ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЖИЛИЩНО—КОММУНАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ
ФГУП ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
БЛАГОУСТРОЙСТВА И ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАСЧЕТУ ОБРАЗОВАНИЯ БИОГАЗА И ВЫБОРУ СИСТЕМ ДЕГАЗАЦИИ НА ПОЛИГОНАХ ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

МОСКВА
2003

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЖИЛИЩНО—КОММУНАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ
ФГУП ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
БЛАГОУСТРОЙСТВА И ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГУП
Федерального центра
благоустройства
и обращения с отходами
Д.С.Тукнов

____

25 апреля 2003г.

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ ОБРАЗОВАНИЯ БИОГАЗА И ВЫБОРУ СИСТЕМ ДЕГАЗАЦИИ НА ПОЛИГОНАХ ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

МОСКВА
2003

УДК 504.064.2.001.18

Рекомендации по расчету образования биогаза и выбору систем дегазации полигонов захоронения твердых бытовых отходов разработаны в соответствии с нормативными материалами по охране окружающей среды.

Разработаны отделом санитарной очистки городов и утилизации отходов Академии коммунального хозяйства (Абрамов Н.Ф.) и кафедрой охраны окружающей среды Пермского технического университета (Вайсман Я.И., Максимова С.В., Глушанкова И.С., Батракова Г.М., Вайсман О.Я., Коротаев В.Н., Рудакова Л.В.)

Рекомендации предназначены для проектных природоохранных организаций, работников жилищно-коммунального хозяйства, научных и учебных учреждений.

Утверждены Государственным комитетом Российской федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу 25 .04.2003

С предложениями и вопросами можно обращаться на кафедру охраны окружающей среды ПермГТУ

Телефон: (34-22) 39-14-82,
Факс: (34-22) 39-17-72
E-mail: eco@ pstu.ac.ru
614000, Пермь, Комсомольский пр., 29а

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Одним из главных инструментов минимизации эмиссий биогаза на полигонах ТБО является дегазация. Пассивные и активные методы дегазации позволяют уменьшить эмиссию метана и органических соединений; предотвратить газовые вспышки, взрывы и пожары, управлять миграцией биогаза. Выбор метода дегазации зависит от таких факторов, как конструкция и возраст свалки; тип отходов (содержание органических веществ); объем и глубина складирования; локальное состояние (геология, местоположение, использование прилегающей территории и демография). Но наиболее важным фактором является количество образующего биогаза. Развитие теоретических методов прогноза образования биогаза при разложении ТБО становится. необходимым условием дальнейшего прогресса в области обезвреживания отходов в целом, и технологии захоронения в особенности.

Сложность методов прямых полевых измерений и их высокая стоимость являются причиной того, что такого рода исследования малочисленны. Разнообразие местных климато-географических условий, разнородность объектов исследования, их изменчивость во времени затрудняет получение статистически достоверных результатов и требует проведения многолетних исследований. В связи с этим высокоинформативные натурные эксперименты являются единичными, особенно в отечественной практике. *Поэтому основным инструментом исследований остается использование* современного математического аппарата и математического моделирования процессов метаногенеза во времени. Моделирование должно рассматриваться с одной стороны в качестве приблизительного индикатора ожидаемых тенденций образования биогаза, с другой использоваться шире и более гибко в зависимости от поставленных задач.

Для прогноза эмиссий биогаза с российских полигонов параметры моделей должны учитывать их характерные особенности: отсутствие учета длительности воздействия складированных отходов на окружающую среду; отсутствие предварительной подготовки отходов перед захоронением; отсутствие системы дегазации; применение земляной засыпки в качестве защитного покрытия; отсутствие изолирующей пересыпки складируемых слоев отходов.

Особенностью захоронений ТБО в России является горение складированных отходов. На большинстве эксплуатируемых свалок горение происходит круглый год в течение многих лет. В результате часть отходов, а следовательно, и органического углерода, выгорает. Поэтому в расчетах целесообразно принимать это явление во внимание и уменьшать массу отходов на величину сгоревших.

Предлагаемая методика прогноза метанообразования основана на исследованиях кинетики и динамики анаэробных процессов Института микробиологии РАН, Академии коммунального хозяйства им. Памфилова, фирмы «Геополис» (Абрамов Н.Ф., Разнощик В.В. Горбатюк О.В., Лифшиц А.Б., Минько О.И., Ножевникова А.Н., Труфманова Е.П. и др), зарубежных ученых (R.K.Ham, M.A.Barlaz, H.J.Ehrig, G.Tchobanoglous, T. Christensen), Пермского государственного технического университета (Вайсман Я.И., Вайсман О.Я., Батракова Г.М. Глушанкова И.С. Коротаев В.Н., Максимова С.В. Рудакова Л.В).

1.Общие сведения о процессе метаногенеза

1.1. Газ, образующийся на полигонах, является продуктом биологического разложения органической фракции складируемых отходов. Источником биогаза являются биоразлагаемые фракции отходов, составляющие в среднем 60-80% от массы ТБО, к которым относятся пищевые отходы, садово-парковые, макулатура и другие целлюлозосодержащие отходы.

1.2. Скорость и полнота протекания процессов биодеструкции отходов зависят от морфологического, химического состава, климато-географических условий, стадии жизненного цикла полигона.

1.3. Процесс биологического разложения включает фазы аэробной и анаэробной деструкции. Анаэробные процессы обусловливают основные эмиссии загрязняющих веществ.

1.4. Длительность аэробной фазы зависит от предварительной обработки и способа складирования ТБО, определяющих диффузионную способность отходов и степень доступности кислорода. В аэробных условиях (на глубине до 50 – 80 см) достаточно быстро протекает гидролиз и окисление пищевых отходов, содержащих жиры, белки, протеины. Биогаз выделяется в незначительных количествах и состоит в основном из двуокиси углерода, азота и водяного пара.

1.5. Анаэробный процесс начинается на эксплуатационном этапе жизненного цикла и заканчивается на пострекультивационном, проходя следующие стадии развития :

1 – адаптационную, с периода формирования рабочего тела, когда в течение первых 2-7 лет после начала эксплуатации начинаются процессы метаногенеза.

2 - экспоненциального развития, 12-17 лет, (с момента, когда условия метаногенеза сложились, *pH* фильтрата установилось на уровне 8, до максимального выхода биогаза)

3 – стабилизационную, при постоянном потоке биогаза (25-30 лет с момента закрытия)

4 этап – затухание анаэробных процессов, снижение потока биогаза до безопасных концентраций по метану

5 этап – стадия биологической инертности.

1.6. В течение 1-2 лет с момента начала складирования ТБО, по мере естественного и механического уплотнения отходов, усиливаются анаэробные процессы разложения с постоянным образованием биогаза. При переходе аэробных условий в анаэробные облигатные (строгие) аэробные микроорганизмы умирают, а факультативные (условные) аэробные микроорганизмы переходят в анаэробное состояние. Образуются диоксид углерода, вода и водород.

1.7. В процессе анаэробного разложения (метанового брожения) принимают участие несколько групп микроорганизмов: Methanococcus Vannielii (восстановление CO_2 водородом); Methanobacterium Omelianskii (сбраживание спиртов); Methanococcus mazei, Methanosarcina methanica, Methanobacterium Sohngenii (сбраживание солей органических кислот) и др.

1.8. Выделяются следующие основные фазы анаэробной биодеструкции отходов (рис. 1.):

- гидролиз, когда происходит разрушение полимера до коротких фрагментов и мономеров;
- ацетогенез; образуется уксусная кислота, H_2 и CO_2;
- метаногенез, синтез биогаза
- снижение биологической активности,
- полная ассимиляция.

1.9. В фазе гидролиза под действием ферментативных бактерий происходит биодеструкция легкоразлагаемых фракций ТБО, и гидролиз целлюлозосодержащих отходов (бумага, садово-парковые отходы, древесина). Биогаз в этот период состоит из аммиака, водорода, водяного пара, сероводорода.

1.10. В ацетогенной или кислой фазе (pH=4,5 –6,5) в течении 4-5 лет происходит дальнейший распад целлюлозы, с образованием уксусной и пропионовой кислоты, углекислого газа и воды, приводящие к значительному снижению величины pH и ускорению процессов деструкции легко- и средне разлагаемой фракций ТБО. Биогаз в этот период содержит углекислый газ, азот, аммиак, углеводороды, низкомолекулярные спирты и альдегиды, кетоны. Метан может появляться только в конце этой фазы.

1.11. Метаногенная фаза анаэробного разложения включает две стадии: активную и стабильную. В активной стадии, протекает ферментативное разложение образованных в ацетогенной фазе кислот, которое сопровождается значительным выделением газов (метан, углекислый газ, меркаптаны, аммиак и др.). Преобладающим восстановленным сульфидным соединением в биогазе является сероводород. Концентрация метана в биогаза увеличивается до 40-60%. Максимальный выход биогаза наступает после двухлетней выдержки отходов в толще полигона и стабилизации процессов разложения.

1.12. Стабильная стадия метаногенеза лимитирует общую скорость разложения органических веществ в теле полигона. Характерным признаком наступления этой фазы является наличие более 50 % метана в пробах биогаза. Если не нарушаются условия складирования ТБО, процесс анаэробного разложения отходов стабилизируется с постоянным по объему выделением биогаза, фактически постоянного состава. На этом этапе разлагается 50—70% целлюлозы. Со временем в результате разложения средне- и медленноразлагаемых отходов, количество питательного субстрата уменьшается и процесс метаногенеза постепенно затухает. Содержание метана в газе снижается до 40 %.

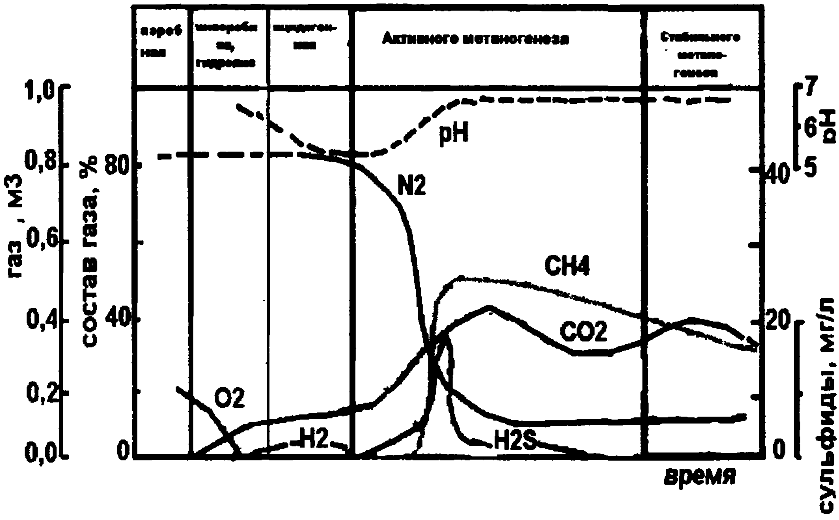


Рис.1. Состав биогаза на различных стадиях разложения

1.13. Количество образующегося биогаза и концентрация в нем метана зависят от содержания в ТБО пищевых отходов, растительных остатков, бумаги, текстиля, древесины и других органических фракций, называемых биоразлагаемыми. Продолжительность периода образования биогаза определяется по п.п. 3.2.9.

2.Состав и свойства биогаза.

2.1. В биогазе выделяют две группы составляющих: макрокомпоненты и микрокомпоненты, или следовые газы. К макрокомпонентам относятся метан и диоксид углерода, азот, водород. Составы биогаза различных полигонов существенно отличаются в зависимости от объема и качества депонированных отходов, географических условий района расположения полигона, конструкции основания и покрытия полигона, возможности доступа кислорода воздуха к отходам, высоты складирования отходов, условий их уплотнения, интенсивности процессов разложения. Биогаз содержит компоненты, вредно действующие на здоровье человека, которые могут значительно превышать установленные для них в атмосферном воздухе ПДК (раз): Присутствующие в биогазе аммиак и сероводород, оксид углерода и гексан, циклогексан и бензол, этилен, пропилен и бутилен обладают эффектом суммированного воздействия. Наиболее характерный состав биогаза и возможные превышения ПДК по различным компонентам представлены в табл.1 приложения 1.

2.2. Состав биогаза меняется в зависимости от возраста полигона. Изменение концентраций основных компонентов биогаза на различных этапах жизненного цикла полигона показано на рис. 1.

2.3. Для оперативной оценки состояния систем дегазации полигонов состав биогаза можно принимать по табл.2.

Таблица 2.

Типичный состав биогаза (%)

Тип биогаза*)	Метан CH_4 %	Диоксид углерода CO_2, %	Кислород O_2 %	Азот N_2 %
1	55	45	-	-
2	40	30	6	24
3	45	35	1	18
4	35	30	5	30

*)Примечание: Тип 1 – чистый биогаз, полученный в анаэробных условиях, тип 2 - в биогазе присутствуют кислород и азот в соотношении, свойственном атмосферному воздуху. Воздух поступает за счет неплотностей во всасывающем трубопроводе; тип 3 – над поверхностью свалки засасывается воздух, кислород которого используется в микробиологическом процессе; тип 4 - комбинация типов 2 и 3.

2.4. Физические свойства биогаза: плотность. ρ (биогаз) = 1.07*10-4кг/$м^3$;вязкость μ(биогаз) = 1.15·10-5 Нс / $м^2$; теплота сгорания очищенного от примесей биогаза 1800-25100 кДж/м3, что составляет половину аналогичного показателя природного газа.

При содержании метана 50% и содержании углекислого газа 45% 1$м^3$ биогаза имеет теплоту сгорания около 18 500 кДж (5.14Вт).

2.5. Влагосодержание биогаза зависит от температуры и давления. Газ может быть насыщен или ненасыщен влагой. В среднем биогаза содержит от 25% до 45% влаги. Атмосферные осадки, поверхностные и подземные воды являются источниками дополнительной влаги.

2.6. Физические свойства компонентов биогаза определяются по табл.3

Таблица 3.

Свойства компонентов биогаза

Свойства	CH_4	CO_2	H_2	H_2S	CO	N2
Относительная плотность	0,555	1,520	0,069	1,190	0,967	0,967
Горючесть	есть	нет	есть	есть	есть	нет
Взрывчатость*, %	5-15	Нет	4-75,6	4,3-45,5	74	нет
Температура горения,°C	650	-	560	270	605	-
Запах	нет	нет	нет	есть	нет	нет
Токсичность	нет	есть	нет	есть	есть	нет
Инертность	есть	-	есть	-	-	есть

*Взрывчатость компонентов газа в смеси с воздухом указана для температуры 20°C и давлении 1 атм. в пределах верхней и нижней границы взрыва

Компоненты биогаза обладают коррозионными свойствами.

2.7. В зависимости от уровня эмиссии биогаза в атмосферу и степени разбавления воздухом, биогаз может оказывать токсическое воздействие на живые организмы и растения, вызывать опасные явления, которые необходимо учитывать и предупреждать: взрывы и пожары; наличие токсичных и канцерогенных веществ и одорантов, неблагоприятно влияющих на население; наличие компонентов, токсичных для растений и животных; нагрузка на окружающую среду в виде вредных компонентов биогаза, указанных в табл. 1 и фотоокислителей; воздействие на озоновый слой; возникновение парникового эффекта.

2.8. В зависимости от уровня образования биогаза и вероятности возникновения явлений, указанных в пп.2.4., свалочные тела подразделяются на :

a) Безопасные, где свалочные грунты газохимически инертны, содержание метана в приземном слое менее 0.1. об.% и CO_2 менее 0.5 об.% ,
b) Потенциально опасные свалки, где содержание метана в приземном слое более 0.1. об.% и CO_2 более 0.5 об.% .
c) Опасные, с содержанием метана в приземном слое > 1.0% и CO_2 до 10%;
d) Опасные , где содержание метана в приземном слое до 5 об.% при $CO_2 - n*10$об.%
e) Пожаровзрывоопасные, с содержанием метана > 5.0%, и $CO_2 - n \cdot 10\%$.

2.9. Биогаз способен перемещаться на большие расстояния под действием градиента давления и молекулярной диффузии. К неконтролируемому движению (миграции) биогаза приводят усадка слоев, трещины и разрывы окончательного покрытия.

2.10. Горизонтальная миграция возникает при слабопроницаемом (синтетическом) покрытии и неуплотненном основании полигона. Вертикальная миграция возникает при хорошо уплотненном основании полигона и высокопроницаемом покрытии. На перемещение биогаза влияют: пористость грунта (чем больше объем пор, тем больше эмиссия газа и его распространение); влагосодержание (рыхлый грунт с незначительным влагосодержанием способствует выделению газа, и, наоборот, плотный влажный – препятствует);состав отходов; конструкция полигона.

2.11. Максимальное расстояние от тела полигона, на которое может удалиться биогаз в зернистом грунте определяется по формуле 2.1.:

$$D = 10H \qquad (2.1)$$

где: D – расстояние, на которое удаляется биогаз, м; H – глубина отходов, м.

2.12. Барьерами миграции могут служить глубокий снег, водонасыщенные грунты; грунтовые воды; канавы, наполненные водой, в окрестностях полигона и на полигоне; естественный плотный слой грунта.

2.13. Потенциал опасности полигона по биогазу определяется в зависимости от мощности полигона.

2.14. Если общий объем выделяемого биогаза < 40 млн. нм^3 – полигон имеет низкий потенциал опасности по уровню воздействия на окружающую среду. При 40 – 100 млн. нм^3 — потенциал опасности может быть оценен как средний. При общем объеме выделяемого газа > 100 млн. нм^3 – высокий.

2.15. На полигонах ТБО необходимо осуществлять контроль за распространением биогаза с помощью систем мониторинга биогаза по п.5.1.-5.8.

3. Расчет образования биогаза с полигонов ТБО

3.1.ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ЭМИССИЙ БИОГАЗА

3.1.1. Методика расчета базируется на модели процесса анаэробной деструкции целлюлозосодержащих отходов.

3.1.2. Процесс разложения отходов подчиняется кинетическому уравнению первого порядка

$$\frac{dC}{dt} = k \cdot C \ ,$$

где C – концентрация реактивной материи, k –коэффициент пропорциональности.

3.1.3. Процессы образования биогаза могут быть описаны следующим уравнением:

$$\underset{\text{гидролиз}}{n\,C_6H_{12}O_6\,(т) \rightarrow n\,C_6H_{12}O_6\,(ф)} \rightarrow \underset{\text{ацетогенез}}{n\,C_2H_4O_2(ф) + n\,биомасса} \rightarrow \underset{\text{метаногенез}}{n\,CO_2(г) + nCH_4(г)}$$

3.1.4. Формирование эмиссий биогаза может быть описано двумя последовательно протекающими реакциями:

$$A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$$

$$\downarrow$$

$$n\,C_6H_{12}O_{6\,(ф)} \rightarrow n\,C_2H_4O_{2(ф)} \rightarrow n\,CO_{2(г)} + n\,CH_{4(г)}$$

3.1.5. Скорость образования биогаза определяется на основе кинетического уравнения последовательной реакции первого порядка:

$$dA\ /\ dt\ =\ k_1\,A:\qquad dC\ /\ dt = k_2\ B \qquad (3.1.)$$

где $к_1$ – константа скорости реакции в фазе ацетогенеза, k_2 – константа скорости реакции в фазе метаногенеза.

Для полигонов на стадии рекультивации $k_2 >> k_1$ и величиной k_1 можно пренебречь Для полигонов на стадии эксплуатации учитываются обе константы.

3.1.6.Расчет основан на следующих допущениях:

- Общее время разложения отходов определяется временем распада средне- и медленноразлагаемых фракций.
- Температура и pH среды рассматриваются в диапазоне значений, оптимальных для метаногенеза.
- Содержание метана в биогазе составляет 50% .
- Активная фаза метаногенеза наступает через 2 года после формирования анаэробных условий.
- При деградации отходов 1% от общего содержания биоразлагаемого углерода переходит в фильтрат.

3.2. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ЭМИССИЙ БИОГАЗА

3.2.1. Исходными данными для расчета являются морфологический состав биоразлагаемой части ТБО; зольность отходов, А , начальная влажность ТБО.

3.2.2. Метановый потенциал L_{oi} (нм^3/т сухих отходов) для каждой фракции отходов рассчитывается на основе морфологического состава ТБО с учетом коэффициента биоразложения B_f и зольности A, по формуле:

$$L_{0i} = 11088 \cdot \frac{n_c}{\mu_i} \cdot (1 - A) B_i, \text{ (нм}^3\text{/т)} \qquad (3.2)$$

где n_c – число киломолей углерода, содержащееся в 1 тонне фракции, μ_i молярная масса фракции; A— зольность фракции, кг/кмоль, определяются по приложению 1, коэффициент биоразложения B_i определяется по табл.4.

3.2.3. Полный потенциал генерации метана L_0 (нм³/т сухих отходов) учитывает только органически разлагаемые фракции определяется по формуле:

$$L_0 = \sum (L_{0i} \cdot x_i), \text{ (нм}^3\text{/т)} \qquad (3.3)$$

где x_i – доли биоразлагаемых фракций.

3.2.4. Для полигонов на стадии рекультивации и пострекультивации общее количество метана, нм³, определяется по формуле :

$$Q = (1 - w) L_0 \cdot M_{dk} \left(1 - e^{-k_2 \tau}\right) \qquad (3.4)$$

3.2.5. Скорость образования метана в нм³/год,

$$V_{CH_4} = (1 - w) L_0 M_{\kappa t} \cdot k_2 \cdot e^{-k_2 \tau} \qquad (3.5)$$

где τ-время разложения ТБО, w – влажность отходов, поступающих на полигон, доли ед.; $M_{\kappa t}$ -масса захороненных отходов по п.п.3.2.7. Константа разложения k_2 принимается по табл. 4.

3.2.6. Масса захороненных отходов принимается с учетом массы отходов, сгоревших в результате пожаров в процессе эксплуатации полигона. Масса сгоревших отходов определяется в соответствии с Временными рекомендациями по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твердых бытовых отходов.

3.2.7. Для действующего полигона скорость образования метана (нм3/год) определяется по формуле:

$$V = (1 - w) L_o \cdot M \cdot \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot \tau}{k_2 - k_1} \cdot (e^{-k_1 \cdot \tau} - e^{-k_2 \cdot \tau}) \qquad (3.6)$$

Объем образующегося метана :

$$Q = (1 - w) L_0 M (1 + \frac{k_1}{k_2 - k_1} \cdot e^{-k_2 \cdot \tau} - \frac{k_2}{k_2 - k_1} \cdot e^{-k_1 \tau}) \qquad (3.7).$$

где τ-время разложения ТБО, w – влажность отходов, поступающих на полигон, доли ед.; М -масса захороненных отходов на текущий год эксплуатации с учетом п.3.2.6.

3.2.8. Константа скорости реакции в фазе ацетогенеза k_1, и константа разложения в фазе метаногенеза k_2 определяются по табл.4.

3.2.9. Объем образования биогаза принимается в два раза выше скорости образования метана.

Таблица 4.

Значения констант разложения k_1 и k_2

Тип отходов	Константа разложения k_1, если условия			Константа разложения k_2, если условия		
	влажные	средние	сухие	влажные	средние	сухие
Быстро разлагаемые	0,4	0,25	0.05	—	—	—
Средне разлагаемые	0,1	0,05	—	0.098	0,046	0,0276
Медленно разлагаемые	—	—	—	0,046	0,0276	0,0138

4. Выбор систем дегазации.

4.1. Для обеспечения пожаро- взрывобезопасности полигонов ТБО, предупреждения неконтролируемого перемещения и накопления биогаза в траншеях, подвалах сооружений и понижениях рельефа необходимо осуществлять дегазацию тела полигона.

4.2. Дегазация полигонов осуществляется с помощью пассивных или активных систем дегазации.

4.3. Пассивные методы дегазации основываются на природных процессах конвекции и диффузии и устанавливаются в местах низкого газообразования и отсутствия перемещения газа.

4.4. Пассивные методы дегазации не применяются для полигонов с внутренними изолирующими слоями.

4.5. Пассивная схема дегазации применяется для полигонов емкостью не более 40 000 тонн, для старых хранилищ ТБО с невысоким уровнем выделения биогаза или для полигонов с высоким уровнем фильтрата.

4.6. Пассивные системы базируются на принципах природного градиента давления и механизмах конвекции, могут применяться для свалок объемом до 40 000м3.

4.7. Скважины для пассивной дегазации монтируются после закрытия полигона, путем устройства буровых колодцев диаметром 60 см до отметки – 4 м , в которые помещается перфорированная труба, изготовленная из поливинилхлорида, полипропилена высокой плотности, полиэтилена, стеклопластика диаметром 20 см. Пространство между трубой и стенками скважины послойно заполняется:

- гравием крупностью 20-40мм, с содержанием карбонатов менее 10%, до отметки –1,6м.
- бетоном до отметки –1,3м.

- песчано- гравийной смесью до отметки -0,3м.

На поверхности монтируется бетонный оголовок.

Схема скважин пассивной дегазации показана в приложении. 3. Количество дегазационных скважин (газовыпусков) назначается из расчета 1 скважина на 7500м^3 отходов

4.8. Пассивные скважины должны располагаться приблизительно в 10 - 15 м от края тела полигона отходов и не более двух на гектар. Дополнительные скважины могут быть необходимы, если произойдет изменение конфигурации тела полигона.

4.9. Траншейные системы сбора биогаза используются при отсутствии технической возможности устройства вертикальных скважин, при высоком уровне грунтовых вод, для неглубоких полигонов в соответствии с табл. 5.

4.10. Траншеи располагаются под верхним изолирующим слоем до отметки минус 1,5м и прокладываются вдоль всей поверхности полигона с уклоном не менее 2%. Расстояние между траншеями должно назначаться из данных мониторинга. но не более чем 50 м. Глубина траншеи 1,5м, ширина 1м. Траншея заполняется щебнем крупностью 20-40 мм (16/32 мм), с содержанием карбонатов менее 10% по основанию из фильтрующего материала.

4.11. В траншею укладываются перфорированные трубы из поливинилхлорида, полипропилена высокой плотности, полиэтилена, стеклопластика диаметром от 8 до 20 см. Перфорационные отверстия диаметром 1,25 см распределяются по всей поверхности через каждые 15см по длине трубы; по диаметру трубы отверстия располагаются в шахматном порядке. Трубы соединяются друг с другом с помощью гибких соединений, что позволяет монтировать системы различной конфигурации и делает их менее восприимчивыми к изменению внутренних усилий.

4.12. Для обеспечения выхода биогаза на поверхность на траншее монтируются газовыпуски (приложение 2). После монтажа траншейной системы, монтируется верхний изоляционный слой. Установка портов отбора проб позволяет проводить измерения давления, температуры газа, концентрации и контролировать работу траншейной системы.

4.13. При содержании метана в биогазе менее 30% и выходе газа менее 30м^3/час, может применяться дегазация с помощью метаноокисляющих изолирующих покрытий (биофильтров). Работа биофильтра основана на способности метанотрофных микроорганизмов использовать метан в качестве источника энергии и углерода, и полностью разлагать метан на оксид углерода и воду. В качестве окислительных биофильтров могут использоваться торф, опил, компост.

4.14. Активная система дегазации на полигонах закрытых для приема ТБО должна состоять из следующих компонентов:

Система траншей или газовых скважин;

Газоперемещающее оборудование, состоящее из компрессора или вентилятора и системы магистральных газопроводов,

Оборудование для осушки биогаза и удаления конденсата;

Оборудование для сжигания биогаза;

4.15. Система газовых траншей оборудуется согласно пункту 4.9.- 4.13. Траншеи соединяются с магистральным газопроводом.

4.16. Скважины активной дегазации состоят из:

- бурового колодца диаметром 300-1000 мм, глубиной 75% высоты полигона
- перфорированной трубы диаметром 50-300 мм из поливинилхлорида, полипропилена высокой плотности, полиэтилена, стеклопластика, перфорационные отверстия должны иметь диаметр не менее 12 мм
- запорной арматуры
- клапана для отбора проб.

4.17.Перед помещением перфорированной трубы в буровой колодец, отверстие засыпается гравием крупностью 20-40 мм, с содержанием карбонатов менее 10% на высоту не менее 1м. Между стенкой бурового колодца и трубой также насыпается гравий крупностью 20-40 мм, с содержанием карбонатов менее 10%.

Для компенсации деформаций вследствие оседания тела полигона, фильтрующая труба в зоне оголовка колодца телескопически заводится в трубу из полиэтилена высокой плотности. Уплотнение производится с помощью кольца с круглым сечением. Труба входит в отходы на глубину до 2,4 метра под нижней кромкой верхнего изолирующего слоя и по всей длине уплотняется. Дополнительно поверх минерального уплотнения в радиусе 5 метров наносится гидроизоляционный материал, который сваривается с крепежной трубой.

4.18.На поверхности полигона на расстоянии около 0,5 метра над минеральным уплотнением монтируется головка скважины, устанавливается запорная арматура и клапан для отбора проб. Головка скважины защищается бетонным оголовком, установленным на бетонном фундаменте (приложение 3).

4.19.Каждая скважина соединяется с магистральным газопроводом гибким соединением, что позволяет компенсировать деформации вызванные движением тела полигона (приложение 4).

4.20.Размещение скважин производится в соответствие с радиусом влияния скважины и коэффициентом перекрытия радиусов.

Таблица 5.

Выбор систем дегазации

Емкость поли-гона, тыс. $м^3$	Минимальный расчетный метановый потенциал, $м^3$/час	Пассивные системы дегазации			Активные системы дегазации			Примечание
		Горизон-тальные дренажные траншеи с газовыпус-ками	Газовые колодцы	Био-фильтры	Сбор и рассеивание	Сжигание	Получение тепловой и электричес-крй энергии	
Менее 50	Менее 30			+				Без промежуточных гидроизоляционных слоев или обводненные
		+		+				С промежуточными гидроизоляционными слоями: при избыточном давлении не менее 0.49 КПа (50 мм водн. ст.)
	30 – 40		+	+	+			
50-800	Менее 40			+*)	+	+		*) при потоке менее 30 $м^2$/час
	40 – 60					+		
Более 800	Более 60 при сроке эксплуатации менее 20 лет					+		
	Более 60 при сроке эксплуатации более 20 лет						+	

4.21. Магистральный газопровод представляет собой систему труб изготавливаемых из поливинилхлорида, полипропилена высокой плотности, полиэтилена, стеклопластика, диаметр которых определяется гидравлическим расчетом. Трубы магистрального газопровода должны иметь уклон не менее 5^0 в сторону пункта сбора газа.

4.22. Перед компрессором, на магистральном газопроводе должен быть установлен конденсатосборник.

4.23. Компрессор или вентилятор необходимой мощности подбираются на основе данных гидравлического расчета из предлагаемых стандартных изделий с запасом мощности.

4.24. Перед компрессором или вентилятором устанавливается аппарат по очистке и осушке биогаза. Очистку биогаза производят до содержания сероводорода в очищенном газе не более 0,002 г/м^3. Из-за малой скорости реакции время контакта оксида с биогазом необходимо поддерживать до 5 мин., а скорость биогаза при движении через очистную массу – равной 5-7 мм/с.

4.25. Конструкции и применяемые материалы газовых скважин должны обеспечить их надежную эксплуатацию, без капитальных ремонтов и замены основных узлов в течение 15 лет. Для промежуточных и магистральных газопроводов рекомендуется применять трубы из полиэтилена низкого давления с маркировкой «ГАЗ» , изготовленные в соответствие с ТУ-6-19-051-538-85 типа «Т». Соединительные детали для полиэтиленовых труб предусматривают по ТУ 6-19-051-539-85.

Гидравлический расчет газопроводов осуществляется в соответствии с Технологическим регламентом получения биогаза с полигонов ТБО [16].

5. Мониторинг биогаза на закрытых полигонах

5.1.Мониторинг биогаза на полигонах ТБО является частью общего мониторинга, который сопровождает захороненные отходы на протяжении всего жизненного цикла. Минимальный период мониторинга составляет 30 лет с момента прекращения приема отходов.

5.2. На закрытых полигонах мониторинг загрязнения атмосферы компонентами биогаза проводится каждые шесть месяцев дважды в сутки в течение 7-10 дней подряд. Мониторинг миграции биогаза проводится также в период замерзания грунта и насыщения его водой.

5.3. Биогаз проверяется на содержание метана, сероводорода, винилхлоридов, бензола, толуола, ксилола.

5.4. Мониторинг атмосферного воздуха на территории свалки и в зоне ее влияния производится с помощью газоанализаторов или *alarm*-датчиков на поверхности рабочего тела и с помощью сети контрольных скважин, оснащенных приборами для обнаружения CH_4. Конструкция мониторинговой скважины показана в приложении 5.

5.5. Измерение газа в строениях проводится в помещениях, расположенных в верхней и нижней точке склона, с наружной части фундамента на уровне земли, вблизи трещин или отверстий в фундаменте и в полах. Измерения проводятся в строениях, имеющих подвалы, расположенных за пределами санитарно-защитной зоны полигона.

5.6. Контроль осадки поверхности осуществляется с помощью вешек осадки. Вешки осадки устанавливаются на боковых откосах (не менее 3 вешек) и в узлах 30 – метровой координатной сетки на поверхности полигона. Контроль положения вешек осуществляется два раза в год.

5.7. Подавление растительности свидетельствует о необходимости принятия мер по ремонту или восстановлению системы дегазации. Осмотр растительности ведется не реже одного раза в год в период максимальной вегетации в течение 10—15 лет после закрытия полигона.

5.8. По результатам мониторинга полигона ТБО ежегодно составляется краткий информационный отчет, содержащий оценку состояния полигона и выполнения нормативных требований к санитарному захоронению ТБО, состояния объектов окружающей природной среды и изменения, произошедшие за истекший период наблюдений, оценку эффективности инженерных сооружений, рекомендации по коррекции режима эксплуатации полигона и наблюдательной сети.

Литература

1. Разнощик В.В. Проектирование и эксплуатация полигонов для ТБО. М.,1981.
2. Горбатюк О.В , Минько О.И., Лифшиц А.Б Ферментеры геологического масштаба . / Природа.1989. № 9.С.71-79.
3. Проскуряков. А.Ф. Методы обезвреживания свалочных грунтов, фильтрата, биогаза,М 1993.
4. Минько О.И., Лифшиц А.Б. «Экологические и геохимические характеристики свалок твердых бытовых отходов» / Ж.. «Экологическая химия 1992, №2.
5. Ножевникова А.Н.,Лебедев В.С , Заварзин Г.А , Иванов Д.В., Некрасова В.К , Лифшиц А.Б. Образование, окисление и эмиссия биогаза на объектах захоронения бытовых отходов. /Журнал общей биологии, т.54,№2, с.167-181.(1995)
6. Ножевникова А.Н., Елютина Н.Ю., Некрасова В.К., Труфманова Е.А. Образование метана микрофлорой грунта полигона твердых бытовых отходов. / Микробиология, т.58, вып.5.,1989г. с.859-863.
7. Вайсман Я.И., Коротаев В Н., Петров В.Ю.Управление отходами. Захоронение твердых бытовых отходов./ Перм гос. техн. ун-т. Пермь, 2001.103.с
8. Проектирование и эксплуатация полигонов для захоронения твердых бытовых отходов в странах с переходной экономикой. / Рабочие материалы. /Доклад ЕРА на II Конгрессе по управлению отходами. Вэйсттэк, М., 2001г. 207с.
9. Ham R.R. Sanitary landfill, state of the art. Second landfill symposium. Sardinia, PortoConte,1989.
10. Ham R.R., Barlaz M.A. Measurement and prediction of landfill gas quality and quantity./ ISWA International sanitary landfill symposium. Cagliari, 1987. P. VIII-1 -VIII-23.
11. H.J.Ehrig. Prediction of gas production from laboratory scale tests. /Proceedings Sardinia 91, Third international landfill symposium, Cagliari, CISA publisher, vol.1,1991,p.87-114.

12. Christensen T., Kjeldsen P. Basic biochemical processes in Landfills./ Sanitary landfilling, Process, Technology and environmental impart. London, Academic press,1994.
13. Deponiegas NiederOsterreich. Gefahrdungs und Nutzungpotential allgemeine grundlagen. Amt der NO Landesregierung. 1991. 250c.
14. Временные рекомендации по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твердых бытовых отходов. 1991.
15. Санитарная очистка и уборка населенных мест./ Справочник. Под ред. Мирного А.Н. М., Стройиздат.1985.
16. Технологический регламент получения биогаза с полигонов ТБО., АКХ им. К.Д. Памфилова.М.,1990 г.,21 стр.
17. СНиП 11-102-96. Инженерно-экологические изыскания для строительства.
18. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для ТБО. Москва, АКХ им. К.Д.Памфилова, 1998.
19. Методические указания по расчету количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых отходов М.,1995.с.17.
20. СНиП 2.04.08- 87* Газоснабжение.
21. СНиП 3.05 02-88 * Газоснабжение.

Приложение 1

Таблица1.

Характерный состав свалочного газа

Химическая группа	Соединение	Химическая формула	Содержание в биогазе, мг/м^3	ПДК$_{м.р.}$, мг/м^3	ПДК$_{с.с.}$, мг/м^3	Класс опасности
1	2	3	4	5	6	7
Алканы	Метан	CH_4	44-66%	100	25	4
	Этан	C_2H_6	0.8-48.0	100	25	4
	Пропан	C_3H_8	1.4-13.0	100	25	4
	Бутан	C_4H_{10}	0.03-23.0	200	-	4
	Пентан	C_5H_{12}	0-12	100	25	4
	Гексан	C_6H_{14}	3-18	60	-	4
	Гептан	C_7H_{16}	3-8	100	25	4
	Октан	C_8H_{18}	0.05-75.0	100	25	4
	Нонан	C_9H_{20}	0.05-400.0	100	25	4
	Декан (изодекан)	$C_{10}H_{22}$	0.2-137.0	100	25	4
	Ундекан	$C_{11}H_{24}$	7-48	-	-	-
	Додекан	$C_{12}H_{26}$	2-4	1	-	4
	Тридекан	$C_{13}H_{28}$	0.2-1.0	1	-	4
	2-метилпентан	C_6H_{14}	0.02-1.5	-	-	-
	3- метилпентан	C_6H_{14}	0.02-1.5	-	-	-
	2- метилгексан	C_6H_{16}	0.04-16.0	-	-	-
	3- метилгексан	C_6H_{20}	0.04-13.0	-	-	-
	2- метилгептан	C_8H_{18}	0.05-2.5	-	-	-
	3- метилгептан	C_8H_{18}	0.05-2.5	-	-	-
Циклоалканы	Циклогексан	C_6H_{12}	0.03-11.0	1.4	1.4	4
	Бицикло-3.1.о-гексан-2.2-метил-5-метилэтил	$C_{10}H_{14}$	12-153	-	-	-
Алкены	Этен	C_2H_4	0.7-31.0	3	3	3
	Пропен	C_3H_6	0.04-10.0	3	3	3
	Бутен	C_4H_8	1-21	3	3	4
Циклоал—кены	Циклогексен	C_6H_{10}	2-6	-	-	-
	Бицикло-3.2.1-октан-2.3-метил-4-метилен	$C_{10}H_{16}$	15-350	-	0.10	-
Ароматиче—ские углеводороды	Бензол	C_6H_6	0.03-7.0	1.5	0.60	2

Продолжение табл.1.

1	2	3	4	5	6	7
	Толуол	C_7H_8	0.2-615.0	0.60	0.02	3
	Диметилбензол	C_8H_{10}	0.2-7.0	0.20	0.02	3
	Изопропилбензол	C_9H_{10}	0-32	0.014	0.014	4
	1.3.5-метилбензол	C_9H_{12}	10-25	-	-	-
Галогенированные углеводороды	Дихлорметан	CH_2Cl_2	0-6	8.80	-	4
	Трихлорметан	$CHCl_3$	0-2	-	0.03	2
	Тетрахлорметан	CCl_4	0-0.6	4	0.7	2
	Хлорэтан	C_2H_3Cl	0-264	-	0.2	4
	Дихлорэтан	$C_2H_2Cl_3$	0-294	3	1	2
	Трихлорэтан	C_2HCl_3	0-182	-	-	-
	1.1.1-трихлорэтан	$C_2H_3Cl_3$	0.5-4.0	2	0.2	4
	Дихлордифторметан	CCl_2F_2	4-119	100	10	4
	Трихлорфторметан	CCl_3F	1-84	100	10	4
	Хлорбензол	C_6H_5Cl	0-0.2	0.1	0.10	3
Суммарное содержание хлора		Cl_2	25-40	0.1	0.03	2
Неорганические вещества	Оксид углерода	CO	0-0.3%	3.0	3	4
	Аммиак	NH_3	0-0.1%	0.20	0.04	4
	Сероводород	H_2S	200	0.008	-	2

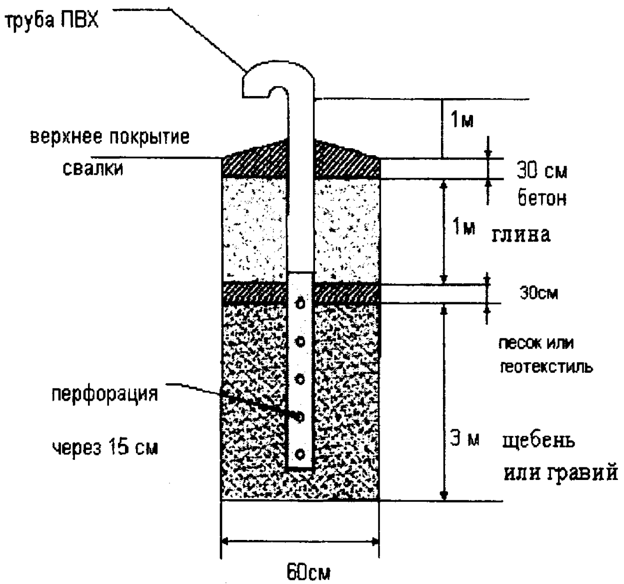
Таблица 2

Морфологический и химический состав биоразлагаемых ТБО типичного полигона

Фракция отходов	Брутто – формула и значения n_c	Молярная масса, μ_i кг/кмоль,
Пищевые отходы	$C_{320.3}H_{507.9}O_{188.4}N_{14,9}S$	7606,5
Бумага	$C_{580.6}H_{952.3}O_{440.8}N_{3.49}S$	15051.9
Садово-парковые отходы	$C_{424.8}H_{635.9}O_{253.8}N_{6.41}S$	9916.04
Дерево	$C_{1321}H_{1904}O_{855.6}N_{4.6}S$	31542
Ткань, текстиль	$C_{978,8}H_{1396}O_{416.8}N_{70.2}S$	20825.2
Кожа	$C_{404.4}H_{634.9}O_{58.1}N_{57.2}S$	7202.1
Резина	$C_{454.9}H_{69.4}NS$	5574
Пластик	$C_{3506}H_{5003}O_{1}S$	63.075

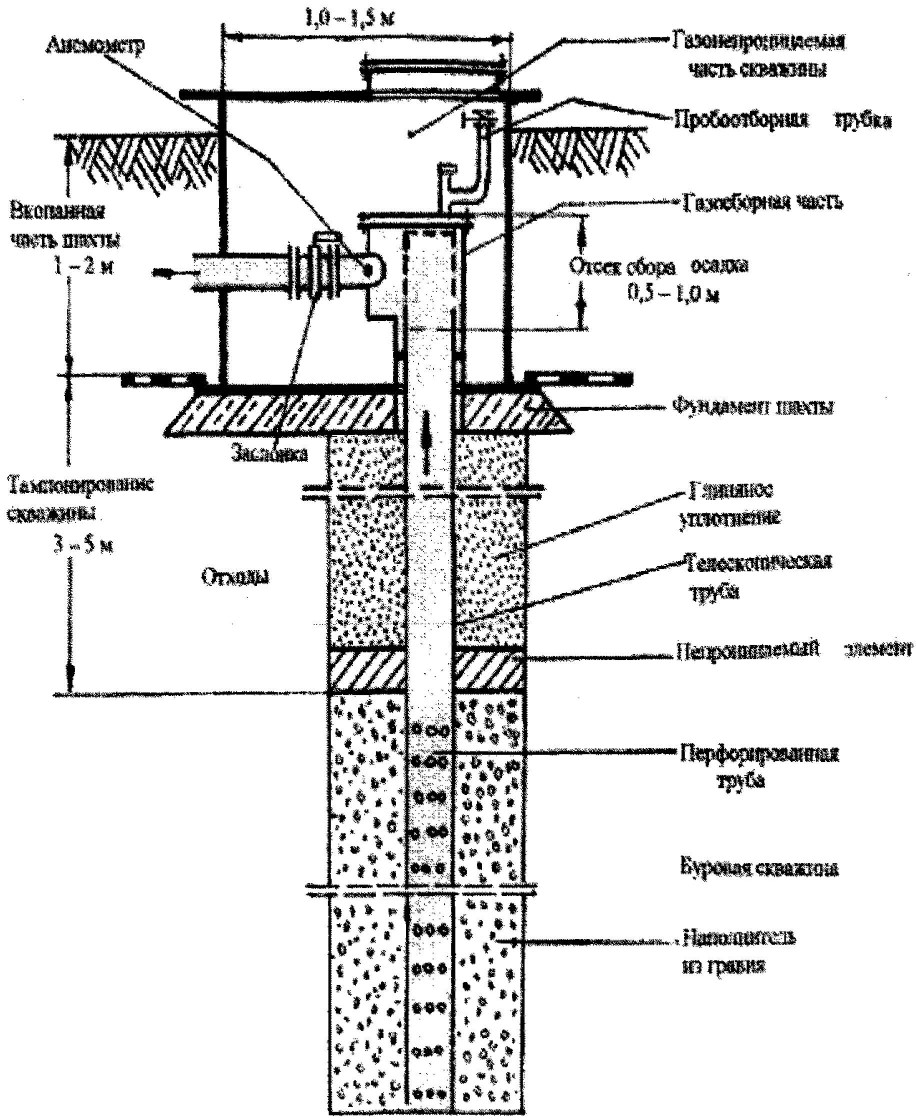
Приложение 2

Схема газовыпуска при устройстве траншейной системы сбора газа



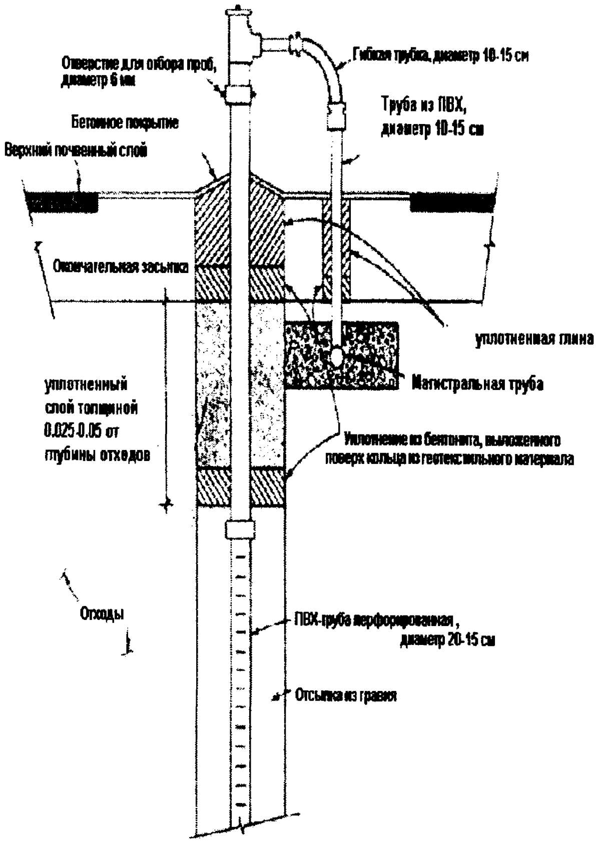
Приложение 3

Устройство дегазационной скважины для закрытого полигона ТБО



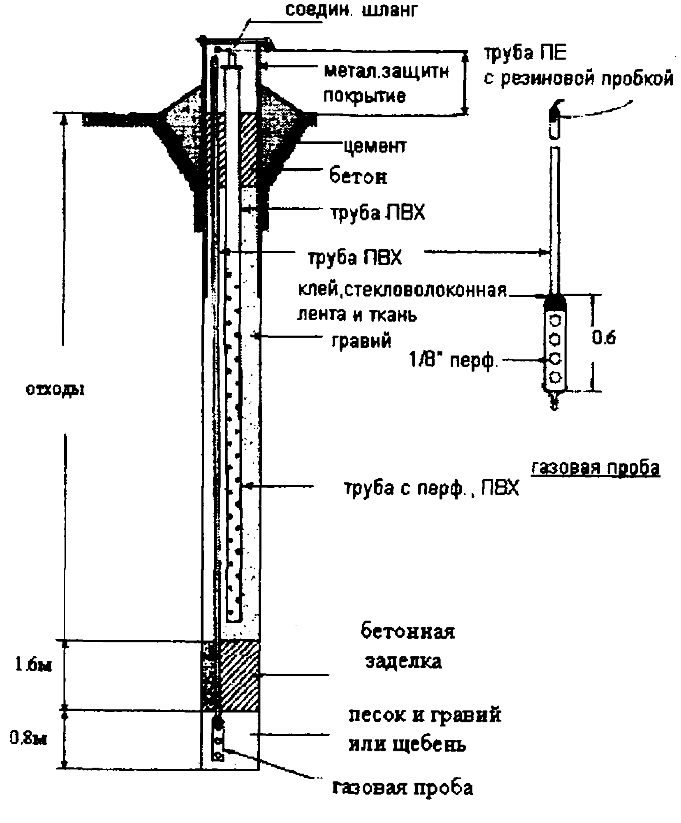
Приложение 4

Газосборная часть скважины активной дегазации для закрытого полигона



Приложение 5

Пробоотборное устройство для проведения мониторинга биогаза



Лицензия ЛР N030903 от 08.06.99
Формат 64х90/16. Объем 1,0 п.л.

Отпечатано с авторского макета лабораторией ИСТ СТФ ПГТУ