НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ЭКОПРОМ»

АКАДЕМИЯ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА им. К.Д. ПАМФИЛОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА
И ГИГИЕНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ им. А.Н. СЫСИНА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОХРАНЫ
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА (НИИ АТМОСФЕРА)

ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ЛОГУС»

МЕТОДИКА

РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ОТ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Москва
2004

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ЭКОПРОМ»

АКАДЕМИЯ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА им. К.Д. ПАМФИЛОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА
И ГИГИЕНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ им. А.Н. СЫСИНА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОХРАНЫ
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА (НИИ АТМОСФЕРА)

ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ЛОГУС»

МЕТОДИКА

расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов

(издание дополненное и переработанное)

Москва
2004

Аннотация

Методика предназначена для использования при проведении инвентаризации выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и разработке проектов нормативов предельно допустимых и временно согласованных выбросов для полигонов твердых бытовых и промышленных отходов (ТБО и ПО), контроле за соблюдением установленных нормативов ПДВ (ВСВ) и при оценке выбросов от полигонов ТБО и ПО в предпроектной и проектной документации на размещение новых и расширение существующих объектов.

Настоящая методика распространяется на основные виды газообразных загрязняющих веществ, образующихся в результате биотермического анаэробного процесса распада органических составляющих твердых бытовых и промышленных отходов и выделяющихся с поверхностей полигонов отходов в атмосферу в любом регионе Российской Федерации.

Методика содержит примерный морфологический состав и основные характеристики отходов, вывозимых на полигоны, поэтапную временную характеристику процессов, происходящих в толще отходов, захороненных на полигонах, способы определения количественного и качественного состава выделяемого полигонами биогаза, методы расчета удельных и валовых выбросов образующегося биогаза в целом и по компонентам.

Приведены примеры расчетов.

С замечаниями и предложениями по настоящей «Методике» можно обращаться по телефону: 432-70-55 (Москва), 247-86-58 (Санкт-Петербург).

Авторы разработки методики:

Абрамов Н.Ф. — член-корреспондент Жилищно-коммунальной академии, начальник отдела санитарной очистки городов Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова

Санников Э.С. — инженер научно-производственного предприятия «Эко-пром»

Русаков Н.В. — доктор медицинских наук НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина

Миляев М.Б. — к.ф.-м.н., академик МАНЭБ, директор научно-исследовательского института охраны атмосферного воздуха (НИИ Атмосфера)

Халевин Р.Г. — к.т.н., член-корреспондент Международной академии экологии и природопользования им. академика В.С. Алтунина (НПП «ЛОГУС»)

Лифанов А.В. — начальник отдела НПП «ЛОГУС»

Буренин Н.С. — к.г.н., начальник отдела научно-исследовательского института охраны атмосферного воздуха (НИИ Атмосфера)

Турбин А.С. — к.т.н., старший научный сотрудник научно-исследовательского института охраны атмосферного воздуха (НИИ Атмосфера)

Содержание

Введение 5

1. Общая характеристика полигонов отходов 6

2. Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух с полигонов 8

Литература 13

Приложение. Примеры расчетов

Расчет максимальных разовых и валовых выбросов загрязняющих веществ полигоном твердых бытовых и промышленных отходов 14

Введение

В толще твердых бытовых и промышленных отходов, захороненных на полигонах, под воздействием микрофлоры происходит биотермический анаэробный процесс распада органической составляющей отходов.

Конечным продуктом этого процесса является биогаз, основную объемную массу которого составляют метан и диоксид углерода. Наряду с названными компонентами биогаз содержит пары воды, оксид углерода, оксиды азота, аммиак, углеводороды, сероводород, фенол и в незначительных количествах другие примеси, обладающие вредным для здоровья человека и окружающей среды воздействием.

Количественный и качественный состав биогаза зависит от многих факторов, в том числе, от климатических и геологических условий места расположения полигона, морфологического и химического состава завозимых отходов, условий складирования (площадь, объем, глубина захоронения), влажности отходов, их плотности и т.д., и подлежит уточнению в каждом конкретном случае, но не ранее двух лет с начала эксплуатации полигона.

В настоящей методике использованы данные статистической обработки результатов, полученных АКХ им. К.Д. Памфилова и другими организациями, в том числе НПП «Экопром», методами полевых замеров на многих полигонах Московской области и лабораторных исследований.

Это дает основание считать, что приведенные в методике величины, уточненные применительно к конкретным условиям, правомочно использовать при проведении инвентаризации выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и разработке проектов нормативов ПДВ для полигонов твердых бытовых и промышленных отходов (ТБО и ПО), контроле за соблюдением установленных нормативов ПДВ (ВСВ) и при оценке выбросов от полигонов ТБО и ПО в предпроектной и проектной документации на размещение новых и расширение существующих объектов на всей территории Российской Федерации и в работах, перечисленных в данной методике.

1. Общая характеристика полигонов отходов

На большей части полигонов Российской Федерации складируются как бытовые, так и промышленные отходы, разрешенные в установленном порядке для захоронения совместно с бытовыми.

Морфологический состав твердых бытовых отходов (ТБО), складируемых на полигонах, по усредненным данным исследований АКХ по Москве и Московской области [2] в процентах по массе следующий:

бумага, картон	38,0
пищевые отходы	30,0
дерево	1,5
текстиль	5,5
кожа, резина	1,3
полимерные материалы	5,5
кости	0,7
черный металл	2,5
цветной металл	0,5
стекло	4,3
камни, керамика	1,4
отсев менее 16 мм	8,8

Морфологический состав ТБО для различных регионов РФ примерно одинаков и мало отличается от состава ТБО, полученного по усредненным данным исследований по Московскому региону.

Плотность (насыпная масса) отходов составляет 0,2–0,3 т/куб. м, влажность колеблется от 40% до 55%, содержание органического вещества (в процентах на сухую массу) может достигать 70%.

Что же касается промышленных отходов (ПО), то их состав зависит от профиля промышленных предприятий того или иного региона и подлежит уточнению в каждом конкретном случае при обследовании полигона, но не ранее двух лет с начала его эксплуатации.

Обследование полигона ТБО и ПО рекомендуется проводить не ранее двух лет с начала его эксплуатации.

По общепринятой технологии захоронения отходов предусматривается планировка и уплотнение завозимых отходов, а также регулярная изоляция грунтом рабочих слоев отходов.

В начальный период (около года) процесс разложения отходов носит характер их окисления, происходящего в верхних слоях отходов, за счет кислорода воздуха, содержащегося в пустотах и проникающего из атмосферы. Затем по мере естественного и механического уплотнения отходов и изолирования их грунтом усиливаются анаэробные процессы с образованием биогаза, являющегося конечным продуктом биотермического анаэробного распада органической составляющей отходов под воздействием микрофлоры. Биогаз через толщу отходов и изолирующих слоев грунта выделяется в атмосферу, загрязняя ее. Если условия складирования не изменяются,

процесс анаэробного разложения стабилизируется с постоянным по удельному объему выделением биогаза практически одного газового состава (при стабильности морфологического состава отходов).

Различают пять фаз процесса распада органической составляющей твердых отходов на полигонах:

1-я фаза — аэробное разложение;

2-я фаза — анаэробное разложение без выделения метана (кислое брожение);

3-я фаза — анаэробное разложение с непостоянным выделением метана (смешанное брожение);

4-я фаза — анаэробное разложение с постоянным выделением метана;

5-я фаза — затухание анаэробных процессов.

Первая и вторая фазы имеют место в первые 20—40 дней с момента укладки отходов, продолжительность протекания третьей фазы — до 700 дней. Длительность четвертой фазы — определяется местными климатическими условиями и для различных регионов РФ колеблется в интервале от 10 (на юге) до 50 лет (на севере), если условия складирования не изменяются.

За период анаэробного разложения отходов с постоянным выделением метана и максимальным выходом биогаза (четвертая фаза) генерируется около 80% от общего количества биогаза. Остальные 20% приходятся на первые три и конечную фазы, в периоды которых в образовании продуктов разложения принимают участие только часть находящихся на полигоне отходов (верхние слои отходов и медленно разлагаемая микроорганизмами часть органики). Количественный и качественный состав выбросов, приходящихся на эти фазы, зависит от состава отходов, определяемого при обследовании того или иного конкретного полигона.

Поэтому расчет выбросов биогаза целесообразно проводить для условий стабилизированного процесса разложения отходов при максимальном выходе биогаза (четвертая фаза) с учетом того, что стабилизация процесса газовыделения наступает в среднем через два года после захоронения отходов. На эту фазу приходится 80% выделяемого биогаза. А остальные 20% выбросов учитываются концентрациями компонентов биогаза, определяемыми анализами (при анализах отобранных проб биогаза не представляется возможным дифференцировать, какая часть из общей определяемой концентрации того или иного компонента создается при смешанном брожении, а какая — при анаэробном разложении с постоянным выделением метана).

Процесс минерализации отходов происходит в течение 1-го года — на 12 см, 2-го года — на 21 см, 3-го года — на 27 см и т.д.

Поступление биогаза с поверхности полигона в атмосферный воздух идет равномерно, без заметных колебаний его количественных и качественных характеристик.

2. Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух с полигонов

Расчет выбросов газообразных загрязняющих веществ в атмосферный воздух в данной методике приводится для нормального режима эксплуатации полигона ТБО и ПО.

Выбросы твердых и газообразных вредных веществ при работе автотранспортной и дорожной техники и котельных (при их наличии), а также выбросы твердых вредных веществ при складировании, перемещении и хранении отходов рассчитываются при необходимости по соответствующим действующим методикам [9, 10].

Возгорание отходов на разных участках полигона рассматривается как аварийные выбросы.

На количественную характеристику выбросов загрязняющих веществ с полигонов отходов влияет большое количество факторов, среди которых:

— климатические условия;
— рабочая (активная) площадь полигона;
— сроки эксплуатации полигона;
— количество захороненных отходов;
— мощность слоя складированных отходов;
— соотношение количеств завезенных бытовых и промышленных отходов;
— морфологический состав завезенных отходов;
— влажность отходов;
— содержание органической составляющей в отходах;
— содержание жироподобных, углеводоподобных и белковых веществ в органике отходов;
— технология захоронения отходов;

Удельный выход биогаза за период его активной стабилизированной генерации при метановом брожении определяется по уравнению:

$$Q = 10^{-4} R \left(0{,}92\, Ж + 0{,}62\, У + 0{,}34\, Б\right), \qquad (1)$$

где: Q — удельный выход биогаза за период его активной генерации, кг/кг отходов;

R — содержание органической составляющей в отходах, %;

$Ж$ — содержание жироподобных веществ в органике отходов, %;

$У$ — содержание углеводоподобных веществ в органике отходов, %;

$Б$ — содержание белковых веществ в органике отходов, %.

R, $Ж$, $У$ и $Б$ — определяются анализами отбираемых проб отходов.

Жиры и белки определяются по стандартным методикам аналитического анализа (жиры — экстрагированием, белки — с применением гидролиза). Методика определения углеводов описана в трудах АКХ им. К.Д. Памфилова «Методика исследования свойств твердых отбросов» [2].

Уравнение (1) составлено применительно к абсолютно сухому веществу отходов.

В реальных условиях отходы содержат определенное количество влаги, которая сама по себе биогаз не генерирует. Следовательно, выход биогаза, отнесенный к единице веса реальных влажных отходов, будет меньше, чем отнесенный к той же единице абсолютно сухих отходов в $10^{-2}(100-W)$ раз, так как в весовой единице влажных отходов абсолютно сухих отходов, генерирующих биогаз, будет всего $10^{-2}(100-W)$ от этой единицы.

Здесь W — фактическая влажность отходов в %, определенная анализами проб отходов.

С учетом вышесказанного уравнение выхода биогаза при метановом брожении реальных влажных отходов принимает вид:

$$Q_W = 10^{-6} R (100 - W)(0{,}92\,Ж + 0{,}62\,У + 0{,}34\,Б), \qquad (2)$$

где сомножитель $10^{-2}(100-W)$ учитывает, какова доля абсолютно сухих отходов, для которых составлено уравнение (1), в общем количестве реальных влажных отходов.

Количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне отходов, определяется по формуле:

$$P_{уд.} = \frac{Q_W}{t_{сбр.}} \cdot 10^3 \text{ кг/т отходов в год}, \qquad (3)$$

где: $t_{сбр.}$ — период полного сбраживания органической части отходов, в годах, определяемый по приближенной эмпирической формуле:

$$t_{сбр.} = \frac{10248}{T_{тепл.} \cdot (t_{ср.тепл.})^{0{,}301966}} \qquad (4)$$

где: $t_{ср.\,тепл.}$ — средняя из среднемесячных температура воздуха в районе полигона твердых бытовых и промышленных отходов (ТБО и ПО) за теплый период года ($t_{ср.\,мес.} > 0$), в °С;

$T_{тепл.}$ — продолжительность теплого периода года в районе полигона ТБО и ПО, в днях;

10248 и *0,301966* — удельные коэффициенты, учитывающие биотермическое разложение органики.

Органические вещества, содержащиеся в отходах, обладают различной интенсивностью разложения. Так, резина, кожа, полимерные материалы и т.п. разлагаются микроорганизмами очень медленно, в то время как органические составляющие отходов, содержащие белковые вещества, крахмал, разлагаются очень быстро. Таким образом, можно считать, что органическая составляющая отходов состоит из «пассивного» (не генерирующего или очень медленно генерирующего) органического вещества и «активного» (генерирующего) органического вещества. Следовательно, от морфологического состава отходов зависит интенсивность образования и

выделения биогаза и в зависимости от него и от климатических условий колеблется продолжительность периода стабилизированного активного выхода биогаза.

Плотность биогаза определяется по закону аддитивности как суммарная величина произведений объемных концентраций его компонентов на их плотности:

$$\rho_{б.г.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_{об.i} \cdot \rho_i}{100}, \ кг/куб.\ м, \qquad (5)$$

где: $C_{об.i}$ — содержание i-го компонента в биогазе, объемные %;
P_i — плотность i-го компонента биогаза, кг/куб. м;
n — количество компонентов в биогазе.

Примечание: Средняя плотность биогаза составляет обычно 0,95–0,98 плотности воздуха, т.е. при плотности воздуха 1,2928 кг/куб. м средняя плотность биогаза будет:

$$1{,}2928 \cdot 0{,}965 = 1{,}24755 \ кг/куб.\ м$$

С другой стороны, связь плотностей компонентов, их концентраций в биогазе и объемного процентного содержания определяются формулой:

$$C_{об.i} = 10^{-4} \frac{C_i}{\rho_i}, \ \%, \qquad (6)$$

где: C_i — концентрация i-го компонента в биогазе, мг/куб. м.

Формула для определения плотности биогаза выводится совместным решением уравнений (5) и (6):

$$\rho_{б.г.} = 10^{-6} \sum_{i=1}^{n} C_i, \ кг/куб.\ м \qquad (7)$$

В нижеприведенной таблице указаны плотности наиболее вероятных компонентов биогаза:

Таблица 1

№№ п.п.	*Наименование вещества*	*Плотность кг/куб. м*
1	Метан	0,717
2	Углерода диоксид	1,977
3	Толуол	0,867
4	Аммиак	0,771
5	Ксилол	0,869
6	Углерода оксид	1,250

№№ п.п.	Наименование вещества	Плотность кг/куб. м
7	Азота диоксид	1,490
8	Формальдегид	0,815
9	Ангидрид сернистый	2,930
10	Этилбензол	0,867
11	Бензол	0,869
12	Сероводород	1,540
13	Фенол	1,071

Состав биогаза и концентрации компонентов в нем определяются (через 2 года после начала эксплуатации) анализами проб биогаза, отобранных в ряде точек по площади полигона на глубине 1,0–1,5 метра (количество и расположение точек отбора зависит от активной площади полигона и числа разнородных участков) путем отсоса биогаза и дальнейших его химических анализов по существующим утвержденным методикам.

Для полигонов складирования осадков сточных вод и активного ила в случае обнаружения в выбросах биогаза смеси природных меркаптанов, нормируемой по этилмеркаптану, последний также включается в перечень ингредиентов биогаза и пробы биогаза анализируются на концентрацию в нем этилмеркаптана.

Используя полученные анализами концентрации компонентов в биогазе и рассчитанную его плотность, определяется весовое процентное содержание этих компонентов в биогазе:

$$C_{вес\ i} = 10^{-4} \frac{C_i}{\rho_{б\ г}},\ \%\qquad (8)$$

Размерности в этой формуле:

C_i — концентрации компонентов в биогазе — [мг/куб. м];

$P_{б\ г}$ — плотность биогаза — [кг/куб. м].

По рассчитанным количественному выходу биогаза за год, отнесенному к одной тонне отходов (формула 3) и весовым процентным содержаниям компонентов в биогазе (формула 8) определяются удельные массы компонентов, выбрасываемые в год, по формуле:

$$P_{уд_i} = \frac{C_{вес\ i} \cdot P_{уд}}{100},\ кг/т\ отходов\ в\ год\qquad (9)$$

При использовании расчетного метода инвентаризации выбросов действующего полигона и при проектировании нового или расширении существующего полигона ТБО может приниматься следующий среднестатистический состав биогаза, рекомендуемый при проектировании:

Таблица 2

Компонент	$C_{вес\ i}$, %
Метан	52,915
Толуол	0,723
Аммиак	0,533
Ксилол	0,443
Углерода оксид	0,252
Азота диоксид	0,111
Формальдегид	0,096
Этилбензол	0,095
Ангидрид сернистый	0,070
Сероводород	0,026

Для расчета величин выбросов подсчитывается количество активных отходов, *стабильно генерирующих биогаз, с учетом того, что период стабилизированного* активного выхода биогаза в среднем составляет двадцать лет и что фаза анаэробного стабильного разложения органической составляющей отходов наступает спустя в среднем два года после захоронения отходов, т.е. отходы, завезенные в последние два года, не входят в число активных.

При подсчете возможны два варианта.

Первый — полигон функционирует менее двадцати лет, т.е. менее периода полного сбраживания ($t_{сбр}$). В этом случае учитываются все отходы, завезенные с начала работы полигона, за исключением отходов, завезенных в последние два года. Второй — полигон функционирует более двадцати лет, т.е. более периода полного сбраживания ($t_{сбр}$). В этом случае подсчитываются отходы, завезенные за последние двадцать лет (или ($t_{сбр}$) без учета отходов, завезенных в последние два года.

Максимальные разовые выбросы i-го компонента биогаза с полигона определяются по формуле:

$$M_{сум} = \frac{P_{уд} \sum D}{T_{тепл} \cdot 24 \cdot 3600} \cdot 10^3 = \frac{P_{уд} \sum D}{86{,}4 \cdot T_{тепл}},\ г/с, \qquad (10)$$

где:
$$M_i = 0{,}01 \cdot C_{вес\ i} \cdot M_{сум} \qquad (10а)$$

где: $\sum D$ — количество активных стабильно генерирующих биогаз отходов, т;

$T_{тепл}$ — продолжительность теплого периода года в районе полигона ТБО и ПО, в днях;

$C_{вес\ i}$ — определяется по формуле 8 или по таблице 2.

Биогаз образуется неравномерно в зависимости от времени года. При отрицательных температурах процесс «мезофильного сбраживания» (до 55° С) органической части ТБО и ПО прекращается, происходит т. н. «законсервирование» до наступления более теплого периода года ($t_{ср\ мес} > 0°$ С).

Приведенная формула (10) справедлива для случая обследования полигона и отбора проб биогаза в теплое время года ($t_{ср\ мес} > 8°$ С). При обследовании в более холодное время года ($0 < t_{ср.мес} \leqslant 8°$ С), что нецелесообразно хотя бы из-за дополнительных погрешностей измерений, в формуле следует применять повышающий коэффициент неравномерности образования биогаза 1,3.

С учетом коэффициента неравномерности валовые выбросы i-го загрязняющего вещества с полигона определяются по формуле:

$$G_{сум} = M_{сум}\left(\frac{а \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} + \frac{в \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12 \cdot 1{,}3}\right) \cdot 10^{-6}\ т/год \qquad (11)$$

$$G_i = 0{,}01 \cdot C_{вес\ i} \cdot G_{сум} \qquad (11а)$$

Примечание: ***а*** **и** ***в*** **в** формуле (11) соответственно периоды теплого и **холодного времени года в** месяцах (*а* при $t_{ср\ мес} > 8°$ С; *в* при $0 < t_{ср\ мес} \leqslant 8°$ С).

Литература

1. Разнощик В.В. «Сборник научных трудов АКХ им. К.Д. Памфилова», М., Отдел НТИ АКХ, 1988 г.
2. «Методика исследования свойств твердых отбросов», М., Стройиздат, 1970 г.
3. «Санитарная очистка и уборка населенных мест. Справочник», М., Стройиздат, 1989 г.
4. «Технологический регламент получения биогаза с полигонов ТБО», М., АКХ, 1990 г.
5. «Методы обезвреживания свалочных грунтов, фильтрата, биогаза», М., Институт экономики ЖКХ, 1993 г.
6. Отчет по теме: «Разработка оптимальных режимов эксплуатации запасов биогаза полигона «Кучино», М., кооператив «Геополис», 1991 г.
7. «Методические указания по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение», утвержденные приказом МПР РФ от 11.07.2002 г. № 115.
8. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М., 2000 г.
9. Перечень документов по расчету выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферный воздух, действующих в 2001–2002 годах. СПб., 2001 г.
10. Письмо НИИ Атмосфера № 20/33-07 от 20.01.2003 г. «О продлении действия «Перечня» до утверждения нового».

Приложение

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Расчет максимальных разовых и валовых выбросов загрязняющих веществ полигоном твердых бытовых и промышленных отходов

ПРИМЕР 1

Исходные данные:

1. Результаты анализов проб отходов, отобранных на полигоне:
   - содержание органической составляющей в отходах — R=55%;
   - содержание жироподобных веществ в органике отходов — Ж=2%;
   - содержание углеводоподобных веществ в органике отходов — У=83%;
   - содержание белковых веществ в органике отходов — Б=15%;
   - средняя влажность отходов — W=47%.

2. Результаты анализов проб биогаза:

Компонент	C_i, *мг/куб. м*
Метан	660908
Углерода диоксид	558958
Толуол	9029
Аммиак	6659
Ксилол	5530
Углерода оксид	3148
Азота диоксид	1392
Формальдегид	1204
Этилбензол	1191
Ангидрид сернистый	878
Сероводород	326

3. **Полигон** функционирует с 1980 года.
4. **Ежегодно** на полигон в районе Москвы завозится 208 200 тонн отходов.

Расчет:

1. По формуле (2) определяем удельный выход биогаза (в кг от одного кг отходов) за период активного его выделения:

$$Q_w = 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100 - 47) \cdot (0{,}92 \cdot 2 + 0{,}62 \cdot 83 + 0{,}34 \cdot 15) = 0{,}170236 \ \textit{кг/кг отх.}$$

Период активного выделения биогаза для Москвы ($t_{ср\ тепл} = 11{,}67^{\circ}$ С; $T_{тепл} = 244$ дня) составит по формуле 4:

$$t_{сбр} = \frac{10248}{244\ (11\ ,67\ )^{0\ ,301966}} = 20\ \ лет$$

2. **По формуле** (3) определяем количественный выход биогаза **за год, отнесенный** к одной тонне захороненных отходов:

$$P_{уд} = \frac{0{,}170236}{20} \cdot 10^{3} = 8{,}5118\ кг/т\ отходов\ в\ год$$

3. **По формуле** (7) определяем плотность биогаза:

Компонент	C_i, *мг/куб. м*
Метан	660908
Углерода диоксид	558958
Толуол	9029
Аммиак	6659
Ксилол	5530
Углерода оксид	3148
Азота диоксид	1392
Формальдегид	1204
Этилбензол	1191
Ангидрид сернистый	878
Сероводород	326
Итого:	*1249223*

$$\rho_{б\ г} = 10^{-6} \cdot 1249223 = 1{,}249\ кг/куб.\ м$$

4. По формуле (8) определяем весовое процентное содержание компонентов в биогазе (диоксид углерода как ненормируемое вещество из дальнейшего рассмотрения исключается):

Компонент	$C_{вес\ i}$, %
Метан	52,915
Толуол	0,723
Аммиак	0,533
Ксилол	0,443
Углерода оксид	0,252
Азота диоксид	0,111
Формальдегид	0,096
Этилбензол	0,095
Ангидрид сернистый	0,070
Сероводород	0,026

5. **По формуле** (9) определяем удельные массы компонентов биогаза, выбрасываемые за год:

Компонент	$P_{уд}$, *кг/т отходов в год*
Метан	4,504019
Толуол	0,061540
Аммиак	0,045368
Ксилол	0,037707
Углерода оксид	0,021450
Азота диоксид	0,009448
Формальдегид	0,008171
Этилбензол	0,008086
Ангидрид сернистый	0,005958
Сероводород	0,002213

6. Активно вырабатывают биогаз отходы, завезенные на полигон за период с начала его работы (1980 г.) до момента расчета (конец 1995 г.) минус последние два года, т.е. за 14 лет:

$$208200 \cdot 14 = 2914800 \text{ тонн}$$

По формулам (9) и (10) рассчитываем максимальные разовые и валовые выбросы загрязняющих веществ:

Суммарный максимальный разовый выброс биогаза полигона составит (формула 10):

$$M_{сум} = \frac{8,5118 \cdot 2914800}{86,4 \cdot 244} = 1176,865 \text{ г}$$

В том числе (без CO_2) — (формула 10 а):

Компонент	*M, г/с*
Метан	622,73805
Толуол	8,50873
Аммиак	6,27269
Ксилол	5,21351
Углерода оксид	2,96570
Азота диоксид	1,30632
Формальдегид	1,12979
Этилбензол	1,11802
Ангидрид сернистый	0,82381
Сероводород	0,30598

Валовые выбросы биогаза,т/год (по формуле 11):

$$G_{сум} = 1176{,}865 \cdot \left(\frac{5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} + \frac{3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12 \cdot 1{,}3} \right) \cdot 10^{-6} = 2260{,}23737\ т/год$$

($а$ = 5 мес.; $в$ = 3 мес.)

В том числе (без CO_2) — (формула 11 а):

Компонент	*т/г*
Метан	11959,44598
Толуол	163,40696
Аммиак	120,46461
Ксилол	100,12349
Углерода оксид	56,95512
Азота диоксид	25,08738
Формальдегид	21,69719
Этилбензол	21,47118
Ангидрид сернистый	15,82087
Сероводород	5,87632

ПРИМЕР 2

Исходные данные:

1. Результаты анализов проб отходов, отобранных на полигоне:
   - содержание органической составляющей в отходах — R=55%;
   - содержание жироподобных веществ в органике отходов — Ж=2%;
   - содержание углеводоподобных веществ в органике отходов — У=83%;
   - содержание белковых веществ в органике отходов — Б=15%;
   - средняя влажность отходов — W=47%.
2. Полигон функционирует более 30 лет.
3. Ежегодно на полигон в районе Сочи завозится 20000 тонн отходов.

Расчет:

1. По формуле (2) определяем удельный выход биогаза (в кг от одного кг отходов) за период активного его выделения:

$$Q_W = 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100-47) \cdot (0{,}92 \cdot 2 + 0{,}62 \cdot 83 + 0{,}34 \cdot 15) = 0{,}170236 \ \textit{кг/кг отх.}$$

Период активного выделения биогаза для Сочи ($t_{ср\ тепл} = 14{,}11^{\circ}C$; $T_{тепл} = 365$ дней) составит по формуле 4:

$$t_{сбр} = \frac{10248}{365\,(14{,}11)^{0{,}301966}} = 13 \ \textit{лет}$$

2. По формуле (3) определяем количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне захороненных отходов:

$$P_{уд} = \frac{0{,}170236}{13} \cdot 10^3 = 13{,}09508 \ \textit{кг/т отходов в год}$$

3. Принимаем весовое процентное содержание компонентов в биогазе аналогичным п. 4 *Примера 1* (диоксид углерода как ненормируемое вещество из дальнейшего рассмотрения исключается):

Компонент	$C_{вес}$ %
Метан	52,915
Толуол	0,723
Аммиак	0,533
Ксилол	0,443
Углерода оксид	0,252
Азота диоксид	0,111
Формальдегид	0,096
Этилбензол	0,095
Ангидрид сернистый	0,070
Сероводород	0,026

4. По формуле (9) определяем удельные массы компонентов биогаза, выбрасываемые за год:

Компонент	$P_{уд}$, *кг/т отходов в год*
Метан	6,929260
Толуол	0,094677
Аммиак	0,069797
Ксилол	0,058011
Углерода оксид	0,033000
Азота диоксид	0,014536
Формальдегид	0,012571
Этилбензол	0,012440
Ангидрид сернистый	0,009167
Сероводород	0,003405

5. Активно вырабатывают биогаз отходы, завезенные на полигон **за последние** 13 лет ($t_{сбр}$) минус последние два года, т.е. за 11 лет:

$$20000 \cdot 11 = 220000 \text{ тонн}$$

По формулам (9) и (10) рассчитываем максимальные разовые и валовые выбросы загрязняющих веществ:
Суммарный максимальный разовый выброс биогаза полигона составит (формула 10):

$$M_{сум} = \frac{13.09508 \cdot 220000}{86,4 \cdot 365} = 91,35328 \text{ г/с}$$

В том числе (без CO_2) — (формула 10 а):

Компонент	*M, г/с*
Метан	48,33959
Толуол	0,66048
Аммиак	0,48691
Ксилол	0,40470
Углерода оксид	0,23021
Азота диоксид	0,10140
Формальдегид	0,08770
Этилбензол	0,08679
Ангидрид сернистый	0,06395
Сероводород	0,02375

Валовые выбросы биогаза, т/год (по формуле 11)

$$G_{сум.} = 91{,}33285 \cdot \left(\frac{10 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} + \frac{2 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12 \cdot 1{,}3} \right) \cdot 10^{-6} = 2770{,}11243 \ т/год$$

(a = 10 мес.; $в$ = 2 мес.)

В том числе (без CO_2) — (формула 11а):

Компонент	*т/г*
Метан	1465,80499
Толуол	20,02791
Аммиак	14,76470
Ксилол	12,27160
Углерода оксид	6,98068
Азота диоксид	3,07482
Формальдегид	2,65931
Этилбензол	2,63161
Ангидрид сернистый	1,93908
Сероводород	0,72023