

УДК 631.618

Н.Н. Слюсарь, А.А. Сурков, Г.В. Ильиных

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

**ВЫБОР СИСТЕМЫ ДЕГАЗАЦИИ СВАЛКИ
ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ
НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ХАБАРОВСКА**

Существующие свалки складирования ТБО не отвечают современным экологическим требованиям, являются источниками эмиссий широкого спектра загрязняющих веществ в окружающую среду, в том числе биогаза, и подлежат закрытию и рекультивации. Проведен расчет газоносной способности свалки ТБО г. Хабаровска. Рекультивация свалки ТБО предполагает выбор и обоснование системы дегазации, препятствующей неконтролируемым выбросам биогаза в атмосферу.

Ключевые слова: биогаз, система дегазации, полигон ТБО, рекультивация, факельное сжигание.

На сегодняшний день самым распространенным методом обращения с твердыми бытовыми отходами (ТБО) в Российской Федерации до сих пор остается их окончательное размещение на полигонах ТБО. Более 90 % всех образующихся у населения отходов поступает на захоронение в окружающей природной среде [1]. Так, например, по состоянию на 1 января 2009 г., общий объем накопленных бытовых отходов на свалке г. Хабаровска составляет 18 958 тыс. м³, а площадь, занятая непосредственно отходами, – 13,3 га (рис. 1).

Современное экологическое состояние территории в зоне воздействия свалки ТБО в отработанном карьере «Березовый» характеризуется наличием зоны низкого уровня загрязнения почвогрунтов химическими веществами, в основном тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами, на фоне которой отмечено четыре очага очень высокого уровня загрязнения по свинцу, сере, нефти и нефтепродуктам и по содержанию бенз(а)пирена, одного очага высокого уровня загрязнения по барии и одного очага среднего уровня загрязнения по ванадию. Загрязнение поверхностных и подземных вод химическими элементами и веществами соответствует составу и отражает загрязнение почвогрунтов, а по уровню превышения ПДК по мышьяку (I класс опасности) и свинцу (II класс опасности) относится к источнику загрязнения водного объекта, требующего технических мероприятий по обезврежива-

нию источника загрязнения. Свалка отсыпана до предусмотренной высоты, в настоящее время происходит ее стабилизация, рассчитанная на период до 2012 г.

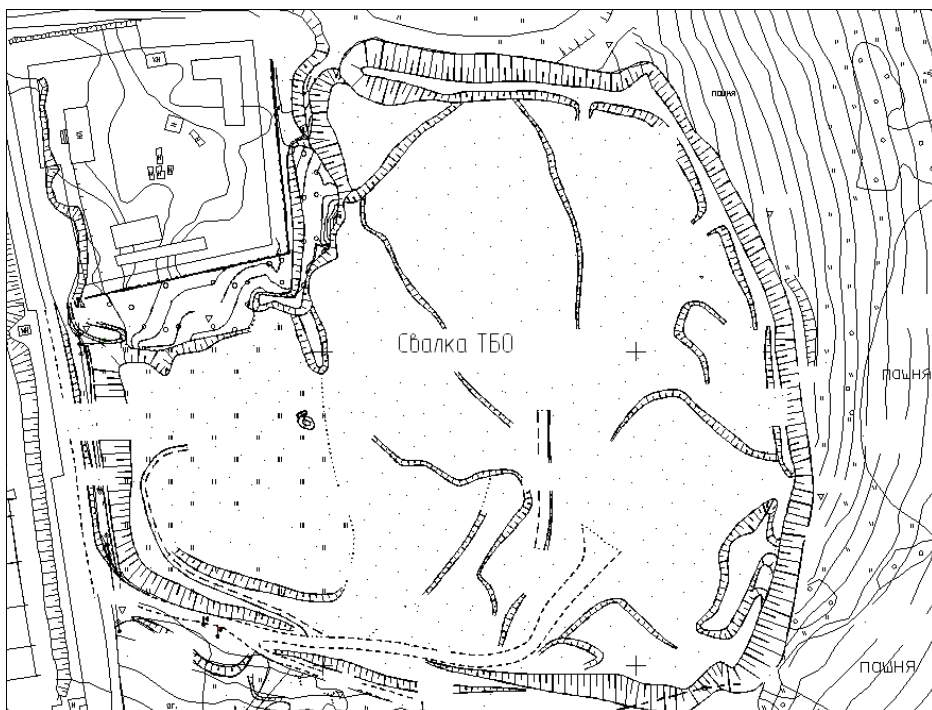


Рис. 1. Схема свалки ТБО в отработанном карьере «Березовый»

Инженерно-экологические изыскания по определению степени загрязнения свалки и окружающей ее территории показали необходимость проведения ее консервации и рекультивации.

Планируется очередное проведение следующих мероприятий (рис. 2):

- окончание эксплуатации и закрытие свалки – 2010 г.;
- стабилизация – 2011–2012 гг.;
- рекультивация – 2013–2016 гг.;
- пострекультивационное обслуживание.



Рис. 2. Схема жизненного цикла свалки ТБО в отработанном карьере «Березовый»

Срок закрытия свалки – 01.12.2010 г. Общий срок эксплуатации составит 21,9 года.

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

Конечным продуктом этого процесса является биогаз, основную объемную массу которого составляют метан и диоксид углерода. Наряду с названными компонентами биогаз содержит пары воды, оксид углерода, оксиды азота, аммиак, углеводороды, сероводород, фенол и в незначительных количествах другие примеси, обладающие вредным для здоровья человека и окружающей среды воздействием [2].

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

1-я фаза – аэробное разложение;

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

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

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

5-я фаза – затухание анаэробных процессов.

1-я и 2-я фазы имеют место в первые 20–40 дней с момента укладки отходов, продолжительность протекания 3-й фазы – до 700 дней. Длительность 4-й фазы определяется местными климатическими условиями и для различных регионов РФ колеблется в интервале от 10 (на юге) до 50 лет (на севере), если условия складирования не изменяются.

За период анаэробного разложения отходов с постоянным выделением метана и максимальным выходом биогаза (4-я фаза) генерируется около 80 % от общего количества биогаза. Остальные 20 % приходятся на первые три и конечную фазы, в периоды которых в образовании продуктов разложения принимают участие только часть находящихся на полигоне отходов (верхние слои отходов и медленно разлагаемая микроорганизмами часть органики).

Различают следующие системы дегазации:

- пассивная – выполняется в виде отдельных дегазационных скважин (колодцев) в целях снижения взрыво- и пожаро-

опасности массива отходов и не преследует целей централизованного сбора и обезвреживания биогаза;

- активная – дегазационные колодцы (скважины) должны быть обязаны с целью централизованного сбора и обезвреживания (утилизации) биогаза.

Утилизация биогаза позволяет значительно снизить, а в некоторых случаях и полностью исключить загрязнение окружающей среды метаном.

Целесообразность применения того или иного способа утилизации биогаза зависит от конкретных условий хозяйственной деятельности на полигоне ТБО и определяется наличием платежеспособного потребителя энергии или энергоносителей.

Основные способы утилизации биогаза можно классифицировать следующим образом:

- простое сжигание в факеле (факельное сжигание) – обеспечивает устранение неприятных запахов и снижение пожароопасности на территории полигона ТБО, при этом энергетический потенциал не используется в хозяйственных целях;

- прямое сжигание биогаза для производства тепловой энергии;

- использование биогаза в качестве топлива для газовых турбин с целью получения электрической и тепловой энергии;

- обогащение биогаза (доведение содержания метана до 94–95 %) и его транспортировка к потребителям по газовым трубопроводам и/или использование в газовых сетях общего назначения в качестве заменителя природного газа;

- сжижение биогаза для получения жидкого топлива (для автомобилей и т.п.);

- получение твердого CO_2 .

Методы дегазации полигонов различаются сложностью инженерной инфраструктуры, межремонтными сроками эксплуатации отдельных элементов сооружений, долговечностью, временем реализации и множеством других характеристик.

В настоящее время проблему образования биогаза решают следующими методами:

- 1) рекультивацией полигона после его закрытия с устройством системы газовыпусков и последующим рассеиванием биогаза в окружающей среде;

2) рекультивацией полигона после его закрытия с устройством магистрального газопровода и сбором биогаза с последующим его сжиганием на факельной установке.

Для прогнозирования объемов образования биогаза и эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух в настоящее время известно множество методик. Наиболее часто используется «Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов» (М., 2004).

Удельный выход биогаза за период его активной стабилизированной генерации (Q_w , кг/кг отходов) при метановом брожении определяется по уравнению

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

где R – содержание органической составляющей в отходах, %; W – влажность отходов, %; $Ж$ – содержание жироподобных веществ в органике отходов, %; $У$ – содержание углеводородных веществ в органике отходов, %; $Б$ – содержание белковых веществ в органике отходов, %.

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

Количественный выход биогаза за год ($P_{уд}$, кг/т отходов в год), отнесенный к 1 т отходов, определяется по формуле

$$P_{уд} = \frac{Q_w}{t_{сбр}} \cdot 10^{-3},$$

где $t_{сбр}$ – период полного сбраживания органической части отходов (в годах),

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

где $t_{ср,тепл}$ – средняя из среднемесячных температура воздуха в районе полигона твердых бытовых и промышленных отходов (ТБО и ПО) за теплый период года ($t_{ср,мес} > 0$), °С; $T_{тепл}$ – продолжительность теплого периода года в районе полигона ТБО и ПО, дн.; 10248; 0,301966 – удельные коэффициенты, учитывающие биотермическое разложение органики.

Проведенный расчет образования биогаза на полигоне ТБО г. Хабаровска позволил получить следующие значения:

- удельный выход биогаза на 1 т отходов – 61,9 кг/т ТБО (49,6 м³/т ТБО);
- период полного сбраживания – 21,74 лет (≈22 года);
- удельный выход биогаза с 1 т отходов, стабильно выделяющих биогаз, – 2,81 кг/год (2,25 м³/год).

Общий газоносный потенциал свалки ТБО, который может быть использован по окончании технического этапа рекультивации свалки ТБО составляет 47,2 млн м³.

При выборе системы дегазации полигона ТБО необходимо учитывать следующие факторы:

- результаты расчета газоносной способности свалки ТБО показали, что суммарная газоносная способность объекта (с момента возможного начала освоения в 2016 г.) составляет около 47,2 млн м³ биогаза;
- результаты расчета газоносной способности свалки ТБО по годам показали, что максимум образования биогаза следует ожидать в 2012 г., до начала работ по технической рекультивации, а затем объемы образования биогаза будут постепенно уменьшаться;
- к моменту окончания технического этапа рекультивации свалки ТБО г. Хабаровска газоносная способность будет составлять не более 5,2 млн м³/год (600 м³/ч);
- свалка ТБО г. Хабаровска подлежит закрытию и рекультивации, следовательно, отсутствуют перспективы увеличения ее газоносной способности за счет вновь поступающих отходов;
- практические исследования показывают, что контролируемым образом может быть использовано в среднем от 40 до 70 % от всего образующегося биогаза.

По опыту развитых стран, эффективность использования биогаза на энергетические нужды (непосредственно на полигоне или с передачей потребителю) напрямую зависит от газоносного потенциала объекта захоронения отходов и некоторых других факторов. Использование биогаза эффективно при одновременном соблюдении нескольких условий [3] (табл. 1).

Таким образом, для рекультивируемой свалки ТБО г. Хабаровска использование биогаза на энергетические нужды неэффективно, так как ее характеристики не соответствуют основным предъявляемым требованиям, а именно сроки и объем биогаза не позволяют эксплуатировать установку достаточно длительное время.

Таблица 1

**Критерии целесообразности использования биогаза
на энергетические нужды**

Критерий	Граница целесообразности	Значения для свалки ТБО г. Хабаровска	Характеристика
Содержание метана в биогазе	Не менее 45–50 %	≈ 50 %	Удовлетворяет требованиям
Общий потенциал газа	Не менее 100 млн м ³	47,2 млн м ³	Не удовлетворяет
Минимальная скорость выделения биогаза (фактически собираемого, с учетом потерь)	Не менее 60 м ³ /ч	Максимум 240–420 м ³	Удовлетворяет сразу после рекультивации, постепенно снижается до нуля
Срок эксплуатации (активного выделения биогаза на уровне не менее 60 м ³ /ч)	Не менее 20 лет	Менее 15 лет	Не удовлетворяет
Потребители энергии	Несколько	Есть	Удовлетворяет

Среди возможных вариантов утилизации биогаза следует рассматривать следующие [4]:

- пассивная дегазация с рассеиванием биогаза;
- активная дегазация с факельным сжиганием.

Свалка ТБО г. Хабаровска расположена в непосредственной близости от жилой и промышленной застройки, в перспективе планируется строительство жилого микрорайона «Ореховая сопка» (рис. 3).

С учетом указанных перспектив проведены расчеты рассеивания загрязняющих веществ на прилегающей территории по двум вариантам:

- пассивная система дегазации;
- активная система дегазации (факельное сжигание).

В соответствии с результатами расчета рассеивания при использовании пассивной системы дегазации получаем, что к моменту окончания рекультивационных работ в ближайшей жилой застройке (300 м) наблюдаются превышения ПДК по следующим веществам [5, 6]:

- метан – превышение ПДК незначительное (1,06), начиная с 2017 г. следует ожидать концентрации в пределах ПДК;
- аммиак, сероводород, ксилол, толуол, этилбензол и формальдегид – превышение ПДК в 1,21–4,77 раза;
- превышения по группам суммации – до 8,69 ПДК.

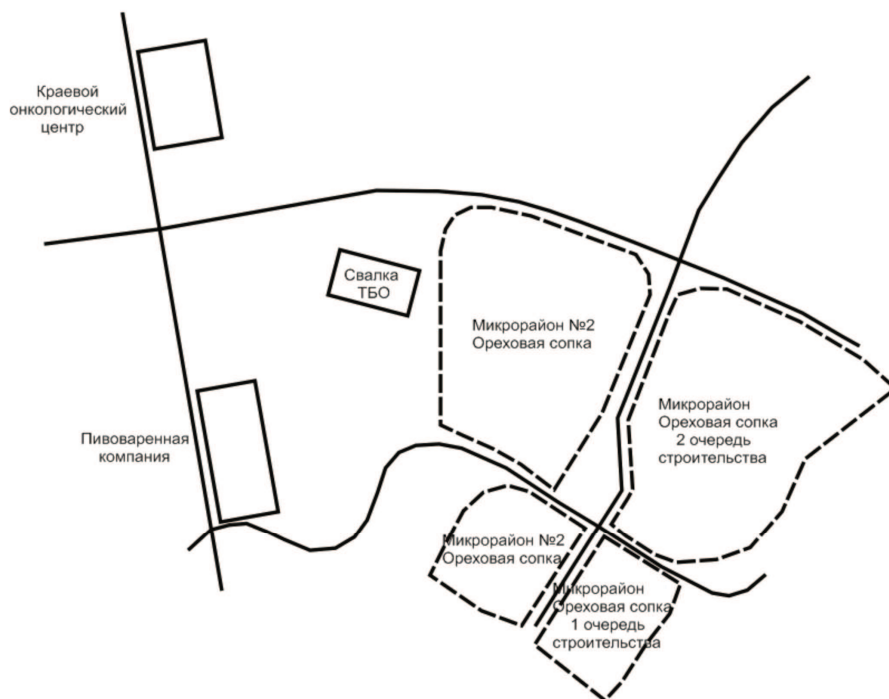


Рис. 3. Схема размещения планируемой жилой застройки

По результатам расчета рассеивания при использовании активной системы дегазации без учета фона ПДК по всем веществам на границе санитарно-защитной зоны (1000 м) соблюдаются уже в 2016 г. В последующем выбросы всех загрязняющих веществ снижаются.

На границе ближайшей (перспективной) жилой застройки (300 м) концентрации загрязняющих веществ к моменту окончания рекультивации не превышают ПДК и квот на выбросы.

Пассивная система дегазации является наиболее дешевой с экономической точки зрения и наиболее простой технологией дегазации массива отходов, однако при этом выбросы загрязняющих веществ максимальны и не поддаются регулированию. Учитывая перспективы развития данной территории, превышения ПДК по ряду веществ на границе существующей санитарно-защитной зоны в 1000 м и тем более на границе проектируемой жилой застройки в 300 м в течение длительного времени при данном способе дегазации не позволяют рассматривать его в качестве приоритетного.

Активная система дегазации, предусматривающая сжигание биогаза, в соответствии с расчетами рассеивания, позволяет значительно снизить выбросы углеводородных загрязняющих веществ (метана, этилбензола и т.п.) и тем самым сократить размер санитарно-защитной зоны до 300 м.

Состав отходящих газов при факельном сжигании может быть определен исходя из состава сгораемого газа по основным реакциям разложения (табл. 2).

Таблица 2

**Реакции разложения компонентов биогаза
при факельном сжигании**

Название вещества	Реакция разложения при факельном сжигании
Азота диоксид (азот (IV) оксид)	—
Аммиак	$4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
Азот (II) оксид (азота оксид)	$2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{N}_2\text{O}$
Сера диоксид-ангидрид сернистый	—
Дигидросульфид (сероводород)	$2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
Углерод оксид	$2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$
Углерода диоксид	—
Метан	$\text{CH}_4 + 3\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
Диметилбензол (ксилол)	$2\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2 + 21\text{O}_2 = 16\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O}$
Метилбензол (толуол)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + 9\text{O}_2 = 7\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
Этилбензол	$2\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5 + 21\text{O}_2 = 16\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O}$
Формальдегид	$\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Использование факельных установок или энергетических установок принципиально не меняет состав отходящих газов – и в том, и в другом случае это продукты, образующиеся при разложении органических веществ (диоксид углерода, оксид углерода и т.п.) и соединения, образование которых характерно для любого горения (оксиды азота, бенз(а)пирен и т.п.). Состав отходящих газов при сжигании биогаза определяется конфигурацией устройства сжигания и параметрами процесса горения, а не тем, вырабатывается ли при этом энергия (как на энергетических установках) или рассеивается в окружающей среде (как при факельном сжигании). Другими словами, выбросы при сжигании биогаза на факельной установке закрытого типа мо-

гут быть ниже, чем при его сжигании на когенерационной установке небольшой мощности и т.п. Фактически, и факельные устройства, и энергетические установки с экологической точки зрения и перспектив уменьшения размеров санитарно-защитной зоны имеют равные показатели [1].

При этом использование энергетических установок связано с большими затратами и рисками. Кроме того, необходимо учитывать, что данные технологии в Российской Федерации развиты слабо, поэтому определенные трудности могут быть связаны с подбором или проектированием специального оборудования, его сертификацией.

Учитывая все вышеназванные факторы и в особенности газоносный потенциал свалки ТБО г. Хабаровска, наиболее перспективной системой дегазации является активная система дегазации с факельным сжиганием, позволяющая избежать неконтролируемых эмиссий биогаза в атмосферу и сократить размер санитарно-защитной зоны до 300 м.

Библиографический список

1. Вайсман Я.И., Коротаяев В.Н., Петров В.Ю. Управление отходами. Захоронение твердых бытовых отходов: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2001. – 133 с.
2. Вайсман Я.И., Вайсман О.Я., Максимова С.В. Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов: моногр. / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2003. – 232 с.
3. Гурвич В.И., Лифшиц А.Б. Добыча и утилизация свалочного газа (СГ) – самостоятельная отрасль мировой индустрии. – М., 1998. – 128 с.
4. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для ТБО / АКХ им. К.Д. Памфилова. – М., 1998. – 14 с.
5. СанПиН 2.1.7.1322–03. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления: утв. постановлением Гл. гос. сан. врача РФ 30 апреля 2003 г.
6. СП 2.1.7.1038–01. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов: утв. постановлением Гл. гос. сан. врача РФ от 30 мая 2001 г. № 16.

Получено 13.09.2011