МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Магистерская диссертация)

На тему «Исследование процесса выделения биогаза в условиях полигона твердых коммунальных отходов и влияния его эмиссии на окружающую среду»

Исполнитель Соболев Михаил Анатольевич

Руководитель кандидат биологических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Рижия Елена Яновна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____
(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«___»_____2022 г.

Санкт–Петербург
2022

Содержание

	Стр.
Введение	3
Глава 1. Полигоны ТКО как источник биогаза	
1.1 Биодеструктивные процессы и физико-химические условия образования биогаза	5
1.2 Основные факторы, влияющие на объем и состав эмиссий биогаза	8
1.3 Токсические свойства биогаза и его влияние на окружающую среду и здоровье человека	10
1.3.1 Влияние биогаза на атмосферный воздух	15
1.3.2 Влияние биогаза на здоровье человека	16
Глава 2. Опыт дегазации полигонов ТКО	
2.1 Опыт дегазации полигонов ТКО в Российской Федерации	20
2.2 Опыт дегазации полигонов ТКО в зарубежных странах	35
Глава 3. Общая характеристика исследуемого объекта – полигона ТКО «Новый Свет-ЭКО»	
3.1 Сведения об объекте размещения отходов «Полигон ТКО «Новый Свет – ЭКО»	41
3.2 Сведения о системе сбора биогаза на объекте размещения отходов «Полигон ТКО «Новый Свет-ЭКО»	48
Глава 4. Исследование эмиссий биогаза на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО»	
4.1 Анализ воздействия эмиссий биогаза на окружающую среду	57
4.2 Рекомендации по снижению воздействия эмиссий биогаза на окружающую среду	68
Заключение	71
Список использованной литературы	74

Введение

В настоящее время активно происходит научно-техническое развитие общества, которое в большой степени влияет на рост материального благополучия людей, на разработку и внедрение новейших технологий, а также на изменение уровня потребления продукции, что, в свою очередь, приводит к росту объемов образования твердых коммунальных отходов. Данных отходов в Российской Федерации образуется около 35-40 млн тонн ежегодно. Основной способ обезвреживания твердых коммунальных отходов (ТКО) – захоронение их на полигонах, что вызывает немалое количество экологических проблем. Всего лишь 3-4% процента отходов перерабатывается, а органическая часть оставшихся подвергается процессам биологического разложения, что является естественным процессом. Захоронение ТКО на полигонах всегда сопровождается негативным воздействием на окружающую природную среду, а среди последствий – загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод и почвы продуктами разложения твердых коммунальных отходов.

При анаэробном разложении отходов образуется биогаз, он выделяется в атмосферный воздух, что способствует усилению парникового эффекта в силу состава биогаза. Этот негативный эффект делает управление эмиссией биогаза актуальной задачей.

Также, в статье 42 Конституции Российской Федерации написано: «Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии». В связи с этим Правительство Российской Федерации имеет полномочия обеспечивать единую государственную политику для осуществления реализации прав граждан на благоприятную окружающую среду согласно Конституции. На основе наблюдения за состоянием окружающей среды, анализа полученных в результате наблюдений данных, а также прогноза возможных изменений предоставляется достоверная информация об

окружающей природной среде и степень влияния на окружающую среду и здоровье человека антропогенных факторов.

Объекты исследования – специфические физические и химические условия, а также биохимические процессы образования биогаза, которые происходят в свалочных телах полигонов твердых коммунальных отходов; токсические свойства биогаза и его компонентов; современная ситуация с эмиссиями биогаза на полигоне твердых коммунальных отходов «Новый Свет-ЭКО».

Цель работы: изучить свойства биогаза, образующегося на полигоне твердых коммунальных отходов «Новый Свет-ЭКО».

Задачи:

1. Проанализировать современные сведения об условиях и процессах образования биогаза, образующегося в свалочных толщах полигонов твердых коммунальных отходов, а также обобщить современные представления о токсико-экологических свойствах биогаза;

2. Определить влияние биогаза на окружающую среду, а именно: количество выбросов загрязняющих веществ, ПДК рабочей зоны и ПДК максимальную разовую на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО»;

3. Разработать рекомендации по снижению воздействия биогаза на окружающую среду.

Особую благодарность хочу выразить Рижии Елене Яновне, оказавшую большую помощь в написании данной магистерской диссертации.

Работа изложена на 77 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 4 глав, заключения, 16 рисунков, 12 таблиц, содержит 27 источников.

Глава 1 Полигоны ТКО как источник биогаза

1.1 Биодеструктивные процессы и физико-химические условия образования биогаза

Как правило, биогаз образуется при анаэробном разложении органической фракции, содержащейся в твердых коммунальных отходах. Он состоит в основном из метана и диоксида углерода (Около 98% состава биогаза). Во время выделения из тела полигона он загрязняет атмосферный воздух, оказывая негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека, а также способствует усилению парникового эффекта [1-6].

Кроме данного негативного воздействия, метан, содержащийся в биогазе, является причиной самовозгорания отходов на полигоне, по причине того, что при взаимодействии метана с воздухом могут происходить химические реакции, в результате которых образуются горючие и взрывоопасные смеси (при концентрации 5-15% от объема). Горение отходов, в свою очередь, приводит к загрязнению атмосферного воздуха токсичными веществами [4].

Биогаз может содержать более сотни органических и неорганических компонентов. Выделяются две группы компонентов: микрокомпоненты (следовые газы) и макрокомпоненты (метан и углекислый газ). Соотношение метана и углекислого газа, как правило, меняется от 40-70% до 30-60% соответственно. Намного меньшую долю биогаза составляет азот (не более 15%), кислород и водород (около 1%). Также, в качестве микропримесей в составе могут содержаться десятки разнообразных органических соединений, например, толуол, аммиак, бензол, формальдегид, диоксид азота, ксилолы и т. д. [1].

Разложение твердых коммунальных отходов в теле полигона ТКО принято разделять на пять основных фаз:

1) Ацидогенная фаза – аэробное разложение с выделением углекислого газа. Метан не образуется, продолжительность составляет первые 10-15 дней с момента размещения твердых коммунальных отходов в теле полигона;

2) Щелочная фаза – анаэробное разложение, все еще без выделения метана. Может составлять от 180-500 дней до 2-10 лет [7];

3) Смешанное брожение – анаэробное разложение с небольшим образованием метана. Как и кислое брожение, может продолжаться 180-500 дней до 2-10 лет [7];

4) Метановое брожение – анаэробное разложение с наибольшим объемом выделяемого метана (может составлять до 50-75% общего объема биогаза), длится от 10 до 30 лет [7];

5) Затухание метаногенеза – анаэробные процессы останавливаются, однако кислотность среды тела полигона, содержание органических и хлорсодержащих элементов, окислительно-восстановительный потенциал внутри свалочной толщи полигона сохраняется около тысячи лет. Само затухание образования метана может продолжаться от ста до тысячи лет.

Ацидогенная фаза, или же первая аэробная стадия разложения твердых коммунальных отходов, подразумевает участие микроорганизмов (например, бактерий, грибов и актиномицет) и беспозвоночных (нематоды, двупарногие и клещи). Данная фаза проходит, в основном, в слоях полигона не глубже метра, имеет зависимость от концентрации кислорода и морфологического состава отходов [8]. На стадии аэробного разложения белки превращаются в аминокислоты, затем аминокислоты превращаются в воду и углекислый газ. В конечном итоге, в результате распада органической фракции отходов, образуются жирные органические кислоты некоторых предельных углеводородов, которые, в свою очередь, обуславливают кислую среду. Здесь уже активно принимают участие облигатные анаэробы (например, целлюлозные и маслянокислые бактерии), которые существуют только в аэробной среде, а также факультативные анаэробы (уксуснокислые, пропионовокислые, молочнокислые бактерии, дрожжи), которые могут развиваться почти в любой среде [8].

Большую часть органических отходов составляет целлюлоза, разлагающаяся экстрацеллюмерными ферментами, которые выделяются

некоторыми бактериями, до глюкозы. Глюкоза же, в свою очередь, используется целлюлозными бактериями, в результате чего образуется углекислый газ и вода. Во время аэробной фазы разложения отходов температура может доходить до 80 °С. Это происходит, в основном, по причине роста активности факультативных анаэробов и облигатных анаэробов в результате неплотной утрамбованности отходов [8]. Также, происходит переход в анаэробные условия и снижение растворимости кислорода.

Щелочная фаза, она же метановая, характеризуется щелочной реакции среды (pH = 7,6 – 8,0) [8]. Продукты распада, образованные во время первой фазы, начинают перерабатываться бактериями с образованием большого объема метана и углекислого газа. Снижение растворимости кислорода, а также накопление диоксида углерода во время биологического окисления, приводят к увеличению количества облигатных и факультативных анаэробов, тепловыделение замедляется. Поскольку многим бактериям необходимы определенные акцепторы электронов, данная последовательность существенно изменяет всю микробную популяцию. Виды микроорганизмов, способные использовать окисленные акцепторы, находятся в более выгодных условиях, следовательно, имеют термодинамические преимущества.

В аэробной среде, во время окислительно-восстановительных процессов, конечный акцептор – кислород, а во время ферментации – органическое соединение, которое образуется в ходе передачи водорода одной органической молекуле другой органической молекулой. От 35 до 55% органической фракции отходов разлагается с выделением жидкости (фильтрата) и газа в ходе анаэробного разложения [8].

Смешанное брожение, оно же третья фаза, начинается с резкого роста метаногенных бактерий. Это обусловлено воздействием высоких концентраций органических летучих кислот (могут составлять 6000-16000 мг/л) [8]. В выделяемом биогазе снижается объем водорода, летучих жирных кислот, углекислого газа (до 30-35%) и азота (до 1-2%), но увеличивается объем метана (до 60-65%) [8].

Метановое брожение, или же четвертая фаза, характеризуется наибольшим выделением метана, что вызвано увеличенным количеством метаногенных бактерий, синтезирующих метан в ходе восстановления метильной группы метилового спирта и уксусной кислоты. Образующийся на это стадии фильтрат имеет нейтральную среду, низкое содержание растворенных веществ и летучих жирных кислот. Метан составляет более половины от общего объема газов [8].

Затухание метаногенеза, или же пятая и последняя стадия, происходит в аэробных условиях. Образование метана снижено, происходит диффузия атмосферного воздуха, что приводит к росту аэробных зон в свалочной толще. В таких зонах окислительно-восстановительные потенциалы уже слишком высоки для образования метана. Данная фаза встречается только на старых полигонах, на которых в верхних слоях остался только стойкий органический углерод [8].

1.2. Основные факторы, влияющие на объем и состав эмиссий биогаза

Биогаз, который образуется в свалочных толщах полигонов ТКО, состоит из разнообразных газов, объем и содержание которых зависит от некоторых факторов, например: доступ кислорода к отходам, плотность отходов, морфологический состав отходов, условия окружающей среды, стадия разложения отходов и т. д. [1].

Основными факторами, влияющими на состав и объем биогаза, являются:

- Возраст ТКО;
- Значение pH среды;
- Морфологический состав ТКО;
- Влажность окружающей среды;
- Температура окружающей среды;
- Наличие катализаторов и ингибиторов химических реакций;
- Атмосферные условия;
- Соотношение углерода, азота и фосфора [1].

Одним из основных факторов, определяющих скорость разложения ТКО, а значит, и объем эмиссий биогаза, является влажность отходов. Увеличение образования метана связано именно с повышением влажности самих отходов, как показывает множество исследований [9]. В теле полигона вода исполняет некоторые функции, например: распределение микроорганизмов между отходами, разбавление ингибиторов и транспортировка питательных веществ. Метанобразующие бактерии могут перерабатывать органические вещества только при температуре 35-45 °С и в растворенном виде, это означает, что процесс выделения биогаза может происходить только во влажной среде. Оптимальное значение относительной влажности для образования метана 55-80 % [9].

Также, основным фактором, определяющим скорость разложения отходов, является плотность отходов, которая, в свою очередь, зависит от влажности ТКО. Плотность отходов характеризуется сезонными колебаниями, по причине повышения объема выпадения осадков в осенний период, и малым количеством осадков летом. Существует также и искусственное уплотнение отходов на полигонах, например, в Российской Федерации отходы уплотняются ежедневно, до 0,7 – 0,8 т/м^3, уплотнение осуществляется бульдозерами. В то же время, в США и большинстве стран Европы отходы уплотняются до 0,9 – 1,0 т/м^3 [10]. Эти действия совершаются по причине снижения возможности самовозгораемости метана в теле полигона. Во время самовозгораемости сами твердые коммунальные отходы не горят, наблюдается только тление с образованием пустот в свалочных толщах, куда позже просачивается кислород, в составе атмосферного воздуха, что уменьшает процессы образования и эмиссии биогаза.

Не менее важным фактором, влияющим на объем и скорость образования биогаза, является кислотность среды. Оптимальные значения для химических и биохимических реакций составляют 6,6 – 7,6 единиц pH. Значения водородного показателя среды можно регулировать, например, орошением поверхности тела полигона отстоем сточных вод и фильтрата, - они имеют низкие значения

кислотности, что уменьшают объемы образования метана и замедляют химические и биохимические реакции [10].

На скорость образования метана в частности, а значит, и биогаза в общем, влияет температура в теле полигона. Мезофильное брожение достигает максимальных значений при температуре 30 – 35 °С, термофильное брожение максимально при температуре 52 – 57 °С, это означает, что при уменьшении температуры среды замедляются и процессы образования метана [10]. Очевидно, что в зимний период при отрицательных температурах наблюдается минимальное значение эмиссий биогаза, а в весенний и летний периоды разложение твердых коммунальных отходов, а значит, и эмиссия биогаза, достигает своего пика. Потенциал образования метана, в зависимости от климатических условий конкретных регионов и сезонных колебаний, может изменяться в диапазоне от 6,2 до 270 $м^3$/т отходов, складируемых на полигоне ТКО [10].

Как правило, слои отходов, искусственно уплотненные бульдозерами, изолируются насыпным грунтом (например, строительными промышленными отходами). Изолирующие слои имеют толщину 15-25 см, и засыпаются с целью уменьшения эмиссии биогаза в атмосферный воздух. Это имеет несколько целей: во-первых, изоляция слоев отходов препятствует проникновению кислорода в составе атмосферного воздуха внутрь тела полигона, что обеспечивает стабильную анаэробную среду, в которой и происходят процессы образования метана; во-вторых, снижается вероятность возгорания метана и, как следствие, тления отходов в свалочных толщах; и, в-третьих, исключается перенос возможных инфекций фауной, например, птицами и грызунами [10].

1.3 Токсические свойства биогаза и его влияние на окружающую среду и здоровье человека

Согласно Уставу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), здоровье представляет собой состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических

дефектов. Как правило, здоровье на индивидуальном уровне подразумевает отсутствие у человека заболеваний и отклонений от нормы, а здоровье на уровне популяции – снижение уровней заболеваемости, смертности и минимальные значения инвалидности. Наиболее важные факторы, влияющие на состояние здоровья, по данным ВОЗ:

- 50% влияния оказывают образ жизни и условия жизни, а также питание людей
- 20% влияния оказывают генетические предрасположенности к болезням и наследственность
- 20% влияния оказывают условия окружающей среды
- 10% влияния оказывает уровень здравоохранения [11].

Заболеваемость населения – статистический показатель, определяющийся за определенный период времени как количество заболевших людей на некоторое количество людей (как правило, на 1, 10 и 100 тысяч человек населения). Статистика по заболеваемости населения собирается как по группам болезней (например, инфекционные, онкологические и сердечно-сосудистые), так и по отдельным видам болезней. Заболевания классифицируются по основным трем видам: несерьезные, которые вызывают лишь кратковременное ухудшение здоровья человека, но при этом наносят весомый экономический ущерб; заболевания, вызывающие инвалидность или другие жизненные ограничения; серьезные заболевания, являющиеся основными причинами смертности.

Биогаз, который образуется на полигонах твердых коммунальных отходов, является антропогенным фактором воздействия на здоровье человека, а это означает, что при оценке влияния эмиссий биогаза и его компонентов из тела полигона нужно рассматривать несколько направлений: постоянное влияние биогаза на здоровье во время разложения твердых коммунальных отходов, а также воздействие образующихся газов во время горения отходов на здоровье человека (при нарушении условий эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов или при несоблюдении правил складирования отходов).

По данными М. Н. Галкиной [11] выделение и образование биогаза на полигонах ТКО может происходить непрерывно в течение десятков лет, пока не окончатся процессы метаногенеза. Следовательно, здоровье человека подвергается воздействию биогаза продолжительное время. Во время разложения отходов образуются фильтраты, загрязняющие водную среду (грунтовые воды, поверхностные воды) и токсичные газы, загрязняющие воздушную среду. При этом, образующиеся метан, водород и сероводород могут создавать взрывоопасные смеси. При отсутствии пасмурной погоды, во время солнечных дней, ультрафиолетовые лучи, при взаимодействии с компонентами биогаза, способствуют фотохимическим реакциям с образованием веществ с до сих пор неизученными свойствами [11]. По статистике, загар на коже людей около полигонов ТКО и несанкционированных свалок образуется намного быстрее [11]. Нельзя забывать, что работники полигона ТКО, а также население ближайших городов, подвергаются воздействию биогаза и его компонентов непрерывно, вдыхая его с атмосферным воздухом. Этот путь попадания биогаза и его компонентов в организм человека наиболее опасен, по причине того, что поверхность легочных альвеол имеет большой всасывающий потенциал, и это позволяет газам быстро проникать в органы человека по всему организму [11].

Во время тления отходов образуются полиароматические углеводороды, являющиеся канцерогенами, они вызывают онкологические заболевания. При этом, находясь в едком дыме, углеводороды содержатся в концентрациях, превышающих нормы в тысячи раз. Таким образом, при самовозгорании отходов в свалочных толщах, люди близлежащих поселений и работники полигонов ТКО находятся в зоне повышенного экологического риска.

Существует два вида горения отходов на полигонах твердых коммунальных отходов: открытое горение, то есть горение отходов под открытым небом, и скрытое горение, то есть тление отходов в свалочных толщах полигона, или же пиролитическое горение.

Открытое горение способствует распространению газов в составе дыма и запахов на километры от полигонов ТКО. Продукты, образующиеся во время

горения, разносятся на огромную площадь, накрывая при этом населенные пункты, расположенные на расстоянии нескольких километров от места горения отходов. Токсические соли и оксиды тяжелых металлов, которые являются продуктами горения отходов, попадают в организм человека с воздухом. Аккумулируясь в организме, они могут стать причиной онкологических заболеваний, а также они накапливаются в водной среде, почве, растениях и т. д. [12].

При скрытом горении поверхностные слои полигона ТКО могут нагреваться до 155 °С, продукты окисления отходов при таких высоких температурах распространяются на 300 – 400 метров [12]. Неприятный запах, сопровождающий горение отходов, обусловлен образованием эфиров, органических соединений серы, примесями сероводорода и т. д. Запахи могут оказывать негативное воздействие на здоровье человека в располагающихся рядом с полигоном городах и на персонал полигонов даже в малых объемах.

По статистике, в Московском регионе в год с полигонов ТКО и несанкционированных свалок происходит выброс углекислого газа, который сопоставим с выбросом газов примерно 13 миллионов автомобилей [13]. Чтобы компенсировать все загрязняющие вещества, поступающие в окружающую среду с этими выбросами, нужна территория хвойных лесов площадью около 661 790 га [13].

Основные виды воздействия компонентов биогаза и его компонентов на окружающую среду и здоровье человека представлены в таблице (Таблица 1).

Таблица 1 - Воздействие компонентов биогаза и его компонентов на окружающую среду и здоровье человека [1]

Компонент	Содержание в составе биогаза, %	Влияние компонента на окружающую среду	Влияние компонента на здоровье человека
Метан	40–70	1.Усиливает парниковый эффект; 2. Способствует самовозгоранию отходов при высоких температурах; 3. Может вытеснять кислород в почве, что оказывает угнетающие воздействие на флору.	1. При вдыхание может вызвать удушье; 2. Приводит к кислородному голоданию; 3. При попадании в организм человека воздействует на вегетативную нервную систему.
Диоксид углерода	30–60	1. Усиливает парниковый эффект; 2. Увеличивает значение водородного показателя среды в фильтрате, что усиливает его коррозионные свойства.	1. При вдыхание может вызвать удушье; 2. Приводит к кислородному голоданию; 3. Вызывает дискомфорт, а именно головную боль.
Толуол, ксилолы, этилбензол	0,095–0,72	1. Накапливаются в водных средах; 2. Создают взрывоопасные смеси при взаимодействии с атмосферным воздухом; 3. Влияют на репродукцию живых организмов.	1. Угнетают нервную систему человека; 2. Негативно влияют на работу сердца.
Формальдегид, ангидрид сернистый	0,07–0,096	1. Накапливаются в водных средах; 2. Создают взрывоопасные смеси; 3. В атмосферном воздухе превращаются в аэрозоль серной кислоты при окислении.	1. Влияют на репродукцию человека; 2. Вызывают удушье при вдыхании; 3. Могут вызывать болезни кожного покрова, болезни глаз.

Продолжение таблицы 1

Диоксид азота, аммиак, оксид углерода, сероводород	0,026–0,553	1. Усиливают парниковый эффект; 2. Могут вызывать кислотные осадки; 3. Способствуют образованию фотохимического смога; 4. В атмосферном воздухе превращаются в кислоты.	1. Оказывают комплексное негативное воздействие на здоровье человека.

Как видно в Таблице 1, биогаз оказывает существенное влияние как на человека, так и на окружающую среду, в частности, на атмосферный воздух, водную среду и на почву.

1.3.1 Влияние биогаза на атмосферный воздух

Биогаз содержит в себе значительное количество парниковых газов, а именно: углекислый газ, метан, закись азота и т.д. Выделение данных парниковых газов телом полигона, несомненно, влияет на концентрацию данных газов в атмосфере.

Как известно, одним из основных парниковых газов, выделяемых в результате хозяйственной и иной деятельности человека, является углекислый газ (CO_2). Углекислый газ участвует в так называемом углеродном цикле, естественным образом присутствуя в окружающей среде. Однако, в результате антропогенного воздействия на окружающую среду, естественный углеродный цикл меняется, концентрация углекислого газа увеличивается. Это, в свою очередь, влияет на способность лесов и почвы удалять и накапливать CO_2. Увеличение выбросов углекислого газа в окружающую среду началось после промышленной революции.

Углекислый газ постоянно циркулирует между литосферой, гидросферой и атмосферой, поскольку он производится и поглощается многими

микроорганизмами, растениями и животными. Однако выбросы и вынос CO_2 этими естественными процессами имеют тенденцию к уравновешиванию при отсутствии антропогенного воздействия. С тех пор, как примерно в 1750 году началась промышленная революция, человеческая деятельность внесла существенный вклад в изменение климата, добавив в атмосферу CO_2 и другие удерживающие тепло газы.

Метан (CH_4) выделяется из природных источников, таких как естественные водно-болотные угодья. Кроме того, естественные процессы в почве и химические реакции в атмосфере способствуют удалению CH_4 из атмосферы. В глобальном масштабе 50–65% общих выбросов метана приходятся на деятельность человека [13].

Закись азота (N_2O) также естественным образом присутствует в атмосфере как часть азотного цикла Земли и имеет множество природных источников. Молекулы закиси азота остаются в атмосфере в среднем 114 лет, после чего удаляются стоком или разрушаются в результате химических реакций. В глобальном масштабе около 40% всех выбросов N_2O приходится на деятельность человека [13].

1.3.2 Влияние биогаза на здоровье человека

Попадая в организм человека через дыхательные пути, вещества, находящиеся в составе биогаза, а именно: углекислый газ (CO_2), угарный газ (CO), аммиак (NH_3), метан (CH_4), фтористый водород (HF), окись азота (NO), диоксид серы (SO_2), трихлорметан ($CHCl_3$), хлорбензол (C_6H_5Cl), бензол (C_6H_6) и т.д., оказывают негативное воздействие на здоровье человека. Углекислый газ и трихлометан могут проникать в систему кровообращения человека, влияют на развитие плода в теле беременной женщины, а также негативно воздействуют на их метаболизм [13].

Окись азота (NO) в составе биогаза может вызывать раздражение дыхательных путей человека, что является причиной многих воспалительных процессов, а также пониженного давления [11]. За последнее десятилетие

проведено множество исследований, раскрывающих многочисленные роли оксида азота в физиологии и патофизиологии дыхательных путей. Концентрация этой молекулы в выдыхаемом воздухе является аномальной при активированных состояниях различных воспалительных заболеваний дыхательных путей, и ее мониторинг потенциально является важным шагом в лечении, например, астмы. Наконец, производство NO в условиях окислительного стресса вторично приводит к образованию сильных окислителей (активных форм азота), которые могут модулировать развитие хронических воспалительных заболеваний дыхательных путей и/или усиливать воспалительную реакцию. Фундаментальные механизмы, определяющие измененную биоактивность NO при патологических состояниях, все еще нуждаются в полном выяснении, поскольку их регуляция обеспечивает новую цель в профилактике и лечении хронических воспалительных заболеваний дыхательных путей [11].

Окись азота, или же угарный газ (CO) снижает способность крови переносить кислород из легких по всему организму, что приводит к кислородному голоданию [11]. Кроме того, отмечают отдельные случаи инфаркта миокарда, стенокардии и возникновения сердечной недостаточности при больших концентрациях угарного газа в атмосферном воздухе. Особенно опасным данный газ делают его следующие свойства: отсутствие характерного запаха и цвета, чрезвычайная ядовитость для организма человека и малая эффективность поглощения его даже активированным углем, содержащимся в обычных противогазах [11].

Вдыхание фторводорода (HF) приводит к сильному раздражению дыхательных путей. Опасность при вдыхании возникает не только при воздействии газообразного фтористого водорода, но и при попадании в организм паров концентрированной жидкости фтористого водорода [11]. Газообразный фтористый водород легче воздуха. Даже довольно низкие концентрации в воздухе вызывают быстрое раздражение глаз, носа и горла. Фторид водорода имеет сильный раздражающий запах, обеспечивающий адекватное предупреждение об опасных концентрациях. Дети, подвергшиеся воздействию

тех же уровней фтористого водорода, что и взрослые, могут получить более высокие дозы, поскольку у них больше отношение площади поверхности легких к массе тела и повышенное отношение минутных объемов к массе [11]. Дети также могут быть более уязвимы для агрессивных агентов, чем взрослые, из-за относительно меньшего диаметра их дыхательных путей. Большинство воздействий фтористого водорода происходит при кожном контакте с водным раствором. Ион фтора, который глубоко проникает в ткани, может вызывать как локальное разрушение клеток, так и комплексное воздействие и легко всасывается как через неповрежденную, так и через поврежденную кожу. Фтористый водород раздражает кожу, глаза и слизистые оболочки. Проглатывание даже небольшого количества фтористоводородной кислоты может вызвать системные эффекты и может привести к летальному исходу [11].

Бензол (C_6H_6), являющийся полиароматическим углеводородом, при попадании в организм человека, воздействует на систему кровообращения, а также оказывает мутагенные и аллергенные эффекты. Особенно опасно то, что он способен проникать в организм даже через неповрежденную кожу. Бензол быстро распределяется кровью по всему организму человека, аккумулируется в костном мозге, жировой ткани, почках, железах внутренней секреции и печени. Организм выводит из себя бензол крайне медленно, из-за этого возникает хроническое отравление. Летальная концентрация бензола в теле человека – 45 мг/л [11].

Опасным компонентом биогаза является и трихлорметан ($CHCl_3$), при вдыхании человеком которого появляется головная боль, головокружение и усталость. Постоянное же воздействие способно вызвать заболевания почек и печени. Около 10% людей в мире имеют аллергию на этот газ, она сопровождается высокой температурой тела [11]. Были проведены исследования, в ходе которых было выяснено, что у всех беременных грызунов, подвергающихся воздействию трихлорметана концентрацией 30 к миллиону частей воздуха, происходили выкидыши. Следующие поколения грызунов, подвергаемых влиянию трихлорметана, получали намного большее количество

врожденных дефектов, чем у особей, не подвергающихся воздействию трихлорметана. Влияние на репродуктивные функции человека еще недостаточно изучено, однако точно известно, что при долгом вдыхании этого вещества возможен летальный исход для человека [11].

Хлорбензол (C_6H_5Cl) может вызывать у человека сонливость, сокращение мышц, судороги, расстройства пищеварительного тракта, головокружение и головную боль уже при концентрациях в атмосферном воздухе 0,03 – 1,28 мг/л [11]. Также, он активно аккумулируется в головном мозге, легких, печени и жировой ткани.

Нельзя не упомянуть компонент, составляющий, как правило, наибольшую часть объемов биогаза. Метан (CH_4) даже при малых дозах может привести к асфиксии, при концентрации метана в атмосферном воздухе более, чем 30% могут возникать следующие симптомы: потеря сознания, низкое давление, слабость, нарушение работы сердца, ослабление брюшных рефлексов, бледность, рвота и головная боль [14]. Также, при повышении атмосферного давления негативное воздействие метана на организм человека увеличивается. У людей, которые работают на производствах и шахтах, где в воздухе отмечено повышенное содержание метана и некоторых других углеводородов ряда метана, наблюдаются сбои вегетативной нервной системы – сердечные сокращения уменьшаются, присутствуют самопроизвольные подергивания глаз, гипотония [14].

Многие компоненты состава биогаза, очевидно, оказывают крайне негативное влияние на здоровье человека. Биогаз на полигонах ТКО может выделятся продолжительное время, до окончания метанового брожения, что может заниматься минимум десятки лет. Это означает, что люди, работающие на полигонах ТКО или просто живущие рядом с полигонами, подвергаются воздействию биогаза и его компонентов непрерывно.

Глава 2. Опыт дегазации полигонов ТКО

2.1 Опыт дегазации полигонов ТКО в Российской Федерации

Ежегодно миллионы тонн твердых коммунальных отходов генерируются в Российской Федерации, создавая серьезные экологические проблемы для всех регионов страны. Одной из экологических проблем, непосредственно связанной с захоронением ТКО на полигонах, является выброс свалочного газа, который образуется в результате анаэробного разложения органических материалов, содержащихся в отходах. Свалочный газ является легковоспламеняющейся и потенциально опасной газовой смесью, состоящей в основном из метана (CH4), диоксида углерода (CO2) и ряда летучих органических соединений (ЛОС). Если его не удалить из тела полигона, то на поверхности могут возникнуть открытые пожары, а внутри тела - тлеющее горение. Прогнозирование и предотвращение полигонных пожаров практически невозможно, так как визуально отследить очаг полигонных пожаров практически невозможно, пока не возникло пламя или дым. В результате пожаров и тления внутри тела полигона могут образоваться большие полости, что приводит к опасным просадкам и нестабильности слоев отходов, которые вызывают опасные оползни и обвалы склонов.

Следует помнить, что, используя различные установки по дегазации полигонов, а также методы очистки собранного свалочного газа, например, процесс анаэробного сбраживания, можно получить биогаз, который является чистым и экологически безопасным возобновляемым топливом.

Перед использованием биогаза важно его очистить или улучшить, чтобы повысить теплотворную способность и сделать пригодным для использования в некоторых газовых приборах, таких как двигатели и котлы. По сути, свалочный газ представляет опасность для окружающей среды и здоровья людей, если его не собрать и не обработать должным образом. Запахи свалочного газа, вызванные примесями меркаптанов (сероорганические соединения), могут оказывать сильное влияние на здоровье жителей, проживающих в близлежащих районах [15].

Биогаз примерно на 20% легче воздуха и имеет температуру воспламенения в диапазоне от 650 до 750 градусов по Цельсию (1200-1380 градусов по Фаренгейту). Это бесцветный газ без запаха, который горит чистым голубым пламенем, похожим на пламя природного газа. Тем не менее, биогаз имеет теплотворную способность 20-26 МДж/м3 по сравнению с теплотворной способностью природного газа товарного качества 39 МДж/м3.

Существует множество вариантов конечного использования биогаза. За исключением простейших термических применений, таких как сжигание запахов или некоторые виды нагрева. Биогаз потенциально может использоваться во многих типах оборудования, в том числе:

- Двигателях внутреннего сгорания (поршневой) – выработка электроэнергии;
- Газотурбинных двигателях – производство электроэнергии;
- Микротурбинные двигатели– производство электроэнергии;
- Тепловая машина Стирлинга – производство электроэнергии;
- Котельные (паровые) системы;
- Системы горячего водоснабжения;
- Технологические нагреватели (печи);
- Космические или воздушные обогреватели;
- Газовый чиллер – охлаждение;
- Абсорбционный чиллер – охлаждение;
- Комбинированное производство тепла и электроэнергии (ТЭЦ) — электроэнергия и тепло;
- Топливные элементы — электроэнергия, тепло, но в малых количествах.

При соответствующей очистке или обновлении биогаз можно использовать во всех технических устройствах, которые были разработаны для использования природного газа.

В настоящее время в Российской Федерации способами утилизации биогаза являются [15]:

- сжигание в факеле, направленное прежде всего на уничтожение и ликвидацию биогаза в целях снижения экологической нагрузки и опасности возгорания полигонов;

- сжигание необработанного биогаза для получения тепла;

- очистка биогаза для дальнейшего использования в установках генерации электрической и тепловой энергии;

- очистка биогаза для дальнейшего использования в качестве газомоторного топлива;

- обогащение метана из биогаза с содержанием метана свыше 96% для дальнейшего использования в системах газоснабжения.

В Российской Федерации, так же, как и во всем мире, используются следующие основные направления по решению проблемы использования свалочного газа для когенерации и тригенерации (комбинированного производства электрической энергии, тепла и холода), позволяющих сэкономить до 60% энергии по сравнению с раздельным использованием электричества из сети и тепла от котельных:

– высокоэффективного микробиологического воздействия на тело полигона для повышения метаболической активности местного консорциума, а также для снижения объемной доли балластных газовых примесей и повышения его метановой составляющей до систем очистки;

– создание более совершенной и эффективной системы очистки образующейся газовой смеси;

– создания эффективных горелочных устройств, использующих биогаз и свалочный газ.

Преобразовывать энергию газовых смесей (природный газ, свалочный газ, биогаз метантенков) можно при использовании микротурбин, газопоршневых установок и прочих устройств. Из вышеперечисленных на рынке широко представлены в основном микротурбины и газопоршневые установки [15].

При этом выбор конкретного способа утилизации биогаза основывается на анализе условий, сложившихся на полигоне ТКО. Установлено, что при низком содержании метана предпочтительнее использовать газопоршневые генераторы, а в некоторых случаях это единственный возможный вариант [15].

В РФ законодательная основа, стимулирующая процессы утилизации биогаза, находится на ранней стадии развития и базируется на энергетической стратегии развития России на период до 2030 года [16]. Увеличение доли энергии, которая вырабатывается за счет использования возобновляемых источников в настоящее время считается перспективной и приоритетной [16]. Анализ будущих энергетических путей показывает, что технически возможно одновременно улучшить доступ к энергии, качеству воздуха и энергетическую безопасность, избегая опасного изменения климата, при использовании альтернативных ресурсов и технологий, способных поддержать Стратегию энергетического развития, в том числе и получение биогаза из свалочного газа.

Это технически возможная технология, она опробована в том числе и на территории РФ.

Сбор газа начинается в добывающих скважинах, где свалочный газ (СГ) извлекается из массы отходов и поступает в так называемую систему управления станции дегазации – газосборный пункт. Типичная система подобной станции управления включает следующие основные компоненты: (1) добывающие скважины; (2) система боковых и коллекторных трубопроводов для транспортировки собранного свалочного газа; (3) система управления конденсатом; (4) воздуходувная и факельная система; (5) устройства мониторинга; и (6) системные элементы управления на газосборном пункте.

Экстракционные колодцы обычно состоят из пластиковых труб с прорезями, окруженных камнем или другим щебеночным материалом, устанавливаемых в скважинах в массиве отходов ниже поверхности полигона ТКО. Над поверхностью массы отходов экстракционная скважина обычно имеет устье для обеспечения вакуума, корректировки и отбора проб СГ. Ориентация этих скважин может быть как вертикальной, так и горизонтальной, и решение об

использовании вертикальных и/или горизонтальных скважин будет зависеть от конкретных факторов и целей проекта.

Вертикальные скважины (колодцы) обычно устанавливаются в местах, где на объект перестали поступать отходы или где засыпка отходов не будет происходить в течение года и более. Однако их можно установить и эксплуатировать на участках с продолжающимся размещением отходов, но размещение приведет к увеличению объема работ и требования к обслуживанию. Компоненты вертикального колодца включают обсадную трубу с перфорацией или щелями на дне. Вертикальные скважины имеют диаметр от 20 до 90 см и включают трубы диаметром от 5 до 15 см.

Горизонтальные скважины. Горизонтальные извлекающие колодцы могут быть установлены, пока на объект ТКО все еще поступают отходы, и могут использоваться, если перед закрытием требуется сбор свалочного газа на участке. Горизонтальные добычные колодцы размещают в траншеях внутри отбросов. Траншея засыпается гравием (или другим заполнителем, например, осколками шин или битым стеклом), а в центре траншеи устанавливается перфорированная труба. Сверху рекомендуется укладывать геотекстиль.

Надлежащие методы строительства важны для обеспечения успешной работы газовой станции. Как правило, первым этапом строительства станции является бурение вертикальных скважин (или установка горизонтальных скважин). Важно не нарушить систему локализации при бурении вертикальных скважин. Вертикальные скважины для свалочного газа обычно имеют диаметр от 20 до 90 см, что позволяет легко поднимать отходы и обеспечивать хорошее извлечение свалочного газа. Шнековая буровая установка ковшового типа наиболее желательна для бурения твердых отходов. Этот тип буровой установки использует большой шарнирный цилиндрический ковш с режущими лезвиями в основании для разрезания материалов. Однако буровая установка этого типа недоступна во многих странах, и также можно использовать стандартный шнек.

Строительство и эксплуатация систем сбора и контроля свалочного газа в траншее для уменьшения засорения заполнителя обратной засыпкой или

мусором выше имеет некоторые ограничения. Обычное расстояние между горизонтальными скважинами составляет 30-40 метров. Перфорированная труба внутри траншеи обычно имеет диаметр от 10 до 20 см. В случае соблюдения нормативных требований или значительных проблем по смягчению воздействия на окружающую среду разработчики системы контроля могут включать дополнительную схему в системе отбора компонентов СГ для достижения большего контроля по выбросами [17].

Устья скважин обычно располагаются на добывающих скважинах над поверхностью, чтобы обеспечить регулировку вакуума и отбор проб свалочного газа. Устьевое устье свалочного газа состоит из нескольких компонентов: вакуумный регулирующий клапан; мониторинг портов; и возможность измерения расхода. Вакуумный регулирующий клапан позволяет технику станции дегазации регулировать вакуум, применяемый на каждом отдельном устье скважины. Устье скважины часто проектируется с одним или двумя контрольными портами, чтобы техник по свалке мог измерять температуру, давление и состав свалки. Эти порты позволяют техническому специалисту регистрировать влияние корректировки скважины, а также выявлять потенциальные проблемы и устранять ошибки, которые могут возникнуть в системе управления.

Частый мониторинг устья скважины способствует оптимальной работе системы и обеспечивает эффективное техническое обслуживание системы. Кроме того, устья скважин могут включать устройство измерения расхода (например, диафрагму или трубку Пито) для измерения перепада давления свалочного газа и использования этих цифр для расчета расхода свалочного газа. Верхняя часть устья скважины должна иметь съемную крышку для доступа к скважине для внутреннего осмотра и измерения и удаления жидкостей по мере необходимости. Высокий уровень жидкости (фильтрата) в колодце может уменьшить сбор свалочного газа, особенно если уровень жидкости выше перфорированного отверстия.

Конденсат относится к влаге или жидкости, которая образуется при охлаждении извлеченного свалочного газа. На количество конденсата, образующегося в системе управления, влияет множество факторов, включая температуру и объем свалочного газа. Кроме того, климатические условия на площадке также могут влиять на количество влаги, образующейся в свалочном газе. Поскольку свалочный газ собирается из массы отходов, он охлаждается и имеет пониженную способность удерживать влагу в виде пара. Образующийся конденсат может ограничивать или полностью блокировать поток биогаза в трубопроводной системе. Система управления должна быть тщательно спроектирована с учетом вопросов управления конденсатом, чтобы предотвратить негативное воздействие на сбор свалочного газа. Боковые и коллекторные системы должны быть спроектированы таким образом, чтобы облегчить отвод конденсата в нижние точки, где его можно удалить из системы с помощью вакуумных дренажных насосов или дать возможность стекать обратно в массы отходов. Как правило, минимальный уклон от 3 до 5 процентов способствует отводу конденсата, даже если происходит просадка трубы. В случае слива обратно в массу отходов нижняя точка конденсата должна включать вакуумную ловушку для предотвращения попадания воздуха в коллектор.

Вентилятор и факельная установка являются важной частью системы управления станции дегазации. Вентилятор обеспечивает вакуум, используемый для сбора свалочного газа из массы отходов. Он также обеспечивает необходимое давление, чтобы подтолкнуть свалочный газ к факелу или к устройству использования энергии. Факельная система используется для сжигания свалочного газа и во многих случаях требуется для борьбы с запахами или смягчения других проблем, связанных с окружающей средой или здоровьем. Если возможно, система воздуходувки (вентилятора) и факела должна быть расположена в центре рядом с системой сбора свалочного газа или рядом с устройством использования энергии. Факельные системы следует устанавливать

вдали от деревьев, линий электропередач или других объектов, которые могут загореться от пламени или повредиться от тепла.

После обработки свалочного газа он поступает в нагнетатель, где вакуум на входе регулируют в соответствии с требованиями станции дегазации, а давление газа на выходе регулируют в соответствии с требованиями факела или устройства использования энергии. Свалочный газ обычно проходит через измерительную систему для измерения расхода свалочного газа, собираемого на станции. Базовые системы измерения включают объемный расходомер. Однако также потребуется система непрерывного мониторинга метана для измерения массового расхода метана в свалочном газе. Этот непрерывный мониторинг особенно важен, если на площадке дегазации требуется сбор свалочного газа или он участвует в проекте по сокращению выбросов парниковых газов, где необходимо измерение массового расхода метана. Проекты использования энергии также могут потребовать непрерывного метана [17].

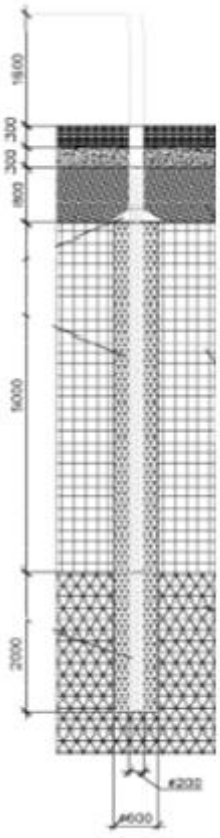

Рисунок 1 – Конструкция газодренажной станции [17].

Существуют следующие виды способов активной дегазации полигонов ТКО [19]:

1. «С» установка. Установка изготавливается из углеродистой стали, а фильтр, входной и выходной коллекторы могут быть выполнены из нержавеющей стали, изнутри покрытая керамическим волокном. Подача воздуха в зону горения первичной камеры регулируется вручную [19]. Внешний вид «С» установки представлен на рисунке 2.

Рисунок 2 – «С» установка для извлечения и сжигания биогаза [19]

Основное назначение этой системы - экологически безопасное термическое обезвреживание биогаза на полигоне ТКО. Ее использование предотвращает неконтролируемые субгоризонтальные миграции СГ и исключает ситуации с возникновением избыточного давления в отдельных точках массива отходов, в результате действия которых разрушаются перекрытия верхних слоев мусора и спонтанные выбросы свалочного газа. Производительность установки - 2500 м3/ч.

При использовании установки желательно, чтобы поверх системы сбора газа была установлена непроницаемая геомембрана LLDPE, для блокировки дополнительных выбросов газа в атмосферу.

2. «НТ» установка для извлечения и сжигания биогаза

Установка выполнена на окрашенной горячим способом раме или в контейнере, включает в себя фильтр, впускной и выпускной коллекторы, факел, которые выполнены из нержавеющей стали и облицованы внутренним керамическим волокном. Ее производительность - от 600 куб.м/час до 5000 куб.м/час.

Следует учитывать при ее установке, что условия площадки НТ-установки будут постоянно меняться и зависеть от:

- проникновения воздуха через поверхностный грунт
- возраста отходов
- изменения атмосферного давления
- количества осадков и влажности в массе отходов
- различия в морфологических характеристиках отходов
- уровня уплотнения массы

Эти изменения требуют периодического контроля и регулировки вакуума, применяемого к каждой лунке, чтобы поддерживать или повышать эффективность сбора СГ.

При использовании данной установки с достаточной частотой следует проводить мониторинг всех составляющих принципиальной схемы газоудаления, что в дальнейшем должно способствовать оптимальной работе системы газовой станции. Мониторинг помогает обнаружить нежелательное подповерхностное горение, которое может возникнуть в случае чрезмерного вакуума. Как правило, системный мониторинг включает в себя изучение свалочного газа:

- Объемный расход
- Концентрация метана
- Концентрация кислорода
- Концентрация углекислого газа
- Баланс концентрации газа (обычно азот (N2))
- Температура

- Вакуумное давление

Регулирование подачи воздуха в камеру горения происходит автоматически в зависимости от температуры горения [19]. Зажигание осуществляется автоматически через главный пульт управления с помощью логического мультипроцессорного компьютера и циклов включения-выключения (Рисунок 3).

Рисунок 3 – «НТ» установка для извлечения и сжигания биогаза [19]

3. Коллектор для регулирования потока биогаза

Является вспомогательным оборудованием. Газосборные колодцы транспортируют свалочный газ из основных трубопроводов площадок на внешнюю поверхность, где газ попадает в следующий трубопровод для дальнейшей транспортировки. Трубы сгруппированы и соединены с

коллекторами, распределенными по наружной поверхности. Из коллекторов газ поступает в трубы ПЭ 100 ГАЗ SDR17 160х9.5 ГОСТ Р 58121.2-2018 для дальнейшей транспортировки. Таким образом, данное оборудование помогает оптимизировать процесс транспортировки биогаза от пласта к элементам установки, что помогает обеспечить: повышение эффективности извлечения СГ, более простое управление процессом регулирования, быстрой идентификации каналов с неудовлетворительными характеристиками биогаза, сепарированное извлечение биогаза (Рисунок 4) [19].

Рисунок 4 – Коллектор для регулирования потока биогаза [19]

4. Факельная установка постоянного горения биогаза

После окончания действия работы полигона по приему отходов ТКО, начинается процесс рекультивации. Важнейшая составляющая рекультивации - утилизации свалочного биогаза [19]. В данном случае наиболее эффективный способ утилизации свалочного газа – это использование установки постоянного горения биогаза, которая представлен на рисунке

5. Газонагнетательная установка формирует, как было указано выше, отрицательное давление биогаза и оснащена пламегасителем, что в случае взрыва препятствует распространению пламени в системе. Биогаз

транспортируется по трубопроводу к факельной горелке. Факел можно использовать, если биогаз, полученный на биогазовых установках, не подходит для производства энергии или биогазовая установка не работает должным образом. Факельная установка также может быть применена в случае получения энергии из биогаза невозможно и/или для свалок с низким процентным содержанием метана.

Рисунок 5 – Установка постоянного горения биогаза [19]

При горении факела происходит не только неполное сгорание уже имеющихся газов, но и образование таких неприятных промежуточных продуктов сгорания как окись углерода и неметановые летучие органические соединения [20]. Факел сжигает обработанный биогаз при температуре 1000 °C. Защитные устройства, такие, как быстродействующие запирающие клапаны, устройства контроля превышения температуры, устройства контроля пламени и пр. непрерывно обеспечивают безопасное сгорание газа. Добиться идеального соотношения горючее/окислитель невозможно, однако некоторый избыток кислорода навредит процессу куда меньше, чем его нехватка. Содержание метана и кислорода в биогазе измеряется при помощи двух анализаторов. При превышении либо низком содержании O2 или CH4 установка выключается. Таким образом, смеси, способные к взрыву, в установке не образуются, а

качество процесса сгорания контролируется при помощи температурных датчиков, которые постоянно отслеживают температуру пламени. При отклонении температуры от заданной величины, система управления немедленно выдает насосам указание на увеличение подачи воздуха в камеру сгорания или напротив, перекрывает воздушные заслонки. В целях предупреждения образования взрывчатой смеси из-за неисправности измерительной газовой трубы, в шкафу анализатора установлен вентилятор непрерывного действия. Также в установке осуществляется контроль потока воздуха, и в случае неисправности вентилятора подача биогаза прекращается, установка сжигания выключается.

Следует учитывать тот факт, что чем выше температура, тем быстрее будет изнашиваться горелка. Факел или факельная установка для сжигания биогаза являются популярным и недорогим решением в сфере утилизации биогаза [20].

Обычно в эксплуатации дегазационных станций используется два типа факелов: Конструкции факелов для сжигания СГ могут быть открытыми или закрытыми. Закрытые факельные установки стоят дороже, но могут быть более предпочтительны (или требуются государственными правилами), поскольку они обеспечивают больший контроль условий горения, позволяют проводить испытания дымовой трубы и могут обеспечить более высокую эффективность горения (более высокую скорость разрушения метана), чем открытые факельные установки. Они также уменьшают шум и световые помехи.

Открытый факел классифицируется как факел, горящее пламя которого видно снаружи. Представлены длинной вертикальной трубой, наконечником горелки и пламенного кожуха. Открытые факелы, которые должным образом спроектированы и эксплуатируются, могут достигать эффективности уничтожения СГ до 98 процентов. Открытые факелы могут быть дешевле и проще в установке и эксплуатации, чем закрытые факелы.

Закрытые факелы, правильно спроектированные и эксплуатируемые, могут обеспечить эффективность уничтожения 99% и выше. Одним

существенным недостатком факельной системы этого типа является то, что ее установка и эксплуатация дороже, чем факельная система открытого типа.

Тип и номинальная мощность вентилятора и факельной системы определяются ожидаемой скоростью сбора свалочного газа и общими целями проекта по свалке. На площадках газовой станции, которые в настоящее время принимают отходы, следует предусмотреть установку вентиляторов и факельной системы, способных перерабатывать увеличившееся количество свалочного газа, которое будет собираться по мере того, как на площадке накапливается больше отходов. Факелы используются во всех проектах по свалке биотоплива, часто в сочетании с проектом по утилизации энергии. Эти факелы могут работать непрерывно в том случае, если проекты собрали объемы газа, превышающие энергозатраты.

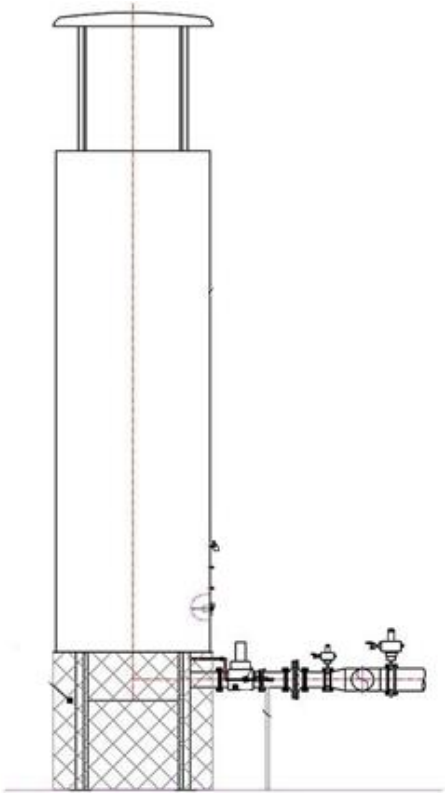

Рисунок 6 – Конструкция типового факела [20]

Типичный факел вспышка состоит, например, из системы розжига, системы обнаружения пламени и температуры, пламяразрядника, лобового

стекла или ветрозащитного корпуса и камеры сгорания. Кроме того, как видно из рисунка 6, в комплект факела входят трубопровод биогаза, клапаны, конденсатная установка, дренажная система, электрический шкаф управления, монтажные приспособления, головка горелки, теплоизоляция и непрерывная запальная или пусковая горелка. Прямой розжиг на основной горелке увеличивает риск и запрещен в большинстве стран.

В последние годы все большую популярность приобретают закрытые высокоэффективные факелы, включающие закрытую камеру, где пламя невидимо снаружи, а биогаз сжигается при автоматически контролируемой температуре.

Глобальная программа сокращения сжигания попутного газа (GGFR), возглавляемая Всемирным банком, утверждает, что годовой объем свалочного газа, сжигаемого на факелах во всем мире, достигает 150 млрд м3 (приблизительно к 30% годового потребления природного газа в Европейском Союзе) и приближается к до 400 миллионов тонн CO2. Именно поэтому была запущена программа «Нулевое сжигание на факелах к 2030 году». Фактически, эта инициатива была поддержана и подписана более чем 55 добывающими компаниями, правительствами и учреждениями с целью снижения воздействия, вызванного использованием факельных технологий.

2.2 Опыт дегазации полигонов ТКО в зарубежных странах.

В зарубежных странах опыт дегазации полигонов более обширен, в силу маленьких территорий стран, и, следовательно, в надобности скорейшей рекультивации полигонов ТКО. В 2014 г. на 342 польских полигонах были установлены дегазационные установки [21]. На их долю приходится 86,8% всех действующих свалок, на которых размещены коммунальные отходы [21]. Подробная сводка польских свалок с дегазационными установками в эксплуатации в 2014 году представлена в таблице 2 (Таблица 2).

Таблица 2 – Динамика изменения количества установок дегазации на полигонах ТКО в Польше за период 2011–2014 гг. [21]

Год	Полигоны ТКО с дегазацией	Полигоны ТКО с выпуском биогаза в атмосферу	Полигоны ТКО с собственными сжигателями	Полигоны ТКО с факелами	Полигоны ТКО с электрическими генераторами
2014	342	159	59	82	62
2013	362	199	61	78	59
2012	430	244	63	81	58
2011	322	225	30	28	31

В настоящее время в Польше все более популярной становится когенерация, т. е. работа на полигонах с рекуперацией энергии [21]. Этот процесс можно описать, как термодинамический процесс, при котором химическая энергия биогаза, полученного на свалках, преобразуется в полезные формы энергии, такие как электричество и тепло (для технологических/эксплуатационных нужд предприятия). Основным преимуществом когенерации является общая эффективность преобразования, достигаемая в процессе когенерации, которая выше, чем при раздельном производстве электроэнергии и тепла. Общая эффективность процесса превышает 85% [21].

На большинстве мусороперерабатывающих заводов полигон является лишь одним из узлов, входящих в систему утилизации отходов и требующих постоянного энергоснабжения. Электричество и тепло, получаемые из свалочного биогаза, могут в первую очередь расходоваться на собственные нужды объекта, а излишки могут передаваться (продаваться) в энергосистему как «зеленая энергия» [21].

При рассмотрении способов управления электроэнергией в потребительских системах можно выделить три типа установок [21]:

- непосредственно подключенные к сети (в сети) – которые передают произведенную энергию непосредственно в сеть. Владелец установки получает выгоду от продажи энергии. В настоящее время для такого решения требуется специальная лицензия министра Польши по регулированию энергетики [21].
- без подключения к внешней сети (т. е. автономные или островные системы) - которые работают независимо; завод питает один объект со всеми его установками и оборудованием (например, полигон). В таких случаях требуется распределение энергии на каждый день и время года [21].
- смешанные системы – наиболее часто используемые системы, сочетающие в себе черты сетевых и автономных систем. Во время пикового спроса на энергию и дефицита «зеленой энергии» возобновляемая энергия дополняется энергией из сети. Когда производится больше энергии, чем может быть использовано, ее избыток может быть передан в сеть с помощью интеллектуальных счетчиков энергии (двунаправленная система) [21].

Энергия, произведенная на месте, может существенно повлиять на общий энергетический баланс полигона и, следовательно, снизить затраты на его эксплуатацию, а также его вредное воздействие на окружающую среду.

Использование свалочного биогаза в качестве возобновляемого источника энергии позволяет использовать местные энергоресурсы. Потребительская энергетика служит примером комплексного подхода, где наблюдается переход от локальных вопросов к глобальным в энергосбережении [21].

Рассматривая основные функции полигона как объекта, биореактора, возобновляемого источника энергии, потребителя и, в конечном счете, потребителя энергии, можно сделать вывод, что в этом случае полигон становится одновременно и производителем, и поставщиком электроэнергии, необходимой для работы полигона.

В целом, концепция становления полигонов производителями энергии для самих себя, уже активно используется в зарубежных странах. Например, такие примеры уже можно найти в Польше [21].

В США существуют так называемые проекты LFG (Landfill Gas Projects). Преимуществами данных проектов называют: сокращение выбросов парниковых газов; сокращение загрязнения воздуха за счет компенсации использования невозобновляемых природных ресурсов; создание преимуществ для здоровья и экологической безопасности; экономическая выгода; сокращение затрат на соблюдение экологических норм [22].

Схема одного из подобных проектов представлена на рисунке (Рисунок 7).

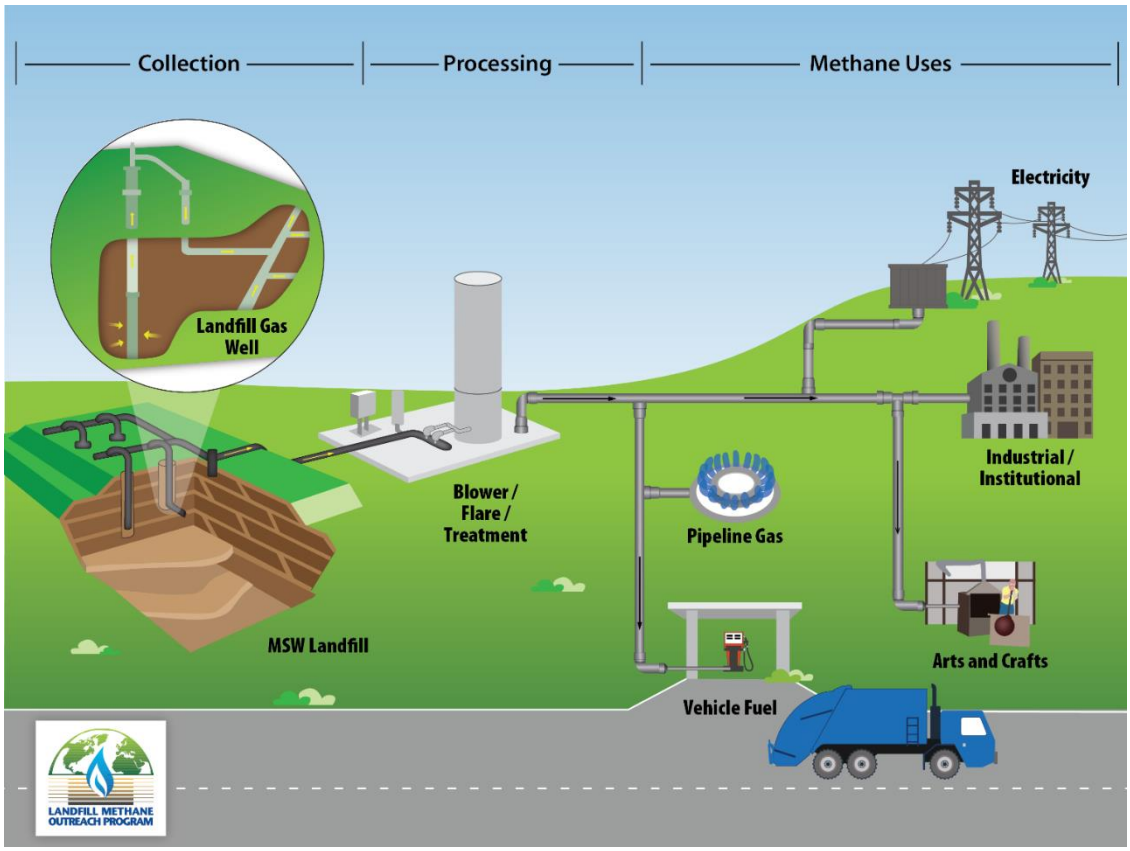

Рисунок 7 – Схема проекта использования биогаза в США [22]

На рисунке 7 показан сбор и переработка свалочного газа для производства метана для многократного использования. Во-первых, свалочный газ собирается по вертикальным и горизонтальным трубопроводам, закопанным на полигоне ТКО. Затем свалочный газ обрабатывается и подготавливается для использования.

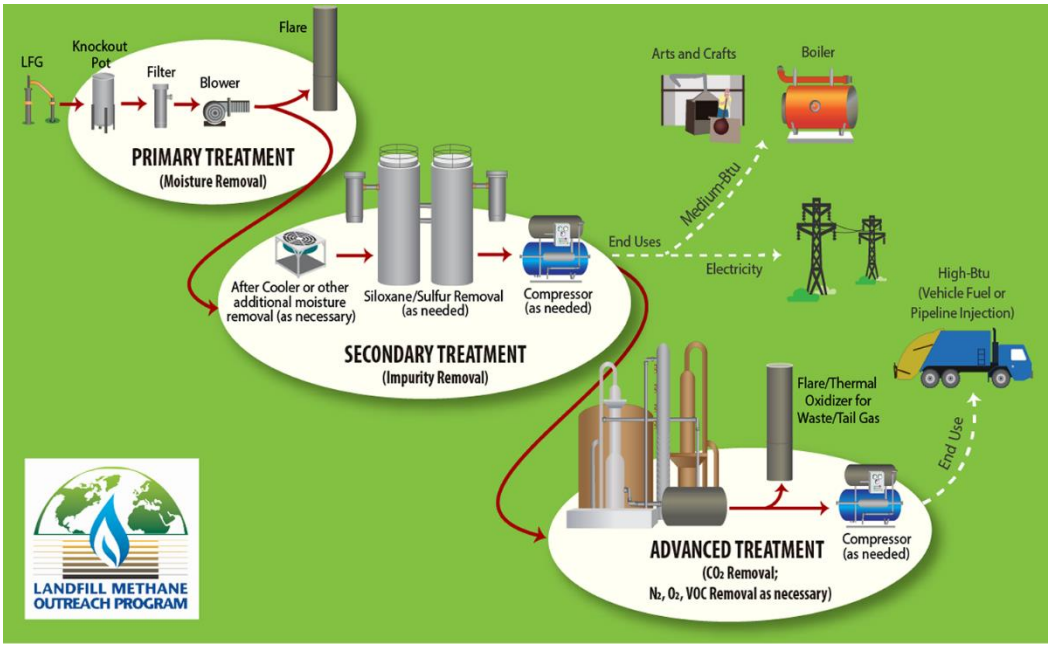

Рисунок 8 – Возможное использование биогаза согласно проекту LFG [22]

На рисунке 8 показаны три этапа обработки свалочного газа. При первичной очистке удаляется влага по мере того, как газ проходит через выбивной бак, фильтр и воздуходувку. Вторичная обработка включает в себя использование охладителя или другого дополнительного оборудования для удаления влаги (при необходимости) с последующим удалением серы и сжатием газа [22]. После удаления примесей на этапе вторичной обработки биогаз можно использовать для выработки электроэнергии или в качестве топлива для декоративно-прикладного искусства или котлов. Усовершенствованная обработка удаляет дополнительные примеси (CO_2, N_2, O_2 и летучие органические соединения) и сжимает свалочный газ, который после этого можно использовать в качестве автомобильного топлива или вводить в газопровод. Отработанный газ направляется на факел или в установку термического окисления [22].

Биогаз извлекается из полигонов с использованием ряда колодцев и системы воздуходувки/факела. Эта система направляет собранный газ в центральную точку, где он может быть обработан и подготовлен в зависимости от конечной цели использования газа. С этого момента газ можно сжигать в факелах или использовать в энергетическом проекте с участием биогаза [22].

Около 69% действующих в настоящее время энергетических проектов на свалочном газе в Соединенных Штатах вырабатывают электроэнергию [22]. Различные технологии, в том числе поршневые двигатели внутреннего сгорания, турбины, микротурбины и топливные элементы, могут использоваться для выработки электроэнергии для использования на месте и/или продажи в сеть [22]. Поршневой двигатель является наиболее часто используемой технологией преобразования биогаза в электроэнергию из-за его относительно низкой стоимости, высокой эффективности и размеров, которые дополняют выход газа на многих свалках. Газовые турбины обычно используются в более крупных энергетических проекта, тогда как микротурбины обычно используют меньшие объемы биогаза и в нишевых отраслях.

Также, существуют проекты когенерации. В проектах когенерации, также известной как комбинированное производство тепла и электроэнергии, биогаз используется для выработки как электроэнергии, так и тепловой энергии, обычно в виде пара или горячей воды. Несколько проектов когенерации с использованием двигателей или турбин были установлены на промышленных, коммерческих и институциональных объектах с использованием двигателей или турбин [22]. Повышение эффективности за счет использования тепловой энергии в дополнение к производству электроэнергии может сделать эти проекты крайне распространенными и актуальными.

Глава 3. Общая характеристика исследуемого объекта – полигона ТКО «Новый Свет-ЭКО»

3.1 Сведения об объекте размещения отходов

Общество с ограниченной ответственностью «Новый Свет-ЭКО» (ООО «Новый Свет-ЭКО») осуществляет эксплуатацию объекта размещения твердых коммунальных отходов 3-5 класса опасности, в том числе грунтов, расположенного по адресу: Ленинградская область, Гатчинский р-н, пос. Новый свет, уч. 1 (Рисунок 9).

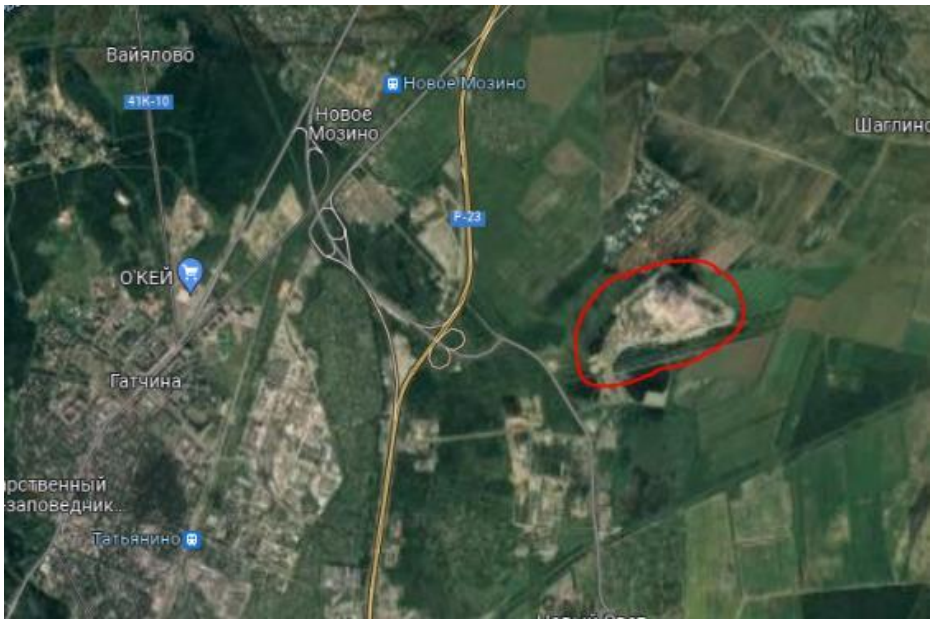

Рисунок 9 – Местоположение полигона ТКО «Новый Свет – ЭКО»

Строительство полигона состоялось на месте бывших прудов-накопителей очистных органических сооружений, принадлежащих комбинату по выращиванию свиней, по проекту, разработанному фирмой ООО «Озон» в 1999 году. Территория земель с очистными сооружениями долгое время не эксплуатировалась, была в итоге переведена из категории сельскохозяйственных земель в земли промышленные, после чего, было дано разрешение на строительство природоохранного сооружения для захоронения отходов производства и потребления. Основные поставщики отходов – город Санкт-

Петербург, город Гатчина и муниципальные образования центральной и западной части Ленинградской области. Деятельность осуществляется в соответствии с лицензией, выданной Северо-Западным межрегиональным управлением Росприроднадзора 13 ноября 2019 года, серия (78)-4491-СТОУР/П.

Объект начал свою функциональную деятельность с 2001 года, его площадь составила 43 га, и включила в себя все прилегающие земли, сооружения и принадлежности на земле, используемые для сортировки, обработки и хранения ТКО. Например, за 2021 год принято 77101,320 тонн [23].

На объекте размещения отходов выполняются прием (регистрация прибывающего транспорта, весовой учет), входной радиационный контроль, разгрузка, складирование, уплотнение, изоляция твердых коммунальных отходов, а также отходов производства и потребления и строительных отходов III-V класса опасности.

Рисунок 10 – Сортировочная станция твердых коммунальных отходов на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО» [24].

Еще за долго до «мусорной реформы», где важнейшим этапом по обращению с отходами является их сортировка в местах сбора и накопления, полигон установил сортировочную станцию для отбора вручную (смена включает 8-10 рабочих) утилизируемой фракции, такой как бумага, картон, черные металлы, древесина, полиэтилен низкого давления, ПЭТ, полипропилен, стекло.

Мелкие отходы движутся по конвейерной ленте, и при помощи магнита и баллистического сепаратора переносятся на сито с ячейкой 80 мм, которое отделяет мелкие частицы, такие как биоотходы, песок, почва и пепел, которые трудно собрать вручную. Установки по сортировке отходов были разработаны с целью снижения воздействия на окружающую среду захоронения остаточных отходов.

Собранная мелкая фракция далее компостируется в буртах с различными грунтами, а получаемый в результате органический грунт используется для рекультивации откосов полигона.

Обработка отходов, применяемая на полигоне, предназначена для изменения их физического, химического или биологического характера с целью нейтрализации по отношению к окружающей среде и извлечения энергии или материальных ресурсов. Для уплотнения отходов на полигоне используются бульдозеры CAT, расталкивающие отходы и формирующие откос. Уплотнение отходов осуществляется уплотнителями BOMAG, которые представляют из себя катки с шипами на колесах, продавливающие слой отходов. Также на полигоне имеется станция дегазация свалочного газа, которая принадлежит сторонней компании ООО «Вирео Энерджи».

Максимальная мощность полигона по захоронению отходов изначально была рассчитана на 7,25 миллионов тонн, но в 2016 году полигон получил разрешение на ее увеличение ещё на 3,25 млн тонн с относительной высотой горы мусора до 71 метра. В настоящее время полигон исчерпал свои мощности и в конце 2023 года будет закрыт на рекультивацию.

Рисунок 11 – Полигон ТКО «Новый Свет-ЭКО» в начале эксплуатации [24].

Зона складирования полигона ограждена дамбой высотой 12-18 м [24]. На полигоне формируется фильтрат, который относится к числу крайне загрязняющих ресурсов, опасных для окружающей среды, т.к. может просачиваться в землю и загрязнять грунтовые воды, поверхностные воды и почву.

Фильтрат содержит большое количество органических соединений, аммиак, галогенированные углеводороды во взвешенном состоянии, значительные концентрации тяжелых металлов и неорганических солей. Для предотвращения попадания фильтрата, как из пруда-накопителя, так и из внутренних откосов, ограждающих дамбу, полигон оборудован устройством противофильтрационного экрана. Для этого еще на момент запуска было спланированное противофильтрационное основание из кембрийской глины, которое перекрывалось слоем рубероида, двумя слоями полиэтиленовой пленки с защитным слоем из рубероида и грунтовой засыпки толщиной до полуметра из местного супесчаного грунта. На откосах дополнительно предусмотрено противоволновое крепление из щебня толщиной 0,2 м [24]. Непосредственный сбор фильтрата производится при помощи песчано-гравийного дренажа,

который самотеком поступает в подземную металлическую емкость объемом 64 м3 [24].

Подъезд к объекту размещения отходов обеспечивает стационарная подъездная дорога. Непосредственно саму транспортировку отходов на рассматриваемый полигон ТКО осуществляют в основном 3 вида мусоровозов:

1. Мусоровозы с задней загрузкой и пресс-контейнерами (отходы привозят в подпрессованном виде);
2. Обычные мусоровозы без подпрессовки отходов (27 м3);
3. Мусоровозы типа фур, которые привозят отходы со станций перегрузов.

После того, как мусоровозы разгружены, они возвращаются через дезинфекционный барьер в виде бетонной ванны для того, чтобы ходовая часть машин была продезинфицирована от различных загрязняющих веществ и бактерий.

Непосредственно перед полигоном захоронения располагается вспомогательная зона, предназначенная для размещения административно-бытового корпуса, контрольно-пропускного пункта совместно с пунктом стационарного радиометрического контроля. В данной зоне расположен также гараж и площадки с навесами и мастерскими для стоянки и ремонта тракторов, работающих на полигоне. Имеется склад горюче-смазочных материалов и складов для хранения спецодежды, хозяйственного инвентаря и прочего.

Непосредственная зона складирования имеет площадь 35,7 га [24], освещение, подъездную дорогу с твердым покрытием, временную дорогу для проезда техники по рабочим картам, контрольно-пропускной пункт с весовой.

Ливневые и паводковые стоки поступают в дренажные канавы по периметру полигона и используются для увлажнения свалочных масс и снижения пожароопасности.

Весь транспорт с отходами, прибывающий на Полигон, подвергается входному контролю. Входной контроль за поступающими на Полигон твёрдыми отходами включает

в себя:

- радиационный дозиметрический контроль;
- взвешивание;
- входной визуальный контроль;
- документальный контроль.

Радиационный контроль над отходами, поступающими на объект, обеспечивается с помощью системы САРК-БО-МУ, работающей в автоматическом режиме, где фиксируются дата и время завоза отходов, фон, показания 3-х датчиков и диагноз [24].

Полигон полагается на точные данные о весе для выставления счетов за утилизацию отходов. Система весов или мостовых весов, размещенных на въезде на площадку, так называемый контрольный пропускной пункт, взвешивает мусоровозы по прибытии, записывает и проверяет данные о загрузке машины и повторно взвешивает транспортное средство после того, как возвращается с участка размещения. Данные хранятся и могут быть переданы в систему бэк-офиса для выполнения законодательных требований к отчетности и повышения эффективности. Кроме того, осуществляется и визуальный контроль для предотвращения размещения не разрешенных к хранению на полигоне отходов.

Разгрузка отходов осуществляется на так называемых рабочих картах, которые в обязательном порядке определяются дежурным мастером. Рабочая карта – это участок полигона, на котором происходит разгрузка отходов мусоровозами.

Захоронение мусора производится послойным чередованием ТКО и инертных материалов, постоянно уплотняемых специализированными тракторами. После того как слой таких уплотненных отходов достигает двух метров, производится изоляция рабочей карты при помощи различных грунтов, строительных отходов или грунто-компостными смесями, слой которых должен достигать величины около 0,25 метра [24].

За всеми действиями на полигоне ведется постоянный контроль. В таблице 3 представлены обобщенные трудовые функции по контролю за ТКО.

Таблица 3 - Производственный контроль и мониторинг эксплуатации полигона ТКО

Производственный контроль и мониторинг эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов	Контроль морфологического состава, агрегатного состояния и радиационного фона поступающих на полигон твердых коммунальных отходов
	Контроль подготовки твердых коммунальных отходов к размещению на полигоне
	Контроль размещения твердых коммунальных отходов на полигоне
	Контроль состояния систем обустройства полигона твердых коммунальных отходов
	Мониторинг состояния и загрязнения окружающей

Мониторинг и анализ экологического состояния полигона твердых бытовых отходов, заложенные в программно-технические решения управления, обеспечивают оперативный контроль за процессами, происходящими на данном объекте. Отходы на полигоне превращаются в органические и неорганические соединения в газообразном/жидком состояниях, подвергаясь различным химическим и биологическим превращениям, приводящим к образованию свалочного газа (СГ) и свалочного фильтрата. Эти процессы обычно делят на четыре фазы. При гидролизе твердые частицы превращаются в растворимые соединения, которые разлагаются до более простых кислот, спиртов и CO2 (ацидогенез). Затем продолжается разложение с образованием ацетата и водорода (ацетогенез) и, наконец, с образованием метана и CO2 (метаногенез). Температура полигона, содержание влаги/количество добавочной воды, характеристики воды (т. е. атмосферные осадки или другая вода, поступающая на полигоны), доступный кислород и характеристики отходов являются одними из многих факторов, способствующих образованию газа и фильтрата на полигонах и впоследствии определяющих характеристики. свалочного газа и свалочного фильтрата. Кроме того, различные формы деградации не являются

окончательными, поскольку динамические изменения условий окружающей среды приводят к изменениям в их распределении и скорости на полигоне. Таким образом, комплексная автоматизированная система управления, которая используется на полигоне, значительно повышает качество мониторинга и обеспечивает гибкость структурной реализации с возможностью максимального учета индивидуальных особенностей полигона.

3.2 Сведения о системе сбора биогаза на объекте размещения отходов «Полигон ТКО «Новый Свет-ЭКО»

В период с декабря 2013 г. по август 2015 г. группой компаний «Продэкс» и «ООО «Вирео Энерджи» реализован пилотный инвестиционный проект на полигоне ТКО «Новый Свет ЭКО» по отбору из тела свалочного газа. Системы сбора и контроля газа являются распространенным и основным компонентом большинства полигонов, и только в последнее десятилетие стали применяться в России. Основной функционал газогенерирующей станции разрабатывался с целью контроля за запахами и сведения к минимуму выбросов метаногенных органических соединений в атмосферу. Данная установка должна была помочь повысить безопасность использования полигона для окружающей среды за счет контроля за миграцией газов в атмосферу. На первом этапе строительства был рассчитан объем генерации электрической энергии, который должен был составлять 2,4 МВт, а далее мощность была увеличена вдвое -до 4,8 мВт [25].

Базовое оборудование генерирующего объекта, которое использовали компании для откачки свалочного газа и его преобразования в метан – это комплектные блочно-модульные газопоршневые установки (ГПУ). Они представляли собой заводское контейнерное исполнение с установленной мощностью 1200 кВт (1,2 МВт), а выходное напряжение соответствовало 10 кВ [25]. Количество образующегося метана зависело в первую очередь от состава, количества и содержания влаги в отходах. Так как полигон уже в 2015 году имел достаточно высокую загруженность отходами и функционировал более 10 лет, предназначенные ГПУ были рассчитаны на максимальное анаэробное

разложение отходов, производящие большее количество метана. Прежде чем приступить к установке оборудования был проведен мониторинг образования свалочного газа в теле полигона для обеспечения высокой эффективности сбора свалочного газа. В качестве общего руководства ожидалось, что эффективная работа системы будет соответствовать следующим приблизительным контролируемые диапазонам газа:

- Метан (CH4): от 46 до 55 процентов
- Кислород (O2): от 0 до 0,5 процента
- N2: от 2 до 14 процентов
- Оксид углерода (CO): менее 25 частей на миллион по объему
- Температура устьевого газа: 52 – 60 градусов Цельсия (oC)

ОАО «Ленэнерго» покупает производимую установленными блочно-модульными ГПУ электроэнергию по утвержденному тарифу. Электроэнергия передается в электрические сети сетевой компании через повышающую трансформаторную подстанцию напряжением 35/10 кВ, согласно параметрам, отвечающим требованиям ОАО «Ленэнерго» [25].

Первая очередь объекта под названием «Станция активной дегазации полигона ТКО «Новый Свет-Эко», с электростанцией, работающей на свалочном газе» построена на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО», и предназначена для выработки электрической энергии с использованием добываемого из тела полигона ТКО биогаза.

Основными составляющими частями объекта строительства являются [25]:

1. Газопоршневая блочно-модульная электростанция (ГПЭС) установленной мощностью 4800 кВт с повышающей подстанцией напряжением 35 /10 кВ, которая расположена на площадке ГПЭС.

2. Система сбора и подготовки свалочного газа, которая расположена на территории полигона твердых коммунальных отходов.

В состав газопоршневой электростанции (ГПЭС) в блочно-модульном исполнении с повышающей подстанцией напряжением 35 /10 кВ входят [25]:

- Распределительное устройство генераторного напряжения 10,5 кВ в блочно-модульном исполнении (ТП-10/0,4 кВ) с распределительным устройством собственных нужд напряжением 0,4 кВ (РУСН-0,4 кВ);
- Низкотемпературная факельная установка;
- Главная газовая компрессорная станция (ГГКС) в блочно-модульном исполнении;
- Четыре блочно-модульные газопоршневые установки (ГПУ) контейнерного исполнения (БМ ГПУ) единичной установленной мощностью 1200 кВт с выходным напряжением 10,5 кВ;
- Санблок в блочно-модульном исполнении для эксплуатирующего персонала;
- Силовой повышающий масляный трансформатор напряжением 10/35 кВ наружной установки мощностью 6300 кВА;
- Распределительное устройство 35 кВ (РУ-35 кВ) в блочно-модульном исполнении;
- Аварийная дизельная электростанция (АДЭС) в блочно-модульном исполнении мощностью 250 кВА;
- Вспомогательное оборудование (емкости сбора технологических жидкостей, емкости системы пожаротушения, технологические эстакады, внутриплощадочные инженерные сети и т.п.) электростанции (конкретный тип вспомогательного оборудования уточняется на этапе разработки рабочей документации) в соответствии с генеральным планом площадки электростанции.

В состав системы сбора и подготовки свалочного газа входят [25]:

- Спутниковые газовые компрессорные станции (СГКС) в блочно-модульном исполнении;
- Система сбора и подготовки свалочного газа (емкости сбора конденсата, конденсатные колодцы, сборные газопроводы и т.п.).

- Вспомогательное оборудование, запорная арматура, внутриплощадочные инженерные сети и т.п.

2. Вторая очередь строительства объекта в составе [25]:

- две блочно-модульные ГПЭС контейнерного исполнения единичной установленной мощностью 1200 кВт с выходным напряжением 10,5 кВ;
- внутриплощадочные инженерные сети на вторую очередь строительства объекта;
- две СГКС в блочно-модульном исполнении;
- система сбора и подготовки свалочного газа (конденсатные колодцы, сборные газопроводы и т.п.) для двух СГКС второй очереди.

Добыча биогаза из тела полигона осуществляется полиэтиленовыми перфорированными трубами диаметром 150 мм, они вертикально инсталлированы в свалочные массы на глубине 15-25 метров, обсыпаны гравием в нижней части. Также, они соединены системой трубопровода, на расстоянии 20-25 метров друг от друга, поступивший биогаз откачивается спутниковыми газовыми компрессорными станциями (СГКС) [25]. Внешний вид размещения СГКС на полигоне ТКО «Новый Свет-Эко» приведен на рисунке (Рисунок 12).

Рисунок 12 - Спутниковая газовая компрессорная станция на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО» [25].

Как видно, сеть вертикальных газодренажных скважин соединяют линиями газопроводов, в которых спутниковая компрессорная установка создает разрежение необходимое для транспортировки СГ на главную газовую компрессорную станцию. После ГГКС свалочный газ направляется на сжигание в газопоршневых двигатели ГПУ с целью выработки электроэнергии в объёме до 2,0 – 4,8 мегаватт в час. Внешний вид размещения ГГКС и блочно-модульной ГПУ на площадке электростанции приведен на рисунке (Рисунок 13).

Рисунок 13 – Главная компрессорная станция и газопоршневые двигатели на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО» [25].

Система сбора свалочного газа включает в себя группу газосборных скважин с оголовками (рисунок 14). Перфорированные пластиковые трубы заглушены снизу и снабжены фланцевым соединением в приустьевой части, которое засыпано пористым материалом с послойным уплотнением до глубины 3 - 4 м от устья скважины с глиняным замком мощностью 3 - 4 м для предотвращения попадания в скважину атмосферного воздуха. После завершения строительства скважины был установлен оголовок скважины. Чаще всего он представляет собой металлический цилиндр, снабженный газозапорной арматурой для регулировки дебита и состава СГ, а также патрубком для присоединения скважины к газопроводу. Данный оголовок также позволяет защитить систему от несанкционированного доступа.

Рисунок 14 - Оголовок газовой скважины на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО» [25].

В систему также входят емкости для сбора и удаления конденсата из свалочного газа, конденсатные колодцы. Температура СГ в толще отходов может достигать 40 -50 градусов по Цельсию, а содержание объемной влаги - 5-7%. После экстракции СГ из свалочного тела и его поступления в транспортные газопроводы, происходит резкое снижение температуры, что приводит к образованию конденсата, который может выделяться в значительных количествах. Ориентировочно при добыче СГ в объеме 100 м3/час, в сутки образуется около 1 $м^3$ конденсата.

Все компоненты снабжены контрольно-измерительной аппаратурой и газоанализаторами. На рисунке (Рисунок 15) представлена факельная установка, используемая на полигоне.

Рисунок 15 - Факельная установка с молниеотводом на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО» [25].

Весь биогаз, получаемый блочно-модульной газопоршневой электростанцией на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО», используется в качестве топлива в целях выработки электроэнергии. Несомненно, утилизация свалочного газа на полигоне ТКО уменьшает эмиссии биогаза в атмосферный воздух и сводит к минимуму шансы самовозгорания отходов.

Общий вид блочно-модульной газопоршневой электростанции, расположенной на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО», представлен на рисунке (Рисунок 16).

Рисунок 16 - Блочно-модульная газопоршневая электростанция на территории полигона ТКО «Новый Свет-ЭКО» [25].

Глава 4. Исследование эмиссий биогаза на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО»

4.1 Анализ воздействия эмиссий биогаза на окружающую среду

Исследования на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО» проводились в 2021 году в июле. Во время исследований были получены следующие данные по выбросам загрязняющих веществ (Таблица 4).

Таблица 4 – Выбросы загрязняющих веществ на полигоне «Новый Свет-ЭКО» за 2021 год

№ п/п	***Вещество***	***Суммарное кол-во выбросов, т/год 2021***
1	Хром (Хром шестивалентный)	0,001
2	Аммиак	139,494
3	Марганец и его соединения	0,001
4	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	35,165
5	ДиЖелезо триоксид (Железа оксид)	0,01
6	Азот (II) оксид (Азота оксид)	5,715
7	Серная кислота	0,001
8	Серы диоксид (Ангидрид сернистый)	19,859
9	Углерод оксид	82,572
10	Дигидросульфид (Сероводород)	6,806
11	Углерод (Сажа)	1,890
12	Метан	13 848,589

Продолжение таблицы 4

№ п/п	*Вещество*	*Суммарное кол-во выбросов, т/год 2021*
13	Фториды плохорастворимые	0,001
14	Смесь углеводородов предельных С6-С10	0,003
15	Диметилбензол (Ксилол)	115,940
16	Метилбензол (Толуол)	189,219
17	Этилбензол	24,864
18	Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)	0,001
19	Пропан-2-ол (Изопропиловый спирт)	0,012
20	Гидроксибензол (Фенол)	0,002
21	Пропаналь	0,000
22	Формальдегид	25,124
23	Пентадиаль (Глутаровый альдегид)	0,005
24	Пентановая кислота (Валериановая кислота)	0,000
25	Гексановая кислота (кислота капроновая)	0,000
26	Одорант СМП	0,000
27	Диметиламин	0,000
28	Бензин (нефтяной)	0,478
29	Керосин	3,293
30	Углеводороды предельные С12-С19	0,059

Продолжение таблицы 4

№ п/п	*Вещество*	*Суммарное кол-во выбросов, т/год 2021*
31	Пыль абразивная (Корунд белый, Монокорунд)	0,004
32	Пыль тонко измельченного резинового вулканизата	0,006
33	Пыль неорганическая SiO 70-20%	0,889
	ИТОГО:	***14 499,935***

Как видно из таблицы, наибольшую долю выбросов загрязняющих веществ на полигоне составляют выбросы метана (13 848,589 т/год). Метан является основным компонентом биогаза, выделяемого телом полигона, из чего можно сделать вывод, что большая часть выбросов в окружающую среду осуществляется именно эмиссиями биогаза.

На полигоне ТКО «Новый свет-ЭКО» регулярно проводится мониторинг атмосферного воздуха. Согласно Программе производственного экологического мониторинга ПТКО «Новый Свет-ЭКО» (Программа ПЭМ), исследования качества атмосферного воздуха осуществляются в рабочей зоне над отработанным участком полигона и в границах санитарно-защитной зоны объекта (1000 м). В соответствии с СП 2.1.3684-21 [26] и Программой ПЭМ, при анализе проб атмосферного воздуха определяют метан, сероводород, аммиак, окись углерода, бензол, трихлорметан, четыреххлористый углерод, хлорбензол, оксид азота, диоксид азота, диоксид серы, взвешенные вещества, предельные углеводороды С12-С19.

Для атмосферного воздуха установлены несколько видов ПДК - максимально разовая, среднесуточная, для воздуха рабочей зоны [26].

Среднесуточная концентрация вредного вещества в воздухе не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом (годы) воздействии, максимально разовая концентрация не должна вызывать рефлекторных реакций в оргазме человека при воздействии в течение 30 минут. ПДК рабочей зоны ограничивает воздействие вредного вещества на взрослое работоспособное население в течение периода времени, установленного трудовым законодательством.

Были получены данные за период 2017 - 2020 гг., предоставленные главным экологом полигона ТКО «Новый Свет-ЭКО» Забелиной Александрой Викторовной. В точке отбора проб, расположенной над отработанным участком полигона используется ПДК рабочей зоны (ПДК р.з.). Нормативные значения представлены, согласно СП 1.2.3685-21 [27]. Результаты исследования воздуха за период 2017 – 2020 гг. в точке отбора проб, расположенной над отработанном участком полигона, представлены в таблицах (Таблица 5, Таблица 6, Таблица 7, Таблица 8).

Таблица 5 – Результаты исследования воздуха над отработанным участком полигона за 2017 г.

Наименование показателя	ед. изм.	Норма	**Даты отбора проб**			
			1 квартал 2017	**2 квартал 2017**	**3 квартал 2017**	**4 квартал 2017**
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Метан	мг/м^3	**7000**	<25,0	<25,0	<25,0	<25,0
Сероводород (дигидросульфид)	мг/м^3	**10**	5	5,1	0,003	0,0048
Аммиак	мг/м^3	**20**	<10	<10	0,079	<0,01
Оксид углерода	мг/м^3	**20**	<0,75	<0,75	1,5	1,8
Бензол	мг/м^3	**15**	<2,5	<2,5	<0,02	<0,001
Хлорбензол	мг/м^3	**100**	<0,05	0,05	<0,001	<0,001

Продолжение таблицы 5

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Тетрахлорметан (углерод четыреххлористый)	мг/м^3	**20**	-	-	<0,0002	<0,001
Трихлорметан (хлороформ)	мг/м^3	**10**	-	-	<0,003	<0,001
Азота диоксид	мг/м^3	**2**	0,042	0,037	0,041	0,024
Азота оксид	мг/м^3	**5**	0,49	0,42	0,06	0,024
Серы диоксид (Сернистый ангидрид)	мг/м^3	**10**	<5	<5	0,013	0,03
Взвешенные вещества	мг/м^3	**-**	<5	<5	0,013	0,03
Предельные углеводороды	мг/м^3	**900**	3,7	4,3	0,37	0,09
Ртуть (из шпуров в теле полигона)	мг/м^3	**0,01**	<50	<50	<0,8	<0,8

Таблица 6 – Результаты исследования воздуха над отработанным участком полигона за 2018 г.

Наименование показателя	ед. изм.	Норма	**Даты отбора проб**			
			1 квартал 2018	**2 квартал 2018**	**3 квартал 2018**	**4 квартал 2018**
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Метан	мг/м^3	**7000**	<0,1	<0,1	2,1	1,9
Сероводород (дигидросульфид)	мг/м^3	**10**	<0,0048	<0,0048	<0,004	<0,004
Аммиак	мг/м^3	**20**	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Оксид углерода	мг/м^3	**20**	<1,8	<1,8	<0,6	<0,6
Бензол	мг/м^3	**15**	<0,001	<0,001	<0,0005	<0,0005

Продолжение таблицы 6

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Тетрахлорметан (углерод четыреххлористый)	мг/м^3	**20**	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005
Трихлорметан (хлороформ)	мг/м^3	**10**	<0,001	<0,001	<0,01	<0,01
Хлорбензол	мг/м^3	**100**	<0,001	<0,001	-	<0,01
Азота диоксид	мг/м^3	**2**	<0,024	<0,024	0,07	0,17
Азота оксид	мг/м^3	**5**	<0,036	<0,036	0,078	<0,016
Серы диоксид (Сернистый ангидрид)	мг/м^3	**10**	<0,03	<0,03	<0,01	<0,01
Взвешенные вещества	мг/м^3	**-**	<0,03	<0,03	<0,01	<0,01
Предельные углеводороды	мг/м^3	**900**	<0,09	<0,09	<0,26	<0,26
Ртуть (из шпуров в теле полигона)	мг/м^3	**0,01**	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8

Таблица 7 – Результаты исследования воздуха над отработанным участком полигона за 2019 г.

Наименование показателя	ед. изм.	Норма	**Даты отбора проб**			
			1 квартал 2019	**2 квартал 2019**	**3 квартал 2019**	**4 квартал 2019**
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Метан	мг/м^3	**7000**	20	4,6	34	30
Сероводород (дигидросульфид)	мг/м^3	**10**	<0,004	<0,004	0,02	<0,004
Аммиак	мг/м^3	**20**	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Оксид углерода	мг/м^3	**20**	<0,75	<0,75	<0,75	<0,75

Продолжение таблицы 7

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Бензол	мг/м^3	**15**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Тетрахлорметан (углерод четыреххлористый)	мг/м^3	**20**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Трихлорметан (хлороформ)	мг/м^3	**10**	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Хлорбензол	мг/м^3	**100**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Азота диоксид	мг/м^3	**2**	-	-	-	-
Азота оксид	мг/м^3	**5**	-	-	-	-
Серы диоксид (Сернистый ангидрид)	мг/м^3	**10**	-	-	-	-
Взвешенные вещества	мг/м^3	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Предельные углеводороды	мг/м^3	**900**	-	-	-	-
Ртуть (из шпуров в теле полигона)	мг/м^3	**0,01**	-	-	<0,00002	-

Таблица 8 – Результаты исследования воздуха над отработанным участком полигона за 2020 г.

Наименование показателя	ед. изм.	Норма	**Даты отбора проб**			
			10.02.2020	**16.06.2020**	**20.08.2020**	**23.11.2020**
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Метан	мг/м^3	**7000**	14	13	17	24
Сероводород (дигидросульфид)	мг/м^3	**10**	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Аммиак	мг/м^3	**20**	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Оксид углерода	мг/м^3	**20**	0,88	<0,75	<0,75	<0,75

Продолжение таблицы 8

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Бензол	мг/м^3	**15**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,002
Тетрахлорметан (углерод четыреххлористый)	мг/м^3	**20**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Трихлорметан (хлороформ)	мг/м^3	**10**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,097
Хлорбензол	мг/м^3	**100**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,00069
Азота диоксид	мг/м^3	**2**	-	-	-	-
Азота оксид	мг/м^3	**5**	-	-	-	-
Серы диоксид (Сернистый ангидрид)	мг/м^3	**10**	-	-	-	-
Взвешенные вещества	мг/м^3	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Предельные углеводороды	мг/м^3	**900**	-	-	-	-
Ртуть (из шпуров в теле полигона)	мг/м^3	**0,01**	-	-	<0,00002	-

Согласно данным исследования, по критерию качества атмосферного воздуха ПДК рабочей зоны превышений нормативных значений за период 2017 – 2020 гг. над отработанным участком полигона ТКО зафиксировано не было.

В точке отбора проб, расположенной на западной границе санитарно-защитной зоны полигона ТКО «Новый Свет-ЭКО» используется ПДК максимальная разовая (ПДК м.р.). Нормативные значения представлены, согласно СП 1.2.3685-21 [27]. Результаты исследования воздуха за период 2017 – 2020 гг. в точке отбора проб, расположенной на западной границе санитарно-защитной зоны, представлены в таблицах (Таблица 9, Таблица 10, Таблица 11, Таблица 12).

Таблица 9 – Результаты исследования воздуха на западной границе СЗЗ за 2017 г.

Наименование показателя	ед. изм.	Норма	**Даты отбора проб**			
			1 квартал 2017	**2 квартал 2017**	**3 квартал 2017**	**4 квартал 2017**
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Метан	мг/м^3	**50**	<25,0	<25,0	<25,0	<25,0
Сероводород (дигидросульфид)	мг/м^3	**0,008**	<0,004	<0,004	0,003	0,0048
Аммиак	мг/м^3	**0,2**	<0,02	<0,02	0,079	<0,01
Оксид углерода	мг/м^3	**5**	<0,75	<0,75	1,5	1,8
Бензол	мг/м^3	**0,3**	<0.05	<0,05	<0,02	<0,001
Тетрахлорметан (углерод четыреххлористый)	мг/м^3	**4**	-	-	<0,0002	<0,001
Трихлорметан (хлороформ)	мг/м^3	**0,1**	-	-	<0,003	<0,001
Хлорбензол	мг/м^3	**0,1**	<0,05	<0,05	<0,05	<0,001

Таблица 10 – Результаты исследования воздуха на западной границе СЗЗ за 2018 г.

Наименование показателя	ед. изм.	Норма	**Даты отбора проб**			
			1 квартал 2018	**2 квартал 2018**	**3 квартал 2018**	**4 квартал 2018**
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Метан	мг/м^3	**50**	<0,1	<0,1	<0,1	1,9
Сероводород (дигидросульфид)	мг/м^3	**0,008**	<0,0048	<0,0048	<0,004	<0,004
Аммиак	мг/м^3	**0,2**	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Продолжение таблицы 10

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Оксид углерода	мг/м^3	**5**	<1,8	<1,8	<0,6	<0,6
Бензол	мг/м^3	**0,3**	<0,001	<0,001	<0,0005	<0,0005
Тетрахлорметан (углерод четыреххлористый)	мг/м^3	**4**	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001
Трихлорметан (хлороформ)	мг/м^3	**0,1**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005
Хлорбензол	мг/м^3	**0,1**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01

Таблица 11 – Результаты исследования воздуха на западной границе СЗЗ за 2019 г.

Наименование показателя	ед. изм.	Норма	**Даты отбора проб**			
			1 квартал 2019	**2 квартал 2019**	**3 квартал 2019**	**4 квартал 2019**
1	*2*	*3*	4	5	6	7
Метан	мг/м^3	**50**	1,3	1,4	1,4	2
Сероводород (дигидросульфид)	мг/м^3	**0,008**	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Аммиак	мг/м^3	**0,2**	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Оксид углерода	мг/м^3	**5**	<0,75	<0,75	<0,75	<0,75
Бензол	мг/м^3	**0,3**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Тетрахлорметан (углерод четыреххлористый)	мг/м^3	**4**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Трихлорметан (хлороформ)	мг/м^3	**0,1**	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Хлорбензол	мг/м^3	**0,1**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Таблица 12 – Результаты исследования воздуха на западной границе СЗЗ за 2020 г.

Наименование показателя	ед. изм.	Норма	**Даты отбора проб**			
			10.02.2020	**16.06.2020**	**20.08.2020**	**23.11.2020**
1	*2*	*3*	*9*	*10*	*11*	*12*
Метан	мг/м^3	**50**	1,4	1,5	1,5	1,6
Сероводород (дигидросульфид)	мг/м^3	**0,008**	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Аммиак	мг/м^3	**0,2**	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Оксид углерода	мг/м^3	**5**	<0,75	<0,75	<0,75	<0,75
Бензол	мг/м^3	**0,3**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0012
Тетрахлорметан (углерод четыреххлористый)	мг/м^3	**4**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0012
Трихлорметан (хлороформ)	мг/м^3	**0,1**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,022
Хлорбензол	мг/м^3	**0,1**	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005

Согласно данным исследования, по критерию качества атмосферного воздуха ПДК максимальной разовой превышений нормативных значений за период 2017 – 2020 гг. на западной границе СЗЗ полигона ТКО зафиксировано не было.

4.2 Рекомендации по снижению воздействия эмиссий биогаза на окружающую среду

При эксплуатации полигона захоронения коммунальных и промышленных отходов основными источниками загрязнения атмосферного воздуха является разложение органических фракций ТКО, сопровождающееся интенсивным выделением в атмосферу биогаза, в составе которого выделяются метан,

двуокись углерода, окись углерода, аммиак, ксилол, толуол, сероводород, фенол и другие вещества.

Для минимизации отрицательного воздействия биогаза на окружающую среду и на здоровье человека проводят дегазацию свалочного тела полигона на станции дегазации.

Концентрации всех выбрасываемых веществ на границе земельного участка объекта размещения отходов и на границе СЗЗ полигона захоронения коммунальных и промышленных отходов в п. Новый Свет не превышают санитарных норм, поэтому в качестве плана мероприятий по охране атмосферного воздуха предлагается проведение организационно-технических мероприятий, не требующих существенных затрат:

- для защиты воздушного пространства от пыления, пожаров запроектирована водооборотная система, представляющая замкнутый режим сбора и потребления, как дождевого стока, так и фильтрата. регулярно проводить техническое обслуживание и ремонт автотранспорта и дорожной техники, своевременно производить замену устаревшей техники на более новую, современную;
- предотвращение разноса отходов ветром (установка переносных сетчатых ограждений, сбор мусора, задержанного переносными щитами) проведение контроля над соблюдением нормативов ПДВ по графику контроля;
- предоставление в органы, осуществляющие государственное управление, в установленном порядке отчетности по утвержденной форме 2-тп (воздух) государственного статистического наблюдения за вредными воздействиями на атмосферный воздух;
- вносить плату за негативное воздействие на окружающую среду за загрязнение атмосферного воздуха.

Защита атмосферного воздуха включает комплекс технических и административных мер, прямо или косвенно направленных на предотвращение и на уменьшение загрязнения атмосферного воздуха, являющегося следствием производственного развития полигона ТКО. Аварийные и залповые выбросы на

предприятии отсутствуют. Выбросы предприятия соответствуют действующим критериям качества воздуха, план мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу не разрабатывался.

Анализ результатов уровня загрязнения атмосферы показал отсутствие опасных приземных концентраций загрязняющих веществ на границе земельного участка и на границе санитарно-защитной зоны ООО «Новый Свет-ЭКО» с учетом фоновых загрязнений по всем веществам, выбрасываемым предприятием в атмосферу.

Для района расположения промплощадки неблагоприятными метеорологическими условиями являются инверсии температуры, низкая облачность, туманы. В эти периоды метеоусловия способствуют накоплению вредных веществ, в приземном слое атмосферы, и концентрации примесей в атмосфере могут резко возрастать.

Под регулированием выбросов вредных веществ в атмосферу на предприятии понимается их кратковременное сокращение в периоды неблагоприятных метеоусловий.

При наступлении неблагоприятных метеоусловий необходимо:

- по мере возможности ограничить прием ТКО;
- усилить контроль за точным соблюдением технологического регламента полигона;
- в засушливое время обеспечить тщательный пролив свалочных масс на рабочей карте, с целью недопущения очагов возгораний;
- ограничить плановые ремонтно-профилактические работы в административно-хозяйственной зоне;
- осуществлять проведение инструментального контроля выбросов и отбор мониторинговых проб в зоне влияния полигона, на границе СЗЗ и жилой зоны близлежащих населенных пунктов.

В СЗЗ запрещается размещение объектов для проживания людей. СЗЗ, или какая-либо ее часть, не могут рассматриваться как резервная территория объекта и использоваться для расширения промышленной или жилой территории.

Основные предложения по проведению мероприятий, направленных на снижение и предотвращение негативного воздействия полигона ТКО на атмосферный воздух, следующие:

- строго соблюдать Технологический регламент работы полигона, проводить своевременную изоляцию свалочных масс;
- контролировать техническое состояние автотранспорта предприятия;
- при проведении входного контроля поступающих отходов контролировать наличие и качество укрытия отходов на автотранспорте Заказчиков работ; не допускать на территорию полигона отходы с признаками горения, взрывоопасных отходов, самовозгорающихся, пожароопасных.

Заключение

В процессе исследования было доказано, что биогаз, образующийся в свалочных толщах полигонов твердых коммунальных отходов является антропогенным фактором, воздействующим на окружающую среду.

Результаты, полученные в ходе исследования:

- Были обобщены и проанализированы современные сведения об условиях, которые влияют на состав и объем эмиссий биогаза из тел полигонов твердых коммунальных отходов;
- Были определены объемы выбросов загрязняющих веществ, ПДК максимальная разовая и ПДК рабочей зоны для загрязняющих веществ на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО»;
- Были разработаны рекомендации для возможного снижения воздействия эмиссий биогаза на окружающую среду.

Полученные в процессе работы выводы:

1. В результате анализа работ специалистов в области изучения физических, химических и биохимических процессов, а также условий образования биогаза в свалочных толщах полигонов твердых коммунальных отходов, были обобщены и представлены сведения об основных факторах, которые влияют на состав и объемы эмиссий биогаза, а именно:

- Влажность отходов, являющаяся одним из основных факторов, своеобразным катализатором, который увеличивает скорость разложения ТКО при росте значения. Многими исследованиями доказано, что увеличение выхода метана в составе биогаза связано именно с повышением влажности самих отходов, а также с повышением влажности окружающей среды. Вода, находящаяся в теле полигона, может выполнять множество функций: распределять микроорганизмы между небольшими частицами отходов, транспортировать органические и питательные вещества, разбавлять ингибиторы. Сам же процесс образования, а затем и эмиссии биогаза происходит строго при наличии влажной среды, по причине того, что метанобразующие

бактерии могут перерабатывать вещества только при температуре 35-45 °С и в растворенном виде.

- Плотность отходов, зависящая от влажности отходов и морфологического состава отходов. Характеризуется сезонными колебаниями по причине разного количества выпадающих осадков и доли органических отходов, например, осенью плотность отходов значительно повышается. Также, проводится искусственное уплотнение массы отходов. Это обусловлено снижением риска возникновения в теле полигона возгораний.
- Кислотность среды, сильно влияющая на объем образования биогаза по причине того, что оптимальный диапазон биохимических реакций в теле полигона находится между значениями 6,6 и 7,6 единиц водородного показателя. Искусственное изменение кислотности тела полигона для уменьшения образования биогаза может быть достигнуто путем орошения его поверхности воды, например, отстоем фильтрационных и сточных вод, это осуществляется по причине того, что чем ниже кислотность, тем ниже будет объем образования биогаза в теле полигона.
- Температура среды – от нее зависит скорость образования метана: чем меньше температура, тем больше замедляются процессы метанового брожения. Следовательно, период увеличения скорости разложения отходов – весенне-летний период, а период уменьшения – зимний период при отрицательных температурах окружающей среды.

2. Определено количество выбросов загрязняющих веществ, ПДК рабочей зоны и ПДК максимальная разовая на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО». По ПДК рабочей зоны и ПДК максимальной разовой на полигоне ТКО «Новый Свет-ЭКО» не было зафиксировано превышений нормативных значений за период 2017 – 2020 гг.

3. Разработаны рекомендации по снижению воздействия биогаза на окружающую среду. По причине отсутствия превышений санитарных норм на полигоне, даны рекомендации по проведению организационно-технических мероприятий, не требующих существенных затрат:

- водооборотная система для защиты воздушного пространства от пыления и пожаров;
- сетчатые ограждения, сбор отходов, задержанных сетчатыми ограждениями для предотвращения разноса отходов ветром;
- своевременное и полное предоставление отчетности по форме 2-тп (воздух) в РосПриродНадзор
- внесение платы за НВОС за загрязнение атмосферного воздуха

Также, были предложены рекомендации по кратковременному сокращению выбросов во время неблагоприятных метеоусловий.

Список используемой литературы

1. Вайсман Я. И. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения ТБО: моногр. / Вайсман Я. И. [и др.]; под ред. Вайсмана Я. И. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 259 с;

2. Беспалов В.И., Адамян Р.Г. Анализ условий образования биогаза на полигоне по захоронению твердых отходов потребления [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2 (25). – URL: http://cyberleninka.ru/article/n/ analizusloviy-obrazovaniya-biogaza-na-poligone-po-zahoroneniyu-tverdyh-othodov-potrebleniya (дата обращения: 06.12.2020);

3. Калюжина Е.А., Самарская Н.С. Экологические особенности воздействия полигонов твердых бытовых отходов на состояние окружающей среды в районах их расположения [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2 (30). – URL: http://sgm-oil.ru/articles/konkurs2/nominatsia4/article(shaimova).pdf (дата обращения: 06.12.2020);

4. Беспалов В.И., Адамян Р.Г. Задачи выбора территории для полигонов по захоронению ТБО в условиях г. Еревана Республики Армения // Научное обозрение. – 2013. – № 2. – С. 158–161;

5. Баадер В., Доне Е. Биогаз: теория и практика. – Москва: Колос, 1982. – 184 с;

6. Беспалов В.И., Адамян Р.Г. Оценка условий размещения полигонов по захоронению твердых отходов потребления (ТОП) // European Applied Sciences. – ORT Publishing (Германия), 2013;

7. Середа Т.Г. Обоснование технологических режимов функционирования искусственных экосистем хранения отходов: автореф. дис., Москва, 2006. - 11 с;

8. Проблема бактериологического газообразования на полигонах твердых бытовых отходов и использования метана как источника энергии, - Калужский гос. ун-т им. К.Э. Циолковского, Калуга, 2010. -16 с;

9. Вайсман Я. И. [и др.]; под ред. Вайсмана Я. И. Управление отходами. Полигонные технологии захоронения твердых бытовых отходов. Рекультивация и постэксплуатационное обслуживание полигона: монография. – Пермь: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2012. – 244 с;

10. Костарев С.Н. Математическая модель управления состоянием полигона твердых бытовых отходов: автореф. дис, Пермь, 2003. -24 с;

11. Бичелдей Тайраа Каадыр-Ооловна. Биогаз как антропогенный фактор воздействия на популяцию человека, проживающего вблизи полигонов твердых бытовых отходов «Самосырово» и «Каргашино», - ГОУВПО «Российский университет дружбы народов», Москва, 2011. – 223 с;

12. Активная дегазация полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://conveco.ru/degazatsiya-poligonov-tbo. – (Дата обращения 11.05.2022);

13. Overview of greenhouse gases [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases. – (Дата обращения 11.05.2022);

14. Биогаз как антропогенный фактор воздействия на человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/biogaz-kak-antropogennyy-faktor-vozdeystviya-na-cheloveka/viewer. – (Дата обращения 11.05.2022);

15. Садчиков А.В. Дегазация полигонов твердых коммунальных отходов// Фундаментальные исследования. – 2017. – № 2. – С. 82-86;

16. Распоряжение Правительства Российской Федерации №1523-р от 09.06.2020;

17. Устройство системы пассивной дегазации массивов существующих объектов размещения отходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://journals.eco-vector.com/2542-0151/article/view/54295/37635. – (Дата обращения 30.05.2022);

18. ГОСТ Р 58121.2-2018. Пластмассовые трубопроводы для транспортирования газообразного топлива. Полиэтилен (ПЭ). - Москва: Стандартинформ, 2012. – 30 с;

19. Активная дегазация полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://conveco.ru/degazatsiya-poligonov-tbo. – (Дата обращения 27.06.2021);

20. Факел для сжигания биогаза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://conveco.ru/fakel-dlya-szhiganiya-biogaza. – (Дата обращения 30.05.2022);

21. Energy from landfill gas as an example of circular economy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/05/e3sconf_iwa2018_03002.pdf. – (Дата обращения 27.06.2021);

22. Landfill methane outreach program [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas. – (Дата обращения 30.05.2022);

23. Приказ Минприроды РФ № 49 от 25.02.2010 (ред. от 09.12.2010) «Об утверждении правил инвентаризации объектов размещения отходов»;

24. Отчет о результатах производственного экологического мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территории объекта размещения – полигона ТБО «Новый Свет-ЭКО», расположенного вблизи пос. Новый Свет в Гатчинском районе Ленинградской области и в пределах его воздействия на окружающую среду за 2020 год, составленный ФГБУ «ЦЛАТИ по Северо-Западному ФО»;

25. Полигон ТБО «Новый Свет-ЭКО» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://prodex-energy.com/1348/. – (Дата обращения 04.06.2022);

26. СП 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных

помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102050027. – (Дата обращения 06.06.2022;

27. СП 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560IO. – (Дата обращения 06.06.2022).