

УДК 628.472.3.032:547.211

Т.В. Воронкова, М.В. Висков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЕМКОСТИ И СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЛИГОНА ТБО С УЧЕТОМ ВЫХОДА БИОГАЗА

В настоящее время при определении срока эксплуатации полигонов захоронения твердых бытовых отходов не учитывается естественная убыль массы отходов, которая происходит в результате биохимического разложения отходов за счет миграции части вещества с фильтратом и биогазом. Рассмотрены этапы образования биогаза, выполнен расчет выхода биогаза для условий Пермского края при стандартной схеме эксплуатации. Проведена оценка снижения массы отходов с выходом биогаза за время эксплуатации полигона и за весь период активного газообразования, а также возможности увеличения срока эксплуатации полигона с учетом заполнения освободившегося после выхода биогаза объема массива отходов.

Ключевые слова: полигон захоронения твердых бытовых отходов, биогаз, срок эксплуатации.

Основной задачей при захоронении отходов является снижение негативного влияния полигонов захоронения твердых бытовых отходов (ТБО) на объекты окружающей среды.

В последние годы требования к строительству и эксплуатации полигонов возросли. Сегодня полигон складирования и захоронения отходов – это сложный инженерный комплекс геотехнических сооружений, обеспечивающий высокую степень экологической безопасности. Однако даже соблюдение всех нормативных требований при строительстве и эксплуатации полигонов не всегда может гарантировать безопасность объекта захоронения отходов, поскольку помимо технических требований к системам и сооружениям полигона необходимо соблюдать принципы устойчивого развития, которые подразумевают снижение и локализацию загрязнения.

Срок эксплуатации полигонов захоронения ТБО, в соответствии с рекомендациями «Инструкции...» [1], составляет 15–20 лет, при сроке ассимиляции бытовых отходов в окружающей среде 800–1000 лет [2]. Следовательно, каждые 15–20 лет появляется новый источник долговременного загрязнения окружающей

среды, для обслуживания той же группы населения. Очевидно, что любое увеличение срока службы объекта захоронения отходов даже в 2–3 раза не повлияет на общий срок разложения отходов и негативного влияния конкретного полигона на окружающую среду, но позволит избежать появления нового источника загрязнения.

Помимо экологических аспектов, увеличение рабочего объема массива отходов позволяет сохранить существующую инфраструктуру и устоявшиеся транспортные потоки вывоза отходов, что позволяет снизить затраты на захоронение отходов. Создание крупных межмуниципальных полигонов позволяет сократить капитальные затраты на строительство полигонов, а также затраты на эксплуатацию как самого полигона, так и очистных сооружений по очистке фильтрата, стоимость строительства и эксплуатации которых, как правило, превышает стоимость строительства и эксплуатации карт захоронения и сопутствующей инфраструктуры.

Решение о закрытии полигона для приема ТБО принимается при достижении проектной отметки депонирования. В зависимости от принятой схемы депонирования может проводиться закрытие полигона в целом или его отдельных рабочих карт. Обычно полигон закрывается постепенно по мере достижения на отдельных картах проектных отметок. Отработанные рабочие карты закрываются, а на соседних участках продолжаются работы по приему ТБО.

При этом в процессе эксплуатации полигона ТБО происходит естественное уплотнение массива отходов, что увеличивает плотность, а следовательно, и емкость массива, часть массы теряется с выходом биогаза из отходов.

Немаловажным является и то, что надзорными органами ведется контроль за условиями эксплуатации объектов захоронения отходов исходя из проектной емкости полигона, т.е. оператор не может продолжать эксплуатацию полигона без соответствующего обоснования, если масса завезенных отходов достигла значения проектной емкости. При этом не учитываются естественные потери массы отходов и процессы самоуплотнения. В большинстве случаев объем полигона на момент окончания эксплуатации не заполнен ввиду указанной выше миграции веществ с фильтратом и биогазом, а также увеличения плотности отходов. Уменьшение массы и объема отходов особенно ха-

рактарно для полигонов с системой рециркуляции фильтрата, поскольку в условиях повышенной влажности ускоряются процессы разложения отходов, а также интенсифицируется газообразование в массиве отходов.

В настоящее время определение проектной емкости полигона определяется в соответствии с рекомендациями «Инструкции...» [1], при этом емкость полигона рассчитывается исходя из геометрических параметров массива отходов, с учетом технологии эксплуатации полигона. Таким образом, существующая методика определения проектной емкости полигона не учитывает процессы самоуплотнения массива отходов, а также процессы потери вещества отходами с биогазом или фильтратом при биохимическом разложении.

Величина эмиссий биогаза зависит от характера физических, химических и биохимических процессов, протекающих в теле полигона, определяется сложившейся практикой управления полигоном, физико-химическими свойствами отходов и мощностью захоронения в целом, водным режимом, имеющим географические особенности района расположения полигона [3].

Нами была проведена оценка снижения массы отходов с выходом биогаза за стандартное время эксплуатации полигона и за весь период активного газообразования, а также возможности увеличения срока эксплуатации полигона с учетом заполнения освободившегося после выхода биогаза объема массива отходов.

Как известно, процесс разложения отходов во времени проходит ряд стадий, каждая из которых характеризуется определенным уровнем выхода биогаза. Биохимические процессы разложения имеют определенную стадийность и строго следуют один за другим. В реальном теле полигона соседствуют участки, находящиеся на разных стадиях разложения, и это значительно усложняет газоносную способность [5].

Таким образом, анаэробный процесс начинается на эксплуатационном этапе жизненного цикла и заканчивается на пострекультивационном, проходя следующие стадии развития (рис. 1):

1) адаптационную – с периодом формирования рабочего тела, когда в течение первых 2–7 лет после начала эксплуатации начинаются процессы метаногенеза. Этот этап характеризуется изменением рН фильтрата с 6 до 7–8 [4];

2) экспоненциального развития, 12–17 лет (с момента, когда условия метаногенеза сложились, рН фильтрата установилась на уровне 8, до максимального выхода биогаза);

- 3) стабилизационную, при постоянном потоке биогаза (25–30 лет с момента закрытия);
- 4) затухания анаэробных процессов, снижения потока биогаза до безопасных концентраций по метану;
- 5) биологической инертности [4].

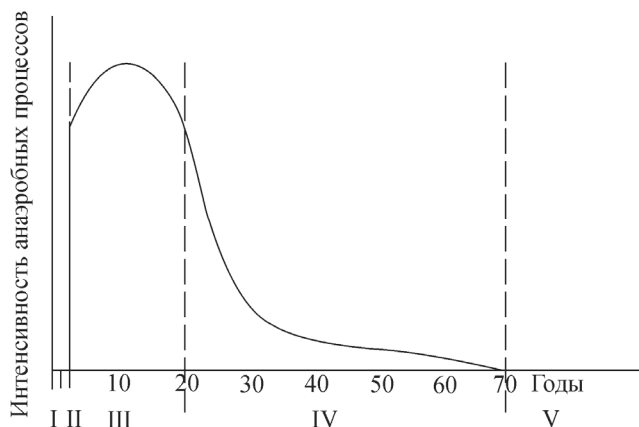


Рис. 1. Стадии развития анаэробного процесса в толще свалки:
I – адаптационная; II – экспоненциального развития; III –
стабилизационная; IV – затухания; V – биологической инертности

Процесс образования биогаза может длиться десятки и сотни лет, но фаза, в которой он усиленно образуется, ограничивается 10–30 годами. Период стабилизации газовыделения наступает после двухлетней выдержки отходов в толще полигона.

Таким образом, со временем процесс метаногенеза по мере разложения отходов затухает. Поэтому чем больше времени прошло с момента закрытия полигона, тем ниже уровень метанообразования.

Расчет выхода биогаза был выполнен для условий Пермского края для полигона N, с среднегодовым количеством поступающих на полигон отходов 100 тыс. т.

Расчет выбросов биогаза производился в соответствии с «Методикой расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов» (Москва, 2004).

В качестве исходных данных для расчета использовались следующие значения:

- содержание органической составляющей в отходах (R) – 55 %;

- содержание жироподобных веществ в органике отходов (Ж) – 2 %;
- содержание углеводородных веществ в органике отходов (У) – 83 %;
- содержание белковых веществ в органике отходов (Б) – 15 %;
- средняя влажность отходов – 47 %;
- срок эксплуатации полигона – 20 лет;
- количество поступающих на захоронение отходов – 100 тыс. т/год.

Результаты расчетов выброса биогаза для определенных выше условий представлены в таблице.

Результаты расчетов выброса биогаза

Год	Поступление отходов, т/год	Объем выхода биогаза, т	Год	Поступление отходов, т/год	Объем выхода биогаза, т
1	100000	0	28	0	10300
2	100000	0	29	0	10300
3	100000	515	30	0	10300
4	100000	1030	31	0	10300
5	100000	1545	32	0	10300
6	100000	2060	33	0	10300
7	100000	2575	34	0	10300
8	100000	3605	35	0	10300
9	100000	3605	36	0	9785
10	100000	4120	37	0	9270
11	100000	4635	38	0	8755
12	100000	5150	39	0	8240
13	100000	5665	40	0	7725
14	100000	6180	41	0	7210
15	100000	6695	42	0	6695
16	100000	7210	43	0	6180
17	100000	7725	44	0	5665
18	100000	8240	45	0	5150
19	100000	8755	46	0	4635
20	100000	9270	47	0	4120
21	0	9785	48	0	3605
22	0	10300	49	0	3090
23	0	10300	50	0	2575
24	0	10300	51	0	2060
25	0	10300	52	0	1545
26	0	10300	53	0	1030
27	0	10300	54	0	515
			55	0	0

Удельный выход биогаза за период активного его выделения составил 0,17 кг/кг отх.

$$Q_w = 10^{-6} R(100-W)(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б) = 0,17 \text{ кг/кг отх.}$$

Период активного выделения биогаза составил 33 года.

$$t_{\text{сбр}} = \frac{10\,248}{T_{\text{тепл}} \cdot (t_{\text{ср.тепл}})^{0,301966}},$$

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

$T_{\text{тепл}}$ – продолжительность теплого периода года в районе полигона ТБО и ПО, дн.;

10 248 и 0,301966 – удельные коэффициенты, учитывающие биотермическое разложение органики.

Количественный выход биогаза за год, отнесенный к 1 т захороненных отходов, составил 5,15 кг/т отх. в год.

$$P_{\text{уд}} = \frac{Q_w}{t_{\text{сбр}}} \cdot 10^3 \text{ кг/т отх. в год.}$$

Исходя из представленных расчетов в период эксплуатации полигона (20 лет) улетучивается с биогазом 88 500 т, следовательно, емкость полигона увеличивается на 4,4 %.

По данным таблицы, максимальный выход биогаза приходится на 22–35 года после начала эксплуатации полигона.

За весь период активного разложения отходов с биогазом улетучится 340 415 т, т.е. 17 % всей массы полигона.

Таким образом, даже при сроке эксплуатации 20 лет проектный объем массива отходов не будет достигнут при фактическом плановом поступлении отходов. За 20 лет эксплуатации освободится 4,4 % всей массы завезенных отходов, что позволит эксплуатировать объект 1 дополнительный год для достижения проектной отметки (рис. 2).

При этом общее увеличение срока эксплуатации объекта захоронения отходов в пределах проектной емкости может составить 3,5 года, и это без учета миграции вещества с фильтратом и процессов самоуплотнения массива отходов. Основным физическим параметром ТБО для определения изменения плотности является компрессионная характеристика, т.е. зависи-

мость степени уплотнения ТБО от давления. По экспериментальным данным при давлении 0,3–0,5 МПа объем ТБО уменьшается в 5–8 раз, плотность возрастает до 0,8–1 т/м³. При повышении давления до 1,0–2,0 МПа происходит интенсивное выделение влаги, объем ТБО снижается еще в 2–2,5 раза при увеличении плотности в 1,3–1,7 раза.



Рис. 2. Доля емкости полигона, освобождающаяся за счет выхода биогаза

Убыль массы отходов сопровождается увеличением их плотности и снижением влажности, так как перерабатывается на биогаз прежде всего легкая органика с рыхлой структурой и высокой влажностью [1].

Методика определения потери объема массива отходов в настоящее время отсутствует. Следовательно, расчеты проектной емкости, выполненные в соответствии с «Инструкцией...» [1], не позволяют достаточно эффективно использовать отведенную и оборудованную для захоронения отходов площадку.

Таким образом, по результатам расчетов установлено, что за стандартный период эксплуатации полигона (20 лет) освобождается 4,4 % емкости полигона за счет выхода биогаза. Однако максимальный выброс биогаза приходится на период, который в большинстве случаев относится к постэксплуатационному (22–35 лет после начала эксплуатации). Общее снижение массы отходов и, соответственно, потенциальное увеличение емкости полигона составляет 17 % от массы отходов, завезенных в течение 20 лет эксплуатации. Расчетный выход биогаза составил 170 кг с 1 т отходов.

Библиографический список

1. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для ТБО / АКХ им. К.Д. Памфилова. – М., 1998. – 63 с.
2. Reitzel S., Faquhar G., McBean E. Temporal characterization of municipal solid waste leachate // *Can. J. Civ. Eng.* – 1992. – № 19. – P. 668–679.
3. Cooper C.D., Reinhart D.R., Rash F. Landfill gas emissions. Report / Florida center for solid and hazardous waste management. – US EPA, 1992. – 130 p.
4. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов / Я.И. Вайсман [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 258 с.
5. Вайсман Я.И., Вайсман О.Я., Максимова С.В. Управление метаногенезом на полигонах ТБО / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. – Пермь, 2003. – 232 с.

References

1. Instruktsia po proektirovaniu, ekspluatatsii i recultivatsii poligonov TBO [Instruction of landfill design, operation and recultivation]. Akademia kommunalnogo hozaystva imeni K.D. Pamfilova. Moscow, 1998. 63 p.
2. Reitzel S., Faquhar G., McBean E. Temporal characterization of municipal solid waste leachate. *Can. J. Civ. Eng.*, 1992, no. 19, pp. 668–679.
3. Cooper C.D., Reinhart D.R., Rash F. Landfill gas emissions. Report. Florida center for solid and hazardous waste management, US EPA, 1992. 130 p.
4. Vaisman Ya.I. [et al.] Upravlenie othodami. Stochnie vodi i biogas poligonov zahoroneniya tverdykh bitovih othodov [Sewage and biogas of the landfill disposal of solid waste]. Perm: Izd-vo Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 2012. 258 p.
5. Vaisman Ya.I., Vaisman O.Ya., Maksimova S.V. Upravlenie metanogenezom na poligonakh tverdykh bytovykh otkhodov [Management of Methanogenesis in landfills disposal of solid waste]. Perm: Izd-vo Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 2003. 232 p.

Получено 20.05.2013

T. Voronkova, M. Viskov

**CHANGES OF LANDFILL CAPACITY
AND LIFETIME WITH A GLANCE
OF BIOGAS MIGRATION**

At present the determination of landfill service life is carrying out without assessment of reduction of the waste mass. The reduction of the mass is a result of waste biodegradation with migration of substances with biogas and leachate. The article deals with the stages of biogas generation, the estimation of biogas emission for Perm region conditions and standard scheme of operation. The estimation of weight reduction of waste in period of landfill's life cycle and the ability to extend the life of the landfill with the filling of vacant space are considered in the article.

Keywords: landfill, biogas, lifetime.

Воронкова Татьяна Владимировна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: tatiana.voronkova@yandex.ru).

Висков Михаил Владимирович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: eco@pstu.ru).

Voronkova Tatiana (Perm, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Environment Protection, Perm National Research Politechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: tatiana.voronkova@yandex.ru).

Viskov Michael (Perm, Russian Federation) – assistant of Environment Protection, Perm National Research Politechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: mihail_viskov@list.ru).