящих принципов 2006*;

- выбросы, образующиеся при инсинерации (глава 5 данного тома);
- выбросы, образующиеся при открытом сжигании отходов (глава 5 данного тома);
- выбросы, образующиеся при биологической обработке твердых отходов, включая сооружения по централизованному компостированию и домашнему компостированию (глава 4 данного тома);

CH_4 продолжает вырабатываться на закрытых СТО. Эти данные автоматически учитываются при использовании метода ЗПП, так как при подсчетах используются исторические данные по удалению отходов.

Все вышеперечисленные виды управления отходами должны быть включены в данный сектор, где они наиболее часто попадают.

3.6 ФОРМИРОВАНИЕ СОГЛАСОВАННОГО ВРЕМЕННОГО РЯДА

Основные изменения, произошедшие с момента выпуска *Руководящих принципов 1996 г.*, отображены в *Руководящих принципах 2006 г.* Эти изменения включают:

- замену старого метода по умолчанию (компенсации массы) на метод затухания первого порядка (ЗПП);
- рассмотрение промышленных отходов и других не коммунальных категорий во всех странах.

Оба этих изменения могут вызвать у стран необходимость в пересчете результатов за предыдущие годы, для того чтобы временной ряд был согласованным. Новые формы табличных расчетов, предоставленные для метода ЗПП МГЭИК, автоматически рассчитывают выбросы за предыдущие годы. Однако, крайне необходимо убедиться в том, чтобы вводимые в модель данные учитывали согласованный временной ряд.

Модель ЗПП предусматривает исторические данные начиная с 1950 года, и поэтому это является весьма важной задачей.

Руководство, представленное в разделе 3.2.2, предоставляет возможность странам оценить удаление КТО и промышленных отходов за прошлые годы, основываясь на данных о городском населении, ВВП и других показателях.

Так как статистика отходов значительно улучшается с каждым годом, страны могут столкнуться с тем, что применимые к конкретным странам данные являются доступными за последние годы, но не за целые временные ряды. *Эффективная практика* заключается в использовании конкретным для стран данных там, где это является возможным. Там, где данные по умолчанию и применимые к конкретным странам данные смешаны во временных рядах, проверка согласованности является весьма важным этапом. Также вероятно возможность использования обратной экстраполяции или сплайсинговых технологий для согласования двух наборов данных. Основное руководство по данным технологиям приводится в главе 6 тома 1 (Согласованность временного ряда).

3.7 ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

При оценке выбросов CH_4 со СТО возникают две области неопределенностей: (i) неопределенность, свойственная методу; и (ii) неопределенность, свойственная данным (данным о деятельности и данным по параметрам).

3.7.1 Неопределенности, свойственные методу

Модель ЗПП состоит из предэкспоненциального термина, описывающего количество CH_4 , образованное в течение всего срока действия СТО, и экспоненциального термина, описывающего, как образуется CH_4 в течение данного срока. Поэтому неопределенности в использовании модели ЗПП могут быть разделены на неопределенности в общем количестве CH_4 , образованные в течение всего срока действия СТО и неопределенности в распределении данного количества за эти годы.

Неопределенности в общем количестве CH_4 , сформированном за время всего срока действия СТО, связаны с неопределенностями в количестве и составе отходов, удаленных на СТО (W и DOC), разложении (DOC_f) и поправочном коэффициенте для CH_4 (MCF). В дальнейшем эти неопределенности также упоминаются.

Неопределенности в распределении образования CH_4 за прошлые годы в большей степени зависят от определенной ситуации. Когда количество удаленных отходов и практики по обращению с ними медленно развиваются в течение нескольких лет, неопределенность будет низкой. Например, когда разложение происходит медленнее, чем ожидалось, недоучет по образованию CH_4 в 2005 году из отходов, удаленных в 1990 году, будет нейтрализован завышенной оценкой количества CH_4 , образовавшегося из отходов, удаленных, например в 2000 году. Однако, когда количество отходов за год или состав отходов сильно изменяются, необходимо обращать особое внимание на возможные ошибки.

Наилучший способ оценки ошибок по причине модели в особых случаях может быть получен из модели путем осуществления анализа чувствительности, изменения значений k в пределах диапазона принятых погрешностей (см. таблицу 3.5 для определения значений неопределенности по умолчанию) или с помощью анализа методом Монте-Карло с использованием модели и изменением всех существующих параметров.

Использование метода баланса массы, который являлся методом по умолчанию (уровень 1) в предыдущих версиях руководящих принципов МГЭИК, приводит к переоценке выбросов в тех случаях, когда тенденция заключается в увеличении со временем удаленных на СТО отходов. Предполагалось, что весь CH_4 высвобождался в год, когда отходы были помещены на свалку. Применение метода ЗПП устраняет ошибки и снижает неопределенности, свойственные методу. Однако, необходимо помнить, что метод ЗПП является простой моделью очень сложной и плохо осмысленной системы. Неопределенности возникают из следующих источников:

- разложение соединений углерода на CH_4 предполагает серию сложных химических реакций и не всегда может следовать реакции затухания первого порядка; реакция высшего порядка также может присутствовать, а скорость протекания реакции будет изменяться в зависимости от условий на отдельных СТО. Реакции могут быть ограничены из-за ограниченного доступа к воде и местных вариаций популяций бактерий;
- СТО являются неоднородными; Такие условия, как температурный режим, влажность, состав отходов и плотность сильно изменяются даже в пределах одной свалки, а еще больше между

различными свалками в стране. выбор «среднего» значения параметра типичного для всей страны затруднен;

- применение метода ЗПП вносит дополнительные неопределенности, связанные с периодом распада (полураспада) и исторического количества удаления отходов. Ни одно из этих условий не было до конца понято или изучено.

Однако, скорее всего основной источник неопределенностей заключается в выборе значений для параметров модели, а не в методологии самой модели.

3.7.2 Неопределенности, свойственные данным

Данный источник неопределенностей является простой неопределенностью, свойственной каждому вводу параметров. Неопределенности, свойственные данным могут быть классифицированы на данные о деятельности и параметры.

3.7.2.1 НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ДАННЫМИ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Качество оценки выбросов CH_4 напрямую связано с качеством и доступностью данных об образовании и составе отходов, а также практике управления ими, то есть данных, используемых для получения самой оценки. Данные о деятельности в разделе «Отходы» включают общее количество коммунальных твердых отходов, промышленных отходов, состав отходов и долю удаленных на свалках твердых отходов.

Неопределенности в данных об удалении отходов зависят от того, как были получены эти данные. Неопределенности могут быть снижены, когда количество отходов на СТО подвергается взвешиванию. Если оценочные показатели основываются на вместительности транспортирующих отходы средств или визуальной оценке, то неопределенности будут выше. Оценочные показатели, основанные на данных о деятельности по умолчанию, будут иметь наиболее высокий уровень неопределенностей.

В случае, когда продувка отходов осуществляется на СТО, то этот фактор необходимо учитывать вместе с данными по удалению отходов, в противном случае, неопределенности, связанные с данными по удалению отходов, будут возрастать. Продувка также увеличит неопределенности в составе удаленных на СТО отходов и, следовательно, также и общее количество DOC в отходах. Неопределенности, связанные с параметрами модели по умолчанию, приводятся в таблице 3.5. Данные неопределенности основаны на экспертной оценке.

Образование отходов может быть определено из уровня образования отходов для всего населения (или городского населения) и уровня образования отходов на душу населения. Неопределенности могут возникать и в том случае, когда население не соответствует населению, у которого были собраны отходы. Обычно во многих странах отходы собираются лишь у городского населения. Городское население может изменяться ежедневно или сезонно из-за миграции рабочей силы.

3.7.2.2 НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ПАРАМЕТРАМИ

Поправочный коэффициент для метана (MCF)

Существует два источника неопределенности в MCF.

- Неопределенность в значении MCF для каждого вида свалки (контролируемая анаэробная, контролируемая полуанаэробная, неконтролируемая с глубоко залегающими грунтовыми водами и/или высоким уровнем грунтовых вод, неконтролируемая с поверхностно залегающими грунтовыми водами): Эти значения MCF основываются на одном экспериментальном исследовании и заключении группы экспертов, а не на данных измерений.
- Неопределенность в классификации свалок по различным типам свалок: например, разница между свалками с глубоко и поверхностно залегающими грунтовыми водами (глубина отходов 5 м) основывается на заключении экспертов. Лишь некоторые страны, если таковые имеются, смогут классифицировать свои неконтролируемые свалки твердых отходов на глубокие и неглубокие, основываясь на результатах измерений. Также весьма затруднительным может стать установление свалок, подходящих под критерии МГЭИК, установленные для контролируемых свалок.

Способный к разложению органический углерод (DOC)

Существует два источника неопределенности в значениях DOC.

- Неопределенность в установлении DOC для различных видов типов/материалов отходов (бумажные, пищевые и др.): существует лишь небольшое количество исследований по DOC, а также различные типы бумажных, пищевых, древесных и текстильных отходов могут иметь различные значения DOC. Содержание воды в отходах также оказывает влияние. DOC от промышленных отходов изучен очень плохо.
- Неопределенность в составе отходов оказывает влияние на оценочные показатели общего DOC на СТО. Состав отходов значительно варьируется даже внутри стран (например, между городским и сельским населением, между семьями с различными доходами и между сезонами), а также между странами.

Доля фактически разложившегося способного к разложению органического углерода (DOC_f)

Неопределенность в DOC_f предельно высока. По данному вопросу существует несколько исследований, так как в экспериментальных исследованиях весьма сложно воспроизвести реальные условия на СТО.

Доля CH₄ в газе со свалок (F)

Доля CH₄ в газе со свалок, F, принимается, как правило, за 0,5, однако, может варьироваться между 0,5 и 0,55, в зависимости от нескольких факторов (смотри раздел 3.2.3). Неопределенность в данном показателе является относительно небольшой, так как F в основном зависит от стехиометрии химической реакции, в результате которой образуется CH₄. Концентрация CH₄ в рекуперированном газе со свалок может быть более низкой, чем действительное значение, в связи с потенциальным уменьшением концентрации за счет воздуха и, таким образом, значения F, рассчитанные этим способом, необязательно будут репрезентативными.

Рекуперация метана (R)

Рекуперированное количество CH₄ – это количество CH₄, образовавшееся на СТО, затем рекуперированное и сожженное в факеле или установке для получения энергии. Неопределенность зависит от метода, используемого для определения рекуперированного CH₄. Неопределенность, по всей вероятности, является относительно небольшой по сравнению с другими неопределенностями в случае использования измерений. В случае, когда используются другие методы, например, с помощью определения эффективности оборудования по рекуперации CH₄, то неопределенность возрастает. (Смотри раздел 3.2.3.)

Коэффициент окисления (OX)

Коэффициент окисления весьма неточен, так как его сложно измерить, варьируется в зависимости от толщины и происхождения укрывающего материала, атмосферных условий и климата, интенсивности выделения метана и выхода метана сквозь трещины/надломы в укрывающем материале. Полевые и лабораторные исследования, с помощью которых устанавливается коэффициент окисления CH₄ с исследованием лишь равномерных и однородных слоев почвы, может привести к завышенным оценкам окисления в почвенном покрытии свалок.

Период полураспада

Существуют большие неопределенности в оценке периода полураспада, так как сложно измерить уровень распада в условиях, схожих с теми, которые преобладают на реальных СТО. Также, из-за значительных изменений в полураспаде, связанных с составом отходов, климатическими условиями и типом свалки, то представляется весьма сложным выбрать репрезентативные значения для всей страны.

Оценочные значения неопределенностей для KTO_T (общие образованные КТО) и KTO_F (доля KTO_T , удаленных на СТО) и параметры модели по умолчанию содержатся в таблице 3.5. Данные оценочные значения основаны на экспертной оценке.

ТАБЛИЦА 3.5 ОЦЕНОЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ, СВЯЗАННЫХ С ДАННЫМИ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПАРАМЕТРАМИ ПО УМОЛЧАНИЮ, ИСПОЛЪЗУЕМЫМИ В МЕТОДЕ ЗПП ДЛЯ ВЫБРОСОВ CH_4 ИЗ СТО.	
Данные о деятельности и коэффициенты выбросов	Диапазон неопределенности
Общее количество коммунальных твердых отходов (MSW_T)	Конкретно для каждой страны: 30% являются типичным значением для стран, регулярно подготавливающих данные об образовании отходов. $\pm 10\%$ для стран с данными высокого качества (например, со взвешиванием по всем СТО и другим очистным сооружениям). Для стран с данными низкого качества: более чем в два раза.
Доля MSW_T , помещенных на СТО (MSW_F)	$\pm 10\%$ для стран с данными высокого качества (например, со взвешиванием по всем СТО). $\pm 30\%$ для стран, подготавливающих данные по удалению на СТО. Для стран с данными низкого качества: более чем в два раза.
Общая неопределенность состава отходов	$\pm 10\%$ для стран с данными высокого качества (например, с постоянным взятием проб на репрезентативных СТО). $\pm 30\%$ для стран с применимыми к конкретным странам данными, основанными на исследованиях и включающими периодический отбор проб. Для стран с данными низкого качества: более чем в два раза.
Способный к разложению органический углерод (DOC) ⁷	Для значений по умолчанию МГЭИК: $\pm 20\%$ Для применимых к конкретным странам значениям: основанных на репрезентативном взятии проб и анализах: $\pm 10\%$
Доля фактически разложившегося способного к разложению органического углерода (DOC_f)	Для значения по умолчанию МГЭИК (0,5): $\pm 20\%$ Для применимого к конкретным странам значения: $\pm 10\%$ для стран, основывающихся на экспериментальных данных в течении длительного периода времени.
Поправочный коэффициент для метана (MCF) = 1,0 = 0,8 = 0,5 = 0,4 = 0,6	Для значения по умолчанию МГЭИК: -10%, +0% $\pm 20\%$ $\pm 20\%$ $\pm 30\%$ -50%, +60%
Доля CH_4 в газе со свалок (F) = 0,5	Для значения по умолчанию МГЭИК: $\pm 5\%$
Рекуперация метана (R)	Диапазон неопределенности будет зависеть от того, как оцениваются количества рекуперированного CH_4 , сожженного в факельных установках или использованного: $\pm 10\%$, если измерения будут проводиться непосредственно на месте. $\pm 50\%$, если измерения будут проводиться не на месте.
Коэффициент окисления (OX)	Включить OX в анализ неопределенности, если для самого OX используется значение, иное, чем нуль. В этом случае в обоснование использования, иного, чем нуль значения следует включить соображения о неопределенностях.
Период полураспада ($t_{1/2}$)	Диапазоны для значений по умолчанию МГЭИК содержатся в таблице 3.4. Применимые к конкретным странам значения должны включать соображения о неопределенностях.
Источник: Заключение группы экспертов от ведущих авторов данной главы.	

⁷ Указанный диапазон неопределенности применяется к содержанию DOC в массе отходов. Диапазоны для DOC для различных компонентах отходов в КТО, приведенные в таблице 2.4, могут быть использованы для оценки неопределенностей для этих компонентов..

3.8 ОК/КК, отчетность и документация

Эффективная практика заключается в документировании и архивации всех сведений, необходимых для получения оценок для национального кадастра выбросов, как это описано в главе 6 (Обеспечение качества, контроль качества и проверка достоверности), том 1 (Общие руководящие указания и отчетность). Ниже приводятся несколько примеров специальной документации и отчетности, применимой к этой категории источников.

- Страны, использующие модель МГЭИК ЗПП, должны включать эту модель в отчетность. Страны, использующие другие методы или модели должны предоставить схожие данные (описание модели, ключевые допущения и параметры).
- Если применимые к конкретным странам данные используются для любой части временного ряда, то они должны быть задокументированы.
- Распределение отходов между контролируруемыми и неконтролируемыми свалками для целей определения MCF также следует документировать вместе со вспомогательной информацией.
- Если сообщается о рекуперации метана, желательно прилагать перечень известных средств для его рекуперации. Сведения о сжигании метана в факельных установках и для получения энергии следует документировать отдельно друг от друга.
- Изменение в параметрах по годам должны быть четко объяснены с указанием справочной информации.

Включать всю документацию в национальный кадастр нецелесообразно. Тем не менее в кадастр следует включать краткие описания использованных методов и ссылки на источники данных, с тем чтобы обеспечить прозрачность сообщаемых оценочных значений выбросов и возможность проследить за действиями в их расчетах.

Эффективная практика заключается в проведении проверок контроля качества и осуществления экспертного исследования оценок выбросов, как это описано в главе 6 тома 1 (Обеспечение качества, контроль качества и проверка достоверности).

Чтобы определить являются ли используемые национальные параметры приемлемыми в сравнении со значениями по умолчанию МГЭИК, составителям кадастра следует проводить перекрестную проверку конкретных для стран значений, используемых для образованных КТО, образованных промышленных отходов и образования отходов с имеющимися значениями по умолчанию МГЭИК.

В случаях использования для определения национальных значений данных о деятельности в области твердых отходов данных исследований и отбора проб, процедуры ОК должны включать следующее:

- (i) рассмотрение методов сбора данных исследований и проверку данных, с тем чтобы убедиться в правильности их сбора и обобщении. Составителям кадастра следует проводить перекрестную проверку данных с данными за предыдущие годы, с тем чтобы убедиться в их приемлемости;
- (ii) оценку источников вторичных данных и снабжение справочными ссылками деятельности ОК/КК, связанной с подготовкой вторичных данных. Это особенно важно для данных о твердых отходах, поскольку большая часть этих данных первоначально подготавливается для целей, иных, чем кадастры парниковых газов.

Составителям кадастра следует предоставлять экспертам возможность участвовать в рассмотрении входных параметров.

Составителям кадастра следует сопоставлять показатели национальных выбросов с показателями из схожих с ними стран, обладающими сопоставимыми демографическими и экономическими характеристиками. Составителям кадастра следует исследовать существующие значительные расхождения, с тем чтобы определить, представляют ли они собой ошибки в расчетах, или это действительные расхождения.

Ссылки

- Facultad de Ingenieria de la Universidad Nacional Del Centro De La Provincia De Buenos Aires (2004). Olavarria Landfill Gas Recovery Project, Buenos Aires, Argentina. August 2004. http://www.dnv.is/certification/climatechange/Upload/PDD_Olavarria_2004-05-21.pdf#search=%22olavarria%20landfill%20gas%20recovery%20project%22
- Attenborough, G. M., Hall, D. H., Gregory, R. G. and McGoochan, L. (2002). GasSim: Landfill Gas Risk Assessment Model. In: Conference Proceedings SITA Environmental Trust- Sponsored by SITA Environmental Trust and Organics Limited. ISBN 0-9539301.
- Barlaz, M. (2004). Critical Review of Forest Products Decomposition in Municipal Solid Waste Landfills. *NCASI Technical Bulletin*, no 872, March 2004.
- Bergman, H. (1995). Metanoxidation i täckskikt på avfallsupplag. (Methane oxidation in waste deposition covers). Licentiate thesis 1995:14L, Tekniska Högskolan i Luleå, ISSN 0280-8242. (In Swedish)
- Bogner, J. and Matthews, E. (2003). 'Global methane emissions from landfills: New methodology and annual estimates 1980 – 1996', *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 17, No. 2.
- Brown, K. A., Smith, A., Burnley, S. J., Campbell, D.J.V., King, K. and Milton, M.J.T. (1999). Methane Emissions from UK Landfills, AEA Technology, AEAT-5217, Culham.
- Börjesson, G., Danielsson, A. and Svensson, B.H. (2000). 'Methane fluxes from a Swedish landfill determined by geostatistical treatment of static chamber measurements', *Environ Sci Technol* 34: 4044-4050.
- Czepiel, P.M., Mosher, B., Harriss, R., Shorter, J.H., McManus, J.B., Kolb, C.E., Allwine, E. and Lamb, B. (1996). 'Landfill methane emissions measured by enclosure and atmospheric tracer methods', *J Geophys Res D101*: 16711-16719.
- Diot M., Bogner, J., Chanton, J., Guerbois, M., Hébé, I., Moreau le Golvan, Y., Spokas, K. and Tregourès, A. (2001). LFG mass balance: a key to optimize LFG recovery, in Proceedings of the Eighth International Waste Management and Landfill Symposium Sardinia 2001, S. Margherita di Pula (Cagliari, Italia), October 1-5, 2001.
- Environment Canada (2003). Canada's Greenhouse Gas Inventory 1990-2001. 8. Waste. Greenhouse Gas Division August 2003. The Green line Environment Canada's Worldwide Web Site.
- Environment Canada (2004). Landfill Gas Capture and Combustion Quantification Protocol. Available at: www.ec.gc.ca/pdb/ghg/lfg_protocol_e.cfm.
- Fowler, D. and Duyzer, J.H. (1989). Micrometeorological techniques for the measurement of trace gas exchange, *Exchange between terrestrial ecosystems and the atmosphere*, Andreae, M.O., Schimel, D.S. Eds., John Wiley & Sons, pp. 189-207.
- Galle B., Samuelsson, J., Börjesson, G. and Svensson, H. (1999). Measurement of methane emissions from landfills using FTIR spectroscopy. Sardinia 1999, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium. Vol. IV, 47-54.
- Gardner, W.D., Ximenes, F., Cowie, A., Marchant, J.F., Mann, S. and Dods, K. (2002). Decomposition of wood products in the Lucas Heights landfill facility. Presented at the Third Australian Conference on 'Life Cycle Assessment – "Life Cycle Decision-making for Sustainability"'. Queensland, Australia, 17 – 19 July, 2002. State Forests of New South Wales, Sydney, Australia. URL:<http://www.greenhouse.crc.org.au/crc/ecarbon/enews/gardner.pdf>
- Gregory, R.G., Gillet, A.G. and Bradley, D. (2003). 'Methane emissions from landfill sites in the UK', *LQM Report* 443/1, January 2003.
- Hensen, A. and Scharff, H. (2001). Methane emission estimates from landfills obtained with dynamic plume measurements, *Water, Air and Soil Pollution, Focus*, 1(5-6): 455-464.
- Hoeks, J. (1983). Significance of biogas reduction in waste tips, *Waste management and research*, 1, pp. 323-325
- Huitric, R. and Soni, R. (1997). Making the most of LFG projection models, Proceedings from SWANA's 20th annual LFG symposium, Monterey California, USA
- IPCC (1997). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

- IPCC (2000). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Enmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K. and Tanabe K. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (2001). Summary for Policymakers and Technical Summary of *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Bert Metz *et al.* eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom
- IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, land-Use Change and Forestry*. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner, F. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.
- Jensen, J. E. and Pipatti, R. (2002). 'CH₄ Emissions from Solid Waste Disposal', *Background Papers. IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)-National Greenhouse Gas Inventories Programme (NGGIP), IGES, Hayama, Japan, pp 419-465.
- Kämpfer, P. and Weissenfels, W. (2001). *Biologische Behandlung organischer Abfälle*, Springer, Berlin.
- Laurila, T., Tuovinen, J.P., Lohila, A., Hatakka, J., Aurela, M., Thum, T., Pihlatie, M., Rinne, J. and Vesala, T. (2005). 'Measuring methane emissions from a landfill using a cost-effective micrometeorological method', *Geoph. Res. Let.*, Vol. 32, L19808,
- Levelton, B.H. (1991). *Inventory of Methane Emissions from Landfills in Canada*. Levelton & Associates. Prepared for Environment Canada, June 1991.
- Matsufuji, Y., Kobayashi, H., Tanaka, A., Ando, S., Kawabata, T. and Hanashima, M. (1996). 'Generation of greenhouse gas effect gases by different landfill types and methane gas control', *Proceedings of 7th ISWA International Congress and Exhibition, 1996:10, No. 1, p. 253-254.*
- Maurice, C. and Lagerkvist, A. (1997). 'Seasonal variation of landfill gas emissions', *Sardinia 1997 Sixth International Waste Management and Landfill Symposium, Vol IV*, pp. 87-93.
- Micales, J.A. and Skog, K.E. (1997). 'The decomposition of forest products in landfills', *International Biodeterioration and Biodegradation* 39(2-3): pp. 145-158
- Mosher, B., Czepiel, P., Harriss, R., Shorter, J.H., Kolb, C.E., McManus, J.B., Allwine, E. and Lamb, B. (1999). 'Methane emission at nine landfill sites in the northeastern United States', *Environ Sci Technol* 33: 2088-2094.
- Oonk, H. (1993). *Overzicht van stortgasprojecten in Nederland (Overview of Dutch Landfill gas projects)*, March 1993. TNO, Apeldoorn, The Netherlands.
- Oonk, H. and Boom, T. (1995). 'Landfill gas formation, recovery and emissions', *TNO-report R95-203*, TNO. Apeldoorn, The Netherlands.
- Park J.W. and Shin H.C. (2001). 'Surface methane emission of landfill gas from solid waste landfill', *Atmospheric Environment* 35, 3445-3451
- Pelt, R., Bass, R.L., Heaton, R. E., White, Ch., Blackard, A., Burklin, C. and Reisdorph, A. (1998). *User's Manual Landfill Gas Emissions Model Version 2.0*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. February 1998, 94 pp.
- RIVM. (2004). Netherlands's National GHG Inventory Report. 8. Waste. *RIVM Report 773201008*, 8 pp.
- Savanne, D., Arnaud, A., Beneito, A., Berne, P., Burkhalter, R., Cellier, P., Gonze, M.A., Laville, P., Levy, F., Milward, R., Pokryszka, Z., Sabroux, J.C., Tauziède, C. and Tregoures, A. (1997). 'Comparison of different methods for measuring landfill methane emissions', *Sardinia 1997 Sixth International Waste Management and Landfill Symposium, Vol IV*, pp. 81-86.
- Scheehle, E. (2006). Personal Communication.
- SCS Wetherill Environmental (2003). *New Zealand's Greenhouse Gas Inventory 1990-2002. Chapter 8: Waste*. New Zealand Climate Change Office.
- Scharff, H., Martha, A., van Rijn, D.M.M., Hensen, A., v.d. Bulk, W.C.M., Flechard, C., Oonk H., Vroon, R., de Visscher, A. and Boeckx, P. (2003). *A comparison of measurement methods to determine landfill methane emissions*, report by Afvalzorg Deponie B.V., Haarlem, the Netherlands.
- Spokas, K., Graff, C., Morcet, M. and Aran, C. (2003). Implications of the spatial variability of landfill emission rates on geospatial analyses. *Waste Management*. 23: 599-607.

- Spokas, K., Bogner, J., Chanton, J., Morcet, M., Aran, C., Graff, C., Moreau-le-Golvan, Y. and Hebe, I. (2006). 'Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems?' *Waste Management*, 26: 516-525.
- SWANA (1998). Comparison of Models for Predicting Landfill Methane Recovery, Publication No. GR-LG0075, March, Solid Waste Association of North America (SWANA).
- UK Environment Agency (2004). *Guidance on monitoring landfill gas surface emissions*.
URL: http://www.environment-agency.gov.uk/subjects/waste/?lang=_e
- U.S. EPA (2005). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2004. Annex 3.14. Methodology for Estimating CH₄ Emissions from Landfills. April 2005, U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA).
- U.S. EPA (2002). *Solid Waste Management and Greenhouse Gases*, 2nd Ed, EPA530-R-02-006, U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA).
- U.S. EPA (1998). Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, Fifth Edition, Volume1: Stationary Point and Area Sources. Chapter 2: Solid waste Disposal. Section 2.4.4.1. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), November1998.
- U.S. EPA (1995). Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, AP-42, Edition 5. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA).URL: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>
- Yamada, M., Ishigaki, T., Endo, K., Inoue, Y., Nagamori, M., Ono Y. and Ono Y. (2005). Distribution of temperature and methane flux on landfill surface. *Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy

Приложение 3А.1 Модель затухания первого порядка

3А1.1 ВВЕДЕНИЕ

Модель затухания первого порядка (ЗПП), предложенная в 3 главе, является методом по умолчанию для расчета выбросов метана (CH_4) со свалок твердых отходов (СТО). В данном приложении содержится дополнительная информация по данной модели:

- математическое обоснование модели ЗПП (см. раздел 3А1.2),
- ключевые вопросы по данной модели, такие как оценка массы способного к разложению органического углерода, пригодного для анаэробного разложения на СТО (DDOC_m) (раздел 3А1.2) и время задержки от момента помещения отходов на СТО и до начала процесса разложения (раздел 3А1.3),
- представление модели табличных расчетов, разработанной для того, чтобы облегчить использование метода ЗПП (3А1.4),
- как оценить длительное хранение углерода на СТО (раздел 3А1.5),
- различные подходы к модели ЗПП, включая объяснение разницы между методами МГЭИК, которые используются в настоящее время и в прошлом (раздел 3А1.6).

3А1.2 МОДЕЛЬ ЗАТУХАНИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА (ЗПП) – БАЗОВАЯ ТЕОРИЯ

Обоснование реакции затухания первого порядка состоит в том, что коэффициент протекания данной реакции является пропорциональным по отношению к количеству остающегося реагента (Barrow and Gordon, 1996), и в этом случае масса способного к разложению нестойкого органического углерода находится под воздействием анаэробных условий (DDOC_m). DDOC_m, вступающий в реакцию за промежуток времени dt , описан в дифференциальном уравнении 3А.1.1:

$$\begin{aligned} & \text{УРАВНЕНИЕ 3А1.1} \\ & \text{ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ ЗАТУХАНИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА} \\ & d(\text{DDOC}_m) = -k \cdot \text{DDOC}_m \cdot dt \end{aligned}$$

Где:

DDOC_m = масса способного к разложению органического углерода (DOC) на свалке во время t
 k = постоянная скорости разложения за y^{-1}

Решением данного уравнения является простое уравнение ЗПП.

$$\begin{aligned} & \text{УРАВНЕНИЕ 3А1.2} \\ & \text{УРАВНЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ ПЕРВОГО ПОРЯДКА} \end{aligned}$$

$$\text{DDOC}_m = \text{DDOC}_{m_0} \cdot e^{-kt}$$

Где:

DDOC_m = масса способного к разложению органического углерода, который будет разлагаться в анаэробных условиях на свалке во время t
 DDOC_{m₀} = масса DDOC на свалке во время 0, на момент начала реакции
 k = постоянная скорости разложения за y^{-1}
 t = время, выраженное в годах.

Подставив $t=1$ в уравнение 3А1.2 получаем, что в конце года 1 (через год после удаления отходов на свалку) количество DDOC_m, остающегося на свалке является следующим:

УРАВНЕНИЕ 3А1.3
DDOC_m, ОСТАЮЩЕЕСЯ ПОСЛЕ ГОДА РАЗЛОЖЕНИЯ

$$\text{At } t = 1, \text{ DDOC}_m = \text{DDOC}_{m_0} \cdot e^{-k}$$

DDOC_m, разложившийся на CH₄ и CO₂ к концу года 1 (DDOC_m decomp) затем станет:

УРАВНЕНИЕ 3А1.4
DDOC_m, РАЗЛОЖИВШИЙСЯ ПОСЛЕ ГОДА РАЗЛОЖЕНИЯ

$$\text{At } t = 1, \text{ DDOC}_m \text{ decomp} = \text{DDOC}_{m_0} \cdot (1 - e^{-k})$$

Уравнение общего случая для DDOC_m, разложившегося за период T⁸ в промежутках между (t-1) и t:

УРАВНЕНИЕ 3А1.5
DDOC_m, РАЗЛОЖИВШИЙСЯ ЗА ГОД T

$$\text{DDOC}_m \text{ decomp}_T = \text{DDOC}_{m_0} \cdot \left[e^{-k(t-1)} - e^{-kt} \right]$$

Уравнения 3А1.4 и 3А1.5 основываются на балансе массы за год.

В разделе 3.2.2 рассматривается параметр времени полураспада. Полураспад – это время, необходимое для снижения реакции на 50 процентов. Отношение между временем полураспада и постоянной коэффициента протекания реакции *k* определяется путем замены DDOC_m в уравнении 3А1.2 на 1/2 DDOC_m и *t* на *t*_{1/2}:

УРАВНЕНИЕ 3А1.6
СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПОЛУРАСПАДОМ И ПОСТОЯННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РЕАКЦИИ

$$k = \ln(2) / t_{1/2}$$

3А1.3 ИЗМЕНЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ В УРАВНЕНИИ ЗПП

На большинстве СТО отходы удаляются непрерывно в течение всего года, часто на ежедневной основе. Однако существует доказательство, что образование CH₄ начинается не сразу после помещения отходов на свалку (см раздел 3.2.3, глава 3).

Уравнения 3А1.3 и 3А1.4 предполагают, что реакция распада начинается 1 января **через** год после помещения отходов на свалку, то есть, в среднем с задержкой в шесть месяцев до начала реакции.

Эти уравнения можно легко преобразовать для того, чтобы смоделировать более раннее начало реакции распада, то есть, когда начало реакции распада происходит в тот же год, в который отходы были помещены на свалку. Этого можно добиться путем передвижения кривой e^{-kt} назад по временной оси. Например, для того чтобы смоделировать начало реакции на 1 октября того года, когда отходы были помещены на свалку (т.е., среднее время задержки до начала реакции составляет три месяца, а не шесть месяцев), уравнение 3А1.2 будет преобразовано следующим образом:

УРАВНЕНИЕ 3А1.7
УРАВНЕНИЕ ЗПП ДЛЯ РЕАКЦИИ РАСПАДА, НАЧИНАЮЩЕЙСЯ ЧЕРЕЗ 3 МЕСЯЦА

$$\text{DDOC}_m = \text{DDOC}_{m_0} \cdot e^{-k(t+0.25)}$$

Затем следуют два решения: одно для года помещения отходов на свалку и другое для остальных лет:

⁸ T обозначает год, для которого был произведен расчет по отношению к году помещения отходов на свалку.

УРАВНЕНИЕ 3А1.8**DDOC_m, РАЗЛОЖИВШИЙСЯ В ГОД ПОМЕЩЕНИЯ НА СВАЛКУ (ЗАДЕРЖКА 3 МЕСЯЦА)**

$$DDOCm_{decomp_Y} = DDOCm_0 \cdot (1 - e^{-0.25k})$$

УРАВНЕНИЕ 3А1.9**DDOC_m, ДИССИМИЛИРОВАННЫЙ В ГОД (Т) (ЗАДЕРЖКА 3 МЕСЯЦА)**

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCm_0 \cdot \left[e^{-k(T-0.75)} - e^{-k(T+0.25)} \right]$$

Где:

DDOC_{m decomp_Y} = DDOC_m, разложившийся в год помещения отходов на свалкуDDOC_{m decomp_T} = DDOC_m, разложившийся в год *T* (от точки *t-1* до точки *t* на временной оси)*T* = год от точки *t-1* до точки *t* на временной оси, где год 1 – это год после помещения отходов на свалку*Y* = год помещения на свалку

То же самое можно сделать при поиске уравнений для начала реакции в течение года после удаления.

3А1.3.1 Профиль удаления

В представленном здесь методе предполагается, что образование CH₄ из всех отходов, удаленных в течение первого года (год *Y*), начинается 1 января после удаления отходов. Год 1 определяется как год после удаления отходов.

Позже могут возникнуть некоторые неточности, так как в реальной действительности отходы, помещенные в начале года, начнут выделять CH₄ раньше, а отходы, помещенные на свалку в конце года – позже. Для того, чтобы оценить данную неточность было проведено сравнение результатов, рассчитанных с помощью представленного здесь простого метода ЗПП и с помощью метода каждого дня, который можно найти в разделе 3А1.6.3. С периодом полураспада в 10 лет, разница в результатах оценки выбросов CH₄, рассчитанных с помощью метода каждого дня и с помощью упрощенной версии этого метода составляет 1 день. С периодом полураспада в 3 года, разница в расчете выбросов с помощью простого метода составляет 3.5 дня, в отличие от точного метода каждого дня. Даже когда период полураспада составляет 1 год, разница между точным и упрощенным методами составляет всего 10 дней. Ошибка, возникающая из-за наличия допущений в простом методе, является незначительной по сравнению с другими неопределенностями в параметрах.

3А1.4 МОДЕЛЬ ЗПП ДЛЯ ТАБЛИЧНЫХ РАСЧЕТОВ

Одним из методов оценки выбросов CH₄ для всех свалок твердых отходов в стране является вынесение в табличных расчетах в отдельную колонку выбросов из твердых отходов, удаленных в каждом году. В модели МГЭИК по отходам образование CH₄ рассчитывается отдельно для каждого года удаления отходов, а общее количество образованного CH₄ определяется путем суммирования в конце. Ниже в таблице приведен типичный пример расчета для шести лет удаления 100 единиц DDOC_m в течение каждого года с постоянной скорости распада в 0.1 (время полураспада - 6.9 лет) и началом образования CH₄ в тот же год после удаления отходов. Приведенные в таблице цифры - это DDOC_m, разложившийся из отходов, помещенных в каждом году, из которых можно рассчитать выбросы CH₄.

При произведении расчетов за 50 лет, что является необходимым для модели ЗПП, получается довольно большая расчетная таблица. В табличных расчетах используется более компактный и удобный подход к произведению расчетов. Этого можно добиться с помощью прибавления DDOC_m, помещенного на свалку в течении одного года, к DDOC_m, оставшемуся за предыдущие годы. Расчет выбросов CH₄ для следующего года производится из этой «промежуточной суммы» DDOC_m, оставшегося на свалке. Таким образом, можно провести полный расчет для одного года, используя только три колонки, вместо создания отдельной колонки для каждого года (см. таблицу 3А1.1).

Основу данного подхода составляет реакция первого порядка. С реакцией первого порядка количество продукта (здесь разложившегося DDOC_m) всегда пропорционально количеству реактивного материала (здесь DDOC_m). Это означает, что время удаления DDOC_m не имеет отношения к количеству

образующегося каждый год CH_4 , а основной интерес представляет общее количество оставшегося на свалке DDOC_m .

Также это означает, что когда нам известно количество DDOC_m на СТО в начале года, в методе оценки каждый год может быть принят за год номер 1, а все расчеты могут быть произведены с помощью двух этих простых уравнений:

УРАВНЕНИЕ 3А1.10
МАССА СПОСОБНОГО К РАЗЛОЖЕНИЮ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА, НАКОПЛЕННОГО В КОНЦЕ ГОДА T

$$\text{DDOC}m_T = \text{DDOC}md_T + (\text{DDOC}m_{T-1} \cdot e^{-k})$$

УРАВНЕНИЕ 3А1.11
МАССА СПОСОБНОГО К РАЗЛОЖЕНИЮ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА, РАЗЛОЖИВШЕГОСЯ В ГОД T

$$\text{DDOC}m_{\text{decomp}T} = \text{DDOC}m_{T-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

Где:

реакция распада начинается 1 января через год после удаления.

$\text{DDOC}m_T$ = DDOC_m , накопленный на СТО к концу года T

$\text{DDOC}md_T$ = Масса DDOC , удаленного на СТО в год T

$\text{DDOC}m_{T-1}$ = DDOC_m , накопленный на СТО к концу года $(T-1)$

$\text{DDOC}m_{\text{decomp}T}$ = CH_4 , разложившийся в год T

ТАБЛИЦА 3А1.1 НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЗПП			
год	DDOCm удаленный	DDOCm накопленный	DDOCm разложившийся
0	100	100	0
1	100	190,5	9,5
2	100	272,4	18,1
3	100	346,4	25,9
4	100	413,5	33,0
5	100	474,1	39,3
6	100	529,0	45,1

3А1.4.1 Введение другого времени задержки в модель табличных расчетов

Предложенная выше таблица и уравнения допускают, что анаэробное разложение DDOC_m на CH_4 начинается 1 января после удаления отходов (средняя задержка перед началом реакции распада составляет 6 месяцев).

Если анаэробное разложение происходит раньше указанного выше срока, т.е., в тот же год, когда отходы были удалены на СТО, необходимо проводить дополнительные расчеты. Так как математическое соотношение всех категорий отходов или видов отходов/частей являются одинаковым, а отличаются только параметры, индексация различных категорий отходов и типов/частей отходов опущена в уравнениях 3А1.12-17 и 3А1.19.

УРАВНЕНИЕ 3А1.12**DDOC_m, ОСТАЮЩИЙСЯ НА СВАЛКЕ В КОНЦЕ ГОДА ПОСЛЕ УДАЛЕНИЯ**

$$DDOCm_{rem_T} = DDOCm_{d_T} \cdot e^{-k \cdot (13-M)/12}$$

(Колонка F в расчетном листе для CH₄ в модели табличных расчетов)**УРАВНЕНИЕ 3А1.13****DDOC_m, РАЗЛОЖИВШИЙСЯ В ГОД ПОСЛЕ УДАЛЕНИЯ**

$$DDOCm_{dec_T} = DDOCm_{d_T} \cdot \left[1 - e^{-k \cdot (13-M)/12} \right]$$

(Колонка G в расчетном листе для CH₄ в модели табличных расчетов)

Где:

DDOC_{m rem_T} = DDOC_m, удаленный в год *T*, который остается в конце года *T* (Гг)DDOC_{m d_T} = DDOC_m, удаленный в год *T* (Гг)DDOC_{m dec_T} = DDOC_m, удаленный в год *T*, который разложился к концу года *T* (Гг)*T* = год *T* (учитываемый в кадастре год)*M* = месяц начала реакции, соответствует среднему времени задержки, которое составляет +7 (месяц)*k* = коэффициент постоянной реакции (y¹)

Уравнения 3А1.10 и 3А1.11 затем преобразуются следующим образом:

УРАВНЕНИЕ 3А1.14**DDOC_m, РАЗЛОЖИВШИЙСЯ К КОНЦУ ГОДА *T***

$$DDOCm_{a_T} = DDOCm_{rem_T} + (DDOCm_{a_{T-1}} \cdot e^{-k})$$

(Колонка H в расчетном листе для CH₄ в модели табличных расчетов)**УРАВНЕНИЕ 3А1.15****DDOC_m, РАЗЛОЖИВШИЙСЯ В ГОД *T***

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCm_{dec_T} + DDOCm_{a_{T-1}} \cdot (1 - e^{-k})$$

(Колонка I в расчетном листе для CH₄ в модели табличных расчетов)

Где:

DDOC_{m a_T} = DDOC_m, накопленный на СТО к концу года *T*, ГгDDOC_{m a_{T-1}} = DDOC_m, накопленный на СТО к концу года (*T*-1), ГгDDOC_{m decomp_T} = DDOC_m, разложившийся в год *T*, Гг

Табличные расчеты основаны на уравнениях 3А1.12 - 3А1.15. В случае, если начало реакция назначено на первое января года, следующего после удаления отходов, то это соответствует среднему времени задержки, которое составляет 6 месяцев (месяц 13). Тогда уравнения 3А1.14 и 3А1.15 соответствуют уравнениям 3А1.10 и 3А1.11.

3А1.4.2 Расчет DDOC_m из количества удаленных отходов

В табличных расчетах содержатся данные по удалению отходов. Данные могут приводиться в соответствии с типом отходов (вариант состава отходов) или как крупногабаритные отходы. При использовании варианта состава отходов, отходы разделяются по виду/материалам (бумажные и картонные отходы, пищевые отходы, отходы, образующиеся в садах и парках, древесные отходы, текстильные отходы и другие виды). В случае применения варианта крупногабаритных отходов, отходы разделяются по основным категориям (КТО и промышленные отходы). Не все DOC_m, попадающие на

свалку, будут разлагаться в анаэробных условиях на СТО. Параметр DOC_f является частью DOC_m , который в действительности будет разлагаться на СТО (см раздел 3.2.3 в главе 3). Нестойкий DOC_m ($DDOC_m$) попадающий на СТО рассчитывается следующим образом:

$$\text{УРАВНЕНИЕ 3А1.16}$$

$$\text{РАСЧЕТ НЕСТОЙКОГО } DDOC_m \text{ ИЗ ДАННЫХ ПО УДАЛЕНИЮ ОТХОДОВ}$$

$$DDOCmd_T = W_T \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

(Колонка D в расчетном листе для CH_4 в модели табличных расчетов)

Где:

- $DDOCmd_T$ = $DDOC_m$, удаленный в год T Гг
- W_T = масса отходов, удаленных в год T , Гг
- DOC = способный к разложению органический углерод в год удаления на свалку (дробь), Гг С/Гг отходов
- DOC_f = часть DOC , которая может разлагаться в анаэробных условиях на СТО (дробь)
- MCF = поправочный коэффициент для CH_4 для года удаления (дробь) (см. раздел 3.2.3)

3А1.4.3 Расчет образования CH_4 из разложившегося $DDOC_m$

Расчет количества CH_4 , образованного из $DDOC_m$, который подвергается разложению, заключается в следующем:

$$\text{УРАВНЕНИЕ 3А1.17}$$

$$CH_4 \text{ образованный}_T = DDOC_m \text{ decomp}_T \cdot F \cdot 16/12$$

(Колонка J в расчетном листе для CH_4 в модели табличных расчетов)

Где:

- $CH_4 \text{ образованный}_T$ = количество CH_4 , образованное из $DDOC_m$, который подвергается разложению
- $DDOC_m \text{ decomp}_T$ = $DDOC_m$, разложившийся в год T , Гг
- F = доля CH_4 , по объему, в образованном на свалках газе
- $16/12$ = соотношение молекулярного веса CH_4/C (соотношение)

CH_4 , образованный каждой категорией удаленных отходов, добавлен для того, чтобы получить общее количество CH_4 , образованное за каждый год. Выбросы CH_4 рассчитываются путем вычитания сначала рекуперированного газа CH_4 , а затем CH_4 окисленного в диоксид углерода в верхнем слое:

$$\text{УРАВНЕНИЕ 3А1.18}$$

$$CH_4 \text{ выделенный из СТО}$$

$$CH_4 \text{ выделенный}_T = \left(\sum_x CH_4 \text{ образованный}_{x,T} - R_T \right) \cdot (1 - OX_T)$$

(Конечный результат колонки расчета на листе с результатами)

Где:

- $CH_4 \text{ выделенный}_T$ = CH_4 , выделенный в год T , Гг
- x = категория отходов или тип/материал
- R_T = рекуперированный CH_4 в год T , Гг
- OX_T = коэффициент окисления в год T , (доля)

3A1.5 УГЛЕРОД, ХРАНЯЩИЙСЯ НА СТО

Только часть DOCm в отходах, удаленных на СТО, распадется на CH₄ и CO₂. Значение MCF ниже 1 означает, что часть DOCm разложится аэробно на CO₂, но не на CH₄. DOCm, доступный для анаэробного распада, также не будет подвергнут полному разложению. Подлежащая разложению часть DOCm (DDOCmd) приведена в уравнении 3A1.16. Часть DOCm, которая не подлежит разложению, будет длительное время храниться на СТО, и будет соответствовать:

УРАВНЕНИЕ 3A1.19
РАСЧЕТ ХРАНЯЩЕГОСЯ ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ DOCm ИЗ ДАННЫХ ПО УДАЛЕНИЮ ОТХОДОВ

$$DOCm_{\text{длит. хранения}_T} = W_T \cdot DOC \cdot (1 - DOC_f) \cdot MCF$$

Используя значение по умолчанию для $DOC_f = 0.5$, 50 процентов удаленного DOCm на длительное время останется на свалке. Уравнение 19 описывает годовое повышение в запасах длительное время хранящегося на СТО углерода. Длительное время хранящийся углерод в заготовленных лесоматериалах (ЗЛМ), удаленных на СТО (см. главу 12 тома «Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования»), может быть рассчитан с помощью данного уравнения. Для варианта, основанного на составе отходов, количество DOCm, который длительное время хранится в заготовленных лесоматериалах, удаленных на СТО, рассчитывается напрямую из информации о материалах в практических листах. При использовании варианта крупногабаритных отходов, необходимо произвести расчет части отходов, полученных из заготовленных лесоматериалов. В случае, когда эти данные не известны, можно использовать региональные и применимые к конкретной стране данные о долях по умолчанию для бумажных и картонных отходов, отходов, образующихся в садах и парках, древесных отходов (См. раздел 2.3). Расчеты приведены в модели табличных расчетов под названием «Stored C» и «HWP».

3A1.6 РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ ЗПП

Для оценки выбросов CH₄ со СТО применялись различные подходы ЗПП. Ниже рассматривается разница между подходами, использованными в данных *Руководящих принципах*, предыдущими подходами МГЭИК и так называемыми точными методами ЗПП. Используемый в данном томе подход был выбран в основном по следующим причинам:

- данный метод описывает реакцию ЗПП с математической точки зрения более точно, чем предыдущие подходы МГЭИК,
- легок для понимания,
- легок в использовании в модели табличных расчетов,
- в качестве дополнительной опции в нем приводится оценка изменений в хранящемся на СТО углероде (годовые изменения в запасах углерода, как для длительного хранения так и для непродолжительного хранения, так как баланс массы перехода углерода в CH₄ и CO₂ на СТО сохраняется с помощью подхода)

3A1.6.1 *Руководящие принципы 1996 г.* – Подход интенсивности реакции

В *Пересмотренных Руководящих принципах МГЭИК (Руководящие принципы, 1996 г., (МГЭИК, 1997)* оценка выбросов CH₄ со СТО была основана на уравнении интенсивности реакции. Это весьма распространенный взгляд на изменение массы в химической реакции. Данный расчет можно получить с помощью дифференциации уравнения 3A1.2 с учетом временной составляющей:

УРАВНЕНИЕ 3A1.20
КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРВОГО ПОРЯДКА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ РЕАКЦИИ

$$DDOCm_{\text{reaction rate}} = -d(DDOCm)/dt = k \cdot DDOCm_0 \cdot e^{-kt}$$

Коэффициент уравнения реакции показывает интенсивность реакции в любое время, а интенсивность реакции движется по кривой. Поэтому, чтобы определить количество вступившего в реакцию DDOCm за промежуток времени, данное уравнение необходимо интегрировать.

Нам хотелось бы определить $DDOC_m$, разложившийся на CH_4 и CO_2 за календарный год. Началом является год номер 1, проходящих по временной оси из точки 0 до точки 1. Год номер 1 соединен с точкой 1 на временной оси. По этой причине интеграция должна быть выполнена из $t-1$ в t , что приводит к уравнению, схожему с уравнением 3А1.5.

Однако уравнение, представленное в *Руководящих принципах 1996 г.* (уравнение 4, глава 6) таково:

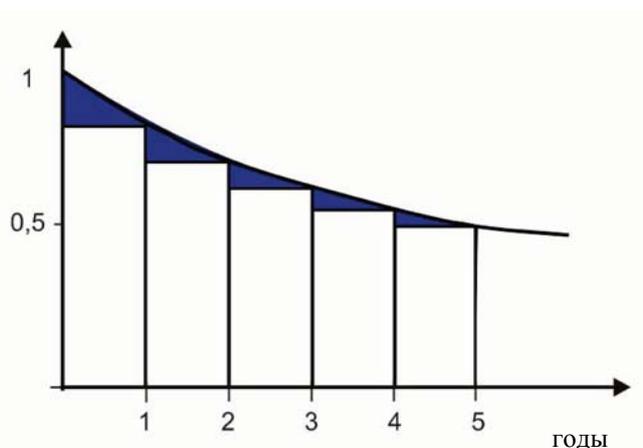
УРАВНЕНИЕ 3А1.21
УРАВНЕНИЕ РУКОВОДЯЩИХ ПРИНЦИПОВ МГЭИК 1996 г. для $DDOC_m$, ПОДВЕРЖЕННОГО РЕАКЦИИ В ГОД Т

$$DDOC_m \text{ decomp}_T = k \cdot DDOC_m_0 \cdot e^{-kt}$$

Фактически, оно является уравнением коэффициента реакции. По сути это означает, что годовое образование CH_4 рассчитывается из коэффициента реакции в конце года. Это приблизительное значение, подразумевает суммирование серии прямоугольников под коэффициентом кривой реакции, вместо интегрирования всей области под кривой. Ошибка возникает из-за приблизительных значений; небольшие треугольники, изображенные вверху колонки в рисунке 3А1.1 не привлекают внимания, и поэтому не получается достигнуть баланса массы за год. Метод, основанный на уравнении в *Руководящих принципах 1996 г.*, использующий период полураспада в 10 лет, даст результаты, которые будут на 3.5 процента ниже, чем расчет полного баланса массы, использованный в данных *Руководящих принципах* (см. уравнение 3А.1.4-5)

Однако если используется метод, изложенный в *Руководящих принципах 1996 г.*, с периодом полураспада, полученным специально для данного метода, расчеты будут верными.

Рисунок 3А1.1 Ошибка, полученная из-за неполного интегрирования кривой интенсивности реакции



3А1.6.2 Руководящие указания МГЭИК по эффективной практике 2000 г.

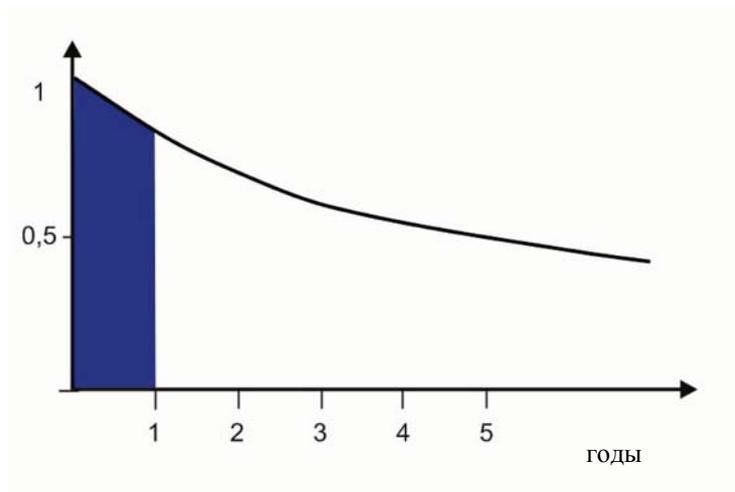
В *Руководящих указаниях МГЭИК по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов (РУЭП2000, МГЭИК, 2000)* приведено уравнение 5.1, где нормализующий множитель A внесен в коэффициент уравнения реакции. Когда этот «нормализующий фактор» умножен на уравнение 5.1, результаты получаются с помощью решения интегрированием.

УРАВНЕНИЕ 3А1.22
УРАВНЕНИЕ ЗПП МГЭИК РУЭП2000 для DDOC_m, ПОДВЕРЖЕННОГО РЕАКЦИИ В ГОД T

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCm_0 \cdot \left[e^{-kt} - e^{-k(t+1)} \right]$$

Данное уравнение соответствует правильному уравнению уравнение 3А1.5), так как интегрирует кривую распада. Однако, за год 1 оно интегрирует из точки 1 в точку 2 на временной оси, и поэтому CH₄, образованный в первые годы протекания реакции не учитывается (см. рисунок 3А1.2). Это означает, что с периодом полураспада в 10 лет уравнение РУЭП2000 рассчитывает результаты, которые на 7 процентов ниже тех, что были рассчитаны с применением подхода, учитывающего баланс полной массы.

Рисунок 3А1.2 Последствие ошибки в уравнении РУЭП2000



Значение нормализующего фактора заключается в заполнении маленьких треугольников сверху колонок в рисунке 3А1.1. Это не приводит к успеху, так как использованный нормализующий фактор соответствует интегрированию, проходящему из точки t в $(t+1)$ на временной оси. Так как интеграция, использующая в качестве основы количество лет, должна пройти из $t-1$ в t , то нормализующий фактор, заполняющий всю область под коэффициентом кривой реакции, стал бы приравняться к $A = ((1/e^{-k}) - 1)/k$.

3А1.6.3 Математически точная модель затухания первого порядка

Как было описано выше, модель затухания первого порядка (ЗПП) может быть математически равнозначной модели, для которой общее количество DOC считается в качестве удаленного в одной точке времени в каждом году удаления отходов, т.е., в определенную дату. Если задержки в начале реакции распада отсутствуют, эта дата придется на середину года, т.е., 1 июля, с задержкой в 6 месяцев началом реакции с полным количеством материала станет 31 декабря/1 января. Это предположение приводит к многочисленным ошибкам, которые в какой-то степени могут сопоставляться с неопределенностью в понимании химического процесса, данных о деятельности, коэффициентов выбросов и других параметров расчета выбросов.

Ниже представлена альтернативная формулировка метода ЗПП, которая служит здесь для полноты. Задержка начала процесса распада может быть представлена наряду с простой пошаговой формулировкой.

Уравнение 3А1.23 отображает формулировку ЗПП с коэффициентом удаления $D(t)$. Первая величина в квадратных скобках отражает поступление в накопления углерода на СТО (удаление), вторая величина отражает отток со сто (углерод в форме CH₄); сумма обеих величин отображает общие изменения в запасах углерода на СТО.

УРАВНЕНИЕ 3А1.23
ЗПП С КОЭФФИЦИЕНТОМ УДАЛЕНИЯ D(t)

$$dDDOCm(t) = [D(t) - k \cdot DDOCm(t)] dt$$

Где:

- $dDDOCm(t)$ = изменение в $DDOCm$ во время t
 $D(t)$ = коэффициент удаления $DDOCm$ во время t
 $DDOCm(t)$ = $DDOCm$, доступный во время t для разложения

В случае наличия задержки Δ лет в начале процесса распада после того, как $DDOCm$ был удален, необходимо отличать часть запаса, которая доступна для разложения, что можно сделать с помощью уравнения 3А1.23, и нейтральную часть в запасе. Для коэффициента удаления $D(t)$, величина которого постоянна в течение каждого года утилизации (и равна количеству $DDOC$, удаленного в этом году, деленному на один год), можно показать, что запасы углерода в конце года i может быть выражен в исчислении запасов углерода в конце года $i-1$ и удаленного количества в году i и году $i-1$ (Pingoud and Wagner, 2006):

УРАВНЕНИЕ 3А1.24
НАКОПЛЕННЫЙ ЗА ГОД СПОСОБНЫЙ К РАЗЛОЖЕНИЮ ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД

$$DDOCma(i+1) = a \cdot DDOCma(i) + b \cdot DDOCmd(i-1) + c \cdot DDOCmd(i)$$

Где:

- $DDOCma(i)$ = запас $DDOC$ на СТО в начале года i , Гг С
 $DDOCmd(i)$ = $DDOCm$, помещенный в течение года i , Гг С
 a = e^{-k} (постоянная)
 b = $1/k \cdot (e^{-k(1-\Delta)} - e^{-k}) - \Delta \cdot e^{-k}$ (постоянная)
 c = $1/k \cdot (1 - e^{-k(1-\Delta)}) + \Delta$ (постоянная)
 Δ = Постоянная задержки, в годах (между 0 и 1 годом)

Для сразу начинающейся задержки ($\Delta=0$), постоянная b соответствует нулю и поэтому уравнение 3А1.24 сводится к уравнению, которое устанавливает связь между запасами углерода в данный год i , запасами углерода в предыдущий год $i-1$ и количеством DOC , помещенным за год i .

Позже может быть установлено (Pingoud and Wagner, 2006), что эта форма может применяться для рекурсивного расчета соответствующего CH_4 , образованного в данный год.

УРАВНЕНИЕ 3А1.25
 CH_4 , ОБРАЗОВАННЫЙ ЗА ГОД

$$CH_4 gen(i) = q \cdot [a' \cdot DDOCma(i) - b' \cdot DDOCmd(i-1) + c' \cdot DDOCmd(i)]$$

Где:

- $CH_4 gen(i)$ = CH_4 образованный за год i , тонн С
 $DDOCma(i)$ = запас $DDOC$ на СТО в начале года i , Гг С
 $DDOCd(i)$ = $DDOC$, помещенный в течение года i , Гг С
 q = $MCF \cdot F \cdot 16/12$
 a' = $1 - e^{-k} = 1 - a$ (постоянная)
 b' = $1/k \cdot (e^{-k(1-\Delta)} - e^{-k}) - \Delta \cdot e^{-k} = b$ (постоянная)
 c' = $1 - \Delta - 1/k \cdot (1 - e^{-k(1-\Delta)}) = 1 - c$ (постоянная)

Ссылки

Pingoud, K. and Wagner, F. (2006). Methane emissions from landfills and decay of harvested wood products: the first order decay revisited. IIASA Interim Report IR-06-004.

Barrow, Gordon M. (1996). *Physical Chemistry*, Mc Graw Hill, NewYork, 6th ed.

IPCC (2000). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Penman, J., Kruger D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Enmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

IPCC (1997). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.