# РАБОЧИЙ ПРОЕКТ

по объекту:

«Корректировка проектно-сметной документации
на рекультивацию имеющегося полигона
твердо-бытовых отходов»

**Расчетная записка**

**01/51-06.05.2021-1-6-РЗ**

ТОО "LISMA-BB "

# РАБОЧИЙ ПРОЕКТ

по объекту:

«Корректировка проектно-сметной документации
на рекультивацию имеющегося полигона
твердо-бытовых отходов»

Расчетная записка

Объект: 01/51-06.05.2021-1-6-РЗ

Директор Бекмамбетов Б.Р.

г. Атырау 2021 год

# Расчетная записка

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 01/51-06.05.2021-2-2-ТК.Р | | |
| Изм. | Кол. | Лист | N°док. | Подпись | Дата | «Корректировка проектно-сметной документации на рекультивацию имеющегося полигона твердо бытовых отходов» | | |
| | | | | | | Расчетная записка | Стадия | Лист | Листов |
| Разработал | | Волков | | | | | РП | 1 | 16 |
| Н.контроль | | Ирышков | | | | | ТОО "Lisma-BB" г. Атырау 2021 год | | |
| ГИП | | Бекмамбетов | | | | | | | |

## Содержание


| № п/п | Наименование | лист |
|---|---|---|
| | Титульный лист. | 1 |
| | Содержание. | 2 |
| 1. | Процессы, приводящие к образованию биогаза | 3 |
| 1.1. | Количественная оценка образующегося биогаза | 8 |
| 1.2. | Качественный состав и свойства образующегося биогаза | 8 |
| 2. | Снижение эмиссии биогаза от свалки ТБО | 10 |
| 3. | Решения по утилизации свалочного газа | 13 |

## 1. ПРОЦЕССЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К ОБРАЗОВАНИЮ БИОГАЗА

В общем виде можно представить, что основная масса ТБО, депонированных на полигонах, вскоре после попадания в рабочее тело полигона становится анаэробной, так как находящийся в отходах свободный кислород быстро расходуется, а из атмосферного воздуха новые порции кислорода глубже чем на один метр в уплотненный мусор не проникают. Исключение составляют аэробные полигоны, где ведется аэрация рабочего тела.

Органические материалы, входящие в состав бытовых отходов, могут находиться в твердом или растворенном виде. В присутствии влаги начинается растворение органических материалов ТБО и их гидролиз. Основная часть органических материалов растворяется и становится доступной для воздействия ферментов, выделяемых микробами. В результате этих ферментативных процессов идет преобразование сложных органических веществ (через циклы органических кислот) до диоксида углерода - $CO_2$, водорода - $H_2$ и метана - $CH_4$. При определенных условиях $CO_2$ и $H_2$ могут также образовать $CH_4$.

В общем виде процесс разложения органических материалов ТБО может быть разбит на три стадии. На первой стадии твердые и растворенные вещества гидролизуются и под воздействием ферментов микробов расщепляются до промежуточных продуктов: жирных кислот, спиртов, водорода и диоксида углерода. На второй - ацетогеничные группы микробов превращают промежуточные продукты, полученные на первой стадии, в уксусную кислоту, водород и диоксид углерода. На третьей (заключительной) - образуется метан за счет воздействия метаногенных групп микробов. При этом ацетофильные бактерии превращают уксусную кислоту в $CO_2$ и метан, а гидрогенофильные бактерии получают из водорода $CO_2$ и метан.

Стехиометрически эти процессы могут быть выражены уравнением:

$$C_n H_a O_b + (n+a/4-b/2)H_2O \rightarrow (n/2 - a/8+b/4)\, CO_2 + (n/2+a/8 - b/4)\, CH_4$$

- где n, a, b - стехиометрические коэффициенты.

На процессы деструкции ТБО влияют абиотические факторы.

<u>Кислород.</u> Метанообразующие бактерии очень чувствительны к кислороду и развиваются в анаэробной зоне. Присутствие кислорода в значимых концентрациях может тормозить процесс генерации метана.

<u>Водород.</u> При низких концентрациях водорода (ниже $10^{-5}$ атм) идет образование из $CO_2$ и $H_2$ метана. При высоких концентрациях водорода из $CO_2$ и этанола образуются масляная и пропионовая кислоты. При снижении давления водорода эти кислоты в конечном результате превращаются в метан.

<u>pH и щелочность.</u> Метангенерирующие бактерии эффективно работают при pH = 6-8. При значении pH ниже 6 процессы метанообразования тормозятся и идет образование

масляной и пропионовой кислот, которые затем при более благоприятных значениях pH вовлекаются в процессы преобразования с получением в конечном результате метана.

Из всех абиотических факторов pH имеет наибольшее значение, так как при кислых значениях pH процесс метанообразования может быть подавлен.

Азот, фосфор и микроэлементы. Для эффективной генерации метана необходимы азот, фосфор, калий, сера, кальций, магний, железо, цинк, медь, кобальт, молибден, селен и другие микроэлементы.

Наиболее оптимальное соотношение органического углерода, азота, фосфора - соответственно 100: 0,44: 0,08. Нарушение этого соотношения, а также недостаток или отсутствие любого из органогенов или микроэлементов тормозит или приостанавливает образование метана.

Ингибиторы. Высокие концентрации многих летучих кислот, солей тяжелых металлов, сульфидов, специфических органических веществ могут оказывать ингибирующее действие на процессы метаногенеза. Так, ингибирующий эффект явно выражен при концентрации кальция 8000 мг/л, магния и аммония 3000 мг/л.

Сильными ингибиторами являются хлороформ (20 мг/л), четыреххлористый углерод (2,2 мг/л), винилхлорид (5-10 мг/л), метиленхлорид (1,8-2,2 мг/л) и др.

Многие из этих веществ в малых концентрациях являются стимуляторами метаногенеза, в больших - ингибиторами. Это справедливо для карбоната калия, натрия, кальция, магния, аммония.

Температура. Подобно большинству микробиальных процессов скорость и глубина разрушения органических веществ ТБО в процессе метаногенеза зависит от температуры. Мезофильная группа метанообразующих бактерий активно работает при температуре около 40°С, а термофильная - около 70°С. При повышении температуры от 20 до 30-40°С в лабораторных условиях было установлено, что скорость метаногенеза возрастает в 100 раз. Рост температуры внутри рабочего тела полигона не связан с колебанием температуры наружного воздуха и примерно одинаков на глубине 2-4 м. Так, при температурах наружного воздуха от 1-3°С зимой и 17-19°С летом в теле полигона на глубине 2-4 м температура в течение трех лет наблюдений постепенно нарастала от 30 до 40 °С.

Влажность. Многими исследованиями доказано увеличение выхода метана с повышением влажности ТБО. Было установлено экспериментально, что выход метана увеличивается при повышении влажности от 20 до 60 %. Вода в субстрате ТБО выполняет функцию транспорта (перемещение питательных веществ), разбавляет ингибиторы и распределяет микрофлору между отдельными частицами отходов.

При всей важности абиотических факторов наибольшую роль в разложении органической части ТБО играют биологические факторы, а из них наиболее значимы микробиальные. В связи с этим целесообразно более подробно рассмотреть микробиальные биотермические процессы, так как они определяют скорость и полноту разрушения органики, формирование состава и расход биогаза, качество фильтрата.

При разложении отходов протекают одновременно физико-химические, химические и биохимические процессы.

К физическим процессам относятся уплотнение, сжатие, уменьшение размера частиц, адсорбция, ионный обмен и др. Увеличение плотности и уменьшение размера частиц способствуют адсорбции воды, повышению влажности отходов и ускоряют их разложение.

К химическим процессам относятся окислительно-восстановительные и фотохимические реакции, гидролиз, деполимеризация, образование труднорастворимых и комплексных соединений, зависящие от содержания кислорода в теле полигона, величины pH, окислительно-восстановительного потенциала различных фракций отходов и др.

Превалирующую роль при разложении отходов играют биохимические процессы, протекающие в аэробных и анаэробных условиях.

При складировании ТБО на полигонах процесс разложения их органической части зависит от условий аэрации - доступа кислорода воздуха. В верхнем слое, на той его глубине, куда проникает атмосферный воздух, идут аэробные процессы, а в более глубоких слоях, где отсутствует кислород, - анаэробные процессы.

Аэробные процессы обычно протекают быстрее, сопровождаются большим количеством выделяемого тепла, идут до образования конечных продуктов разложения органических веществ: $CO_2$, $H_2O$, аммиак - $NH_3$, сероводород - $H_2S$. При этом обычно $NH_3$ в результате процессов нитрификации окисляется до солей азотистой и азотной кислот, а сероводород - до солей сернистой и серной кислот. Анаэробные процессы протекают значительно медленнее, сопровождаются на порядок меньшим выделением тепла. Наряду с конечными продуктами распада ($CO_2$, $H_2O$, $H_2S$, $CH_4$, $NH_3$) обычно образуются сложные органические продукты, в том числе дурнопахнущие. Часто реакция pH сдвигается в кислую сторону.

В аэробных процессах участвуют большие группы различных микроорганизмов, в том числе бактерии, актиномицеты, плесени, грибы.

В начале процесса принимают участие обычные виды микроорганизмов, живущие в почве при температурах до 25-30°С. Они представлены смесью бактерий, грибковой плесенью. Активную роль при этом играют и простейшие, нематоды. Вся эта совокупность почвенной микрофлоры и простейших животных организмов достаточно полно разрушает легкорастворимые в воде вещества: крахмал, белок, сахар. Процесс разрушения связан со значительным выделением тепла. Масса отходов разогревается до 40-50°С.

При достижении этих температур создаются условия, неблагоприятные для почвенной мезофильной микрофлоры. Она уступает место термофилам - бактериям и актиномицетам, которые эффективно разрушают более стойкие вещества: целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин, а также жиры. При дальнейшем разогреве массы отходов (свыше 70-75°С) термофилы отмирают, обедняется микрофлора и постепенно останавливается распад органических веществ. По мере остывания вновь оживляется деятельность мезофилов, которые завершают разложение органических веществ ТБО.

**Аэробные условия**

Среди процессов разложения органических веществ в аэробных условиях на полигонах ТБО основной удельный вес принадлежит окислению целлюлозы, жиров, углеводородов, азотсодержащих органических веществ, мочевины.

***Окисление целлюлозы.*** Под воздействием ферментов микроорганизмов (В. Cytophaga, В. Cellvibrio, Micromono-spora, Streptomyces, Aspergillus и др.) начинается гидролиз целлюлозы с превращением ее в дисахарид целлобиозу, а затем в глюкозу. Глюкоза окисляется до $CO_2$ и $H_2O$. Цепочка превращений в упрощенном виде может быть представлена следующим образом: целлюлоза - целлюлаза - целлобиоза - целлобиаза - глюкоза - $CO_2$ + $H_2O$.

***Окисление жиров.*** Жиры подвергаются гидролизу под влиянием ферментов (липаза) микроорганизмов: пигментных бактерий, актиномицетов, плесневых грибов родов Aspergillus и Penicillium; в результате образуется глицерин и жирные кислоты. Затем глицерин и жирные кислоты под воздействием микроорганизмов включаются в сложный биохимический процесс, который идет через стадии образования ряда органических кислот, вступающих в цикл Кребса и в конечном итоге распадающихся до $CO_2$ и $H_2O$. В упрощенном виде окисление жиров можно представить следующим образом: жиры – глицерин + жирные кислоты - $CO_2$ + $H_2O$.

***Окисление углеводородов.*** Углеводороды с различной длиной углеродной цепи (от метана до сложных углеводородов нефти) разлагаются под воздействием специфических видов микроорганизмов (метанокисляющих, фенолокисляющих, нефтеразрушающих и др.). Наиболее активно сложные углеводороды окисляют В. Pseudomonas, микобактерии, актиномицеты. Окисление углеводородов можно в упрощенном виде представить следующим образом: углеводы – спирт – альдегид – карбоновая кислота - $CO_2$ + $H_2O$.

***Окисление азотсодержащих органических веществ.*** Существует большая группа специфических микроорганизмов, способных выделять протеолитические экзоферменты, которые гидролизуют белки с расщеплением их на более мелкие соединения - полипептиды, способные проникать в микробную клетку. Полипептиды под воздействием эндоферментов расщепляются до аминокислот, которые затем окисляются с выделением аммиака, $CO_2$ и $H_2O$.

Этот процесс разложения продуктов гидролиза белка микроорганизмами с образованием аммиака называется аммонификацией, а микроорганизмы - аммонификаторами. При наличии в белковых соединениях серы в качестве промежуточных продуктов разложения образуются тиоспирты (меркаптаны), а в качестве конечного продукта - сероводород. Разложение белковых соединений ведется большой группой различных микроорганизмов, включающей Bacillus Subtilis, Bacillus mykoides, Bacterium fluorescens, а также многие виды актиномицет, грибов. В общем виде окисление белковых соединений можно представить следующим образом: белки – полипептиды – аминокислоты.

Аминокислоты могут разлагаться до конечных продуктов - $NH_4,^+$ $CO_2$ и $H_2O$ - прямым, окислительным или восстановительным дезаминированием.

***Окисление мочевины.*** Мочевина (карбамид) является продуктом белкового обмена человека и животных.

Карбамид под воздействием фермента уреазы, выделяемого уробактериями, гидролизуется с образованием $NH_3$, $CO_2$ и $H_2O$.

**Анаэробные условия**

Разложение органических веществ - компонентов ТБО в анаэробных условиях существенно отличается от разложения в аэробных условиях. Общим направлением биохимических процессов является брожение. Разложение органических веществ в анаэробных условиях, как правило, идет не до конечных продуктов. Процесс разложения, в котором принимают участие различные виды микроорганизмов, протекает ступенчато. Это заметно удлиняет время распада вещества.

Углеводороды, жиры, целлюлоза, пектиновые вещества на первой ступени распада (кислое или водородное брожение) образуют органические кислоты, спирты, глицерин, которые на второй ступени (метановое брожение) разлагаются до $CO_2$ и $CH_4$. При этом также $CO_2$ может восстанавливаться до $CH_4$.

Процессы анаэробного разложения широко представлены брожением целлюлозы, углеводородов, жиров, белков.

***Целлюлоза*** разлагается мезофильными и термофильными бактериями рода Clostridium. В зависимости от вида бактерий образуются различные продукты. Мезофильные бактерии типа Clostridium Omelianskii образуют молочную и муравьиную кислоты, бактерии Clostridium dissolvens - масляную, уксусную и молочную кислоты, этиловый спирт, $CO_2$, $H_2$. При термофильном брожении бактериями Closstridium termocelluni образуются уксусная, молочная, муравьиная кислоты, этиловый спирт, $CO_2$, $H_2$. В этом случае разложение идет более полно и быстро. При анаэробных процессах разложения целлюлозы углерод, входящий в ее состав, окисляется только на 50 % до $CO_2$, остальные 50 % восстанавливаются до $CH_4$ (метана). Это можно проиллюстрировать следующей цепочкой превращений: целлюлоза - глюкоза - этанол - уксусная кислота - $CH_4$ + $CO_2$.

В разложении ***жиров*** принимают участие бактерии типа Clostridium perfringens, Clostridium Sporogenes и многие другие. Высшие жирные кислоты при сбраживании в результате разрыва углеродной цепи образуют низшие кислоты. Глицерин сначала образует пировиноградную кислоту, которая затем разрушается до конечных продуктов. Разложение жиров идет по схеме: жиры – глицерин + жирные кислоты – метан + кислород.

***Белковые соединения*** разлагаются спорообразующими (Bacillus putrificus, Bacillus Sporogenes), а также факультативными анаэробами (Proteus Vulgaris, Bacteria Coli). На первой ступени распада образуются промежуточные продукты: амины, аминокислоты ароматического ряда, меркаптаны, сероводород. На второй ступени промежуточные продукты включаются в биохимические процессы восстановительного дезаминирования, при этом образуется аммиак и органические кислоты, которые затем разлагаются с

образованием $CO_2$ и $CH_4$. Сера, входящая в состав белка, переходит в тиоспирты, тиоэфиры, сероводород.

***Нитраты*** могут восстанавливаться до свободного азота за счет воздействия микробов-денитрификаторов (Bacterium denitrificans, Pseudomonasflourescens и др.).

Таким образом, оба процесса - аэробный и анаэробный - приводят к разложению органической части ТБО, образованию $CO_2$, биомассы и выделению тепла. Различие между ними заключается в том, что при аэробном процессе тепла выделяется на порядок больше, но не образуется метан, а при анаэробном процессе тепла выделяется меньше, но образуется метан, который необходимо либо утилизировать, либо подвергать очистке.

### *1.1. Количественная оценка образующегося биогаза*

Существенное варьирование газопродуктивности и скорости процесса биоразложения определяется условиями среды, сложившимися в конкретном свалочном теле. К числу параметров, контролирующих биоконверсию, относятся влажность, температура, pH, состав органических фракций.

В результате разложения органической части ТБО образуется биогаз, макрокомпонентами которого являются метан - $CH_4$ и диоксид углерода - $CO_2$,

Стехиометрия процесса газообразования может быть описана следующим упрощенным уравнением реакции:

$$nC_6H_{10}O_5 + n\,H_2O \rightarrow 3nC_4H_4 + 3n\,CO_2$$

Эмиссия свалочного газа продолжается в течение длительного времени на завершающем этапе жизненного цикла полигона ТБО, т.е. после его закрытия и рекультивации.

Согласно лабораторным исследованиям потенциал свалочного газа для влажного домашнего мусора составляет от 70 до 100 $м^3$ /т ТБО. Многолетние исследования позволили сделать вывод о том, что наиболее интенсивно процесс протекает в первые 5 лет, за которые выделяется около 50%, а в течение 20 лет – 80% полного запаса свалочного газа. К настоящему времени объем образования биогаза на рассматриваемой в проекте свалке ТБО и ПО постепенно падает с течением времени, перейдя свои максимально пиковые количественные показатели.

### *1.2. Качественный состав и свойства образующегося биогаза*

Макрокомпонентами биогаза (свалочного газа) являются метан и диоксид углерода, их соотношение может меняться от 40-70% до 30-60% соответственно. В существенно меньших концентрациях, на уровне первых процентов присутствуют как правило – диоксид азота, оксид углерода, аммиак. В качестве микропримесей в состав свалочного газа могут входить десятки различных органических соединений.

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

- $CH_4$ - 55,0%
- $CO_2$ - 42,0%
- $NO_2$ - 0,5%
- CO - 0,6%
- $H_2S$ - 0,3%
- $NH_3$ - 1,0%
- $SO_2$ - 0,3%
- фенол - 0,6%.

Свободное распространение свалочного газа в окружающей среде вызывает ряд негативных эффектов как локального, так и глобального масштабов, обусловленных его специфическими свойствами.

Прежде всего, он горюч, его средняя калорийность составляет примерно 5500 Ккал/м$^3$. В определенных концентрациях он токсичен. Конкретные показатели токсичности определяются наличием ряда микропримесей, таких, например как сероводород. Обычно биогаз обладает резким неприятным запахом.

При накоплении биогаза могут формироваться взрыво- пожароопасные условия в зданиях и сооружениях, расположенных вблизи захоронений ТБО, в коммуникациях и колодцах.

Свалочный газ оказывает гибельное воздействие на растительный покров. Так, причиной подавления растительности, которое наблюдается вокруг свалок, является накопление биогаза в поровом пространстве почвенного покрова, вызывающее асфиксию корневой системы.

Биогаз является парниковым газом и влияет на изменение климата Земли. Это придает ему глобальную значимость и делает его объектом пристального внимания мирового сообщества.

## 2. СНИЖЕНИЕ ЭМИССИИ БИОГАЗА ОТ СВАЛКИ ТБО

Снизить количество свалочного газа, поступающего в атмосферу, можно, используя *биосорбционный метод*, реализуемый в биофильтрах. На поверхности тела свалки создается изолирующее покрытие. Для очистки биогаза в нем прорезают траншеи и устанавливают биофильтр. Возможность его применения ограничивается максимальной окислительной способностью биофильтра. Биосорбционные фильтры на основе таких сорбентов, как опил, кора длительного срока хранения, скоп (отход, образующийся в целлюлозно-бумажной промышленности), эффективны для очистки биогаза от токсичных и дурнопахнущих веществ – одорантов. В качестве сорбентов газов хорошо зарекомендовал себя гранулированный сорбент на основе Глауконита.

## 3. РЕШЕНИЯ ПО УТИЛИЗАЦИИ СВАЛОЧНОГО ГАЗА

Данным проектом предусматривается очистка биогаза в сорбционном биофильтре.

### Расчет сорбционного биофильтра

### *Определение количества биогаза*

*Условно «старые» захоронения*

Существующая свалка эксплуатируется около 40 лет. Согласно предоставленных данных Заказчиком, общий объём поступивших ТБО, в период с 1977 по 2021 год составляет 2 500 000,00 тн., или 3 571 428,57 м$^3$ в уплотненном виде (средней плотностью около 700 кг/м$^3$) по состоянию на октябрь 2021 г.

*Условно «новые» захоронения*

Эксплуатация санкционированной свалки ТБО предполагается до декабря 2022 г., т.е. в течение 1года с момента разработки проекта рекультивации. За этот период, в среднем, на свалку дополнительно будет вывезено 124,18 тыс. м$^3$ ТБО в неуплотненном виде, 35,48 тыс. м$^3$ в уплотненном виде (степень уплотнений – в 3,5-4 раза).

### *Определение удельного выхода биогаза*

$Q_t = 10^{-6}$ R(100 - W)(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б), где:

- $Q_t$ - удельный выход биогаза за период активного выхода, кг/кг отходов;
- W - влажность, %;
- R - содержание органической составляющей в отходах, на сухую массу, %;
- Ж - содержание жироподобных веществ в органике отходов, %;
- У - содержание углеводоподобных веществ в органике отходов, %;
- Б - содержание белковых веществ в органике отходов, %.

Согласно данным АКХ им. Памфилова принимаем:

- W = 51%
- R = 50,1…79%;
- Ж = 2%
- У = 80%
- Б = 17%.

$Q_t = 10^{-6}$ x 56x(100 - 51)x(0,92x2 + 0,62x80 + 0,34x17) = **0,154 кг/кг (т/т) ТБО**

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

- $CH_4$ - 55,0%
- $CO_2$ - 42,0%
- $NO_2$ - 0,5%
- CO - 0,6%
- $H_2S$ - 0,3%
- $NH_3$ - 0,7%
- $SO_2$ - 0,3%
- фенол - 0,6%.
- **Сумма 100,0%**

***Расчет плотности биогаза***

$$p_{вг} = \frac{\sum_{j=1}^{n} C_{вкi} \times p_i}{100}, \text{ кг/м}^3, \text{ где:}$$

- $C_{вкi}$ - содержание i-го компонента в биогазе, весовые %;
- $\rho_i$ - плотность i-го компонента в биогазе, кг/м$^3$;
- n - количество компонентов в биогазе.

$$p_{вг} = \frac{55*0,717+42*1,977+0,5*1,49+0,6*1,25+0,3*1,54+0,7*0,771+0,3*2,93+0,6*0,867}{100} = 1,261 \text{ кг/м}^3$$

***Удельный объем биогаза***

$$V = \frac{Qt}{рвг}, \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V = \frac{0,154}{1,261} = 0,122 \text{ м}^3/\text{кг или } 122 \text{ м}^3/\text{т}$$

Расчетные данные превышают примерно в два раза данные многолетних исследований, проведенных фирмой «Геополис»: согласно лабораторным исследованиям потенциал свалочного газа для влажного домашнего мусора составляет от 70 до 100 м$^3$ /т ТБО, а при возрасте свалочного тела 50 лет (как для санкционированной свалки) скорость образования составляет около 50 м$^3$/час. Пояснение по снижению эмиссии метана дано выше (разд. 3.5.6.3).

***Объем биогаза от условно «старого» захоронения***

Согласно литературным данным за период 20 лет генерируется 80 % биогаза. Следовательно, максимально возможный объем биогаза от разложения «старых» отходов составит:

Vст. = 3 571 428,57 м3 * 0,7 т/м3 * 50 м3/т * 0,2 = 24 999 999,99 $м^3$

***Объем биогаза от условно «новых» захоронений, за последние 5 лет***

Vнов. = 177400,0 м3 * 0,7 т/м3 * 50 м3/т* 0,8 = 4 967 200 $м^3$

***Объем биогаза, который подлежит очистке***

Общий объем биогаза составляет: Vоб. = 24 999 999,99 + 4 967 200 = 29 967 199,99 $м^3$

Исходя из качественного состава биогаза, очистке необходимо подвергать 57,5% общего объема (исключаем $CO_2$ и $NO_2$)

Vоч. = 22 423 701,26 * 0,575 = 17 231 139,99 $м^3$

***Количество сорбента для очистки биогаза***

Для очистки биогаза предполагается использовать сорбент на основе глауконитовых песков с сорбционной емкостью по метану – не менее 0,29 кг/т.

Метод очистки биогаза в биофильтре разработан сотрудниками ООО «Технопарк», г. Тамбов. Экспериментально установлено, что воздух, образующийся в процессе разложения органических веществ, содержит вещества в концентрации С (мг/$м^3$):

- метан - 7,74
- аммиак - 10,00
- сероводород - 0,0345
- фенол - 0,025
- метилмеркаптан - 0,057.

Дальнейший расчет проводится по метану, т.к. его содержание максимальное в биогазе.

Количество метана:

Рметан = С * Vоч * $10^{-8}$

Рметан = 7,74мг/м3 * $10^{-8}$ * 17 231 139,99 м3 = 1,3337 т

Количество (масса) сорбента:

$$Рсорб. = \frac{Рметан}{Е * 10 -3}$$

$$Рсорб. = \frac{1,3337\ т}{1,3\ кг/т\ * 10^{-3}} = 1025,92\ т\ .$$

Однако, учитывая достаточно большие размеры верхней площадки саркофага, накрывающего свалку для более равномерного распределения биогаза и в целях недопущения его скопления в локальных участках и предотвращения взрывоопасных ситуаций, размещение траншей и объем сорбента приняты конструктивно.

При толщине сорбирующей прослойки 0,1 м необходимая ее площадь составляет 7891,70 м$^2$. Соответственно объем сорбента: 789,17 м$^3$, масса при плотности 1,3 т/м$^3$ – 1025,92 т.

Модифицированный сорбент для очистки биогаза должен обладать следующими качествами:

- механические характеристики: пористость 30-35% - для обеспечения высокой сорбционной емкости; фракционный состав: гранулы цилиндрической формы, диаметром 2 мм и длиной до 4 мм – для избежания слеживаемости сорбента в траншеях;

- глинистая фракция: менее 0,044 мм – во избежание заиливания в траншеях, т.к. биогаз имеет высокую влажность;

- сорбционная емкость по метану: не менее 0,29 кг/т;

- класс опасности для ОПС: 4 класс – для обеспечения транспортировки всеми видами крытого транспорта, складирования на открытых площадках с твердым покрытием.

Такими свойствами обладает сорбент «Агроионит».

### *Конструкция сорбционного биофильтра*

Биофильтр представляет собой траншею с размерами: ширина – 1,8 м, глубина – 0,6 м, толщина сорбирующей прослойки «Агроионит» - 0,10м.

Общая фактическая длина траншеи составляет: 20*240 = 4800 м.

Объем сорбента «Агроионит» при этом составит: 3580*1,65(ср.)*0,1=792,0 м$^3$.

Подробно схему размещения и привязку биосорбционных фильтров см. графическую часть проекта.