

Опасность взрыва облака биогаза, образующегося на полигонах твердых бытовых отходов

Б.С. Мاستрюков, д-р техн. наук, профессор
А.А. Блинова, инженер

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

e-mail: mastrukov@yandex.ru

Ключевые слова:
полигон,
твердые бытовые отходы,
биогаз,
взрыв.

При анализе негативных факторов полигонов твердых бытовых отходов редко учитывается опасность взрыва облака биогаза, образующегося при разложении органической части отходов. В статье проанализирована динамика образования биогаза в зависимости от особенностей предварительной сортировки отходов, распространения образующегося газозвдушного облака с учетом времени жизни полигона, времени года и класса устойчивости атмосферы. При дефлаграционном взрыве облака существует реальная опасность разрушения домов и гибели людей в поселках, прилегающих к полигону. Частота взрыва газозвдушных облаков оценена на уровне $7,87 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Экологическая обстановка в городах с высокой плотностью населения во многом зависит от состояния системы санитарной очистки от непромышленных отходов, главным образом твердых бытовых отходов (ТБО). Захоронение ТБО на специальных полигонах или свалках стало традиционным для России способом удаления отходов. При этом опасность для всех компонентов окружающей среды (человека, воздушного пространства, почвы, растительности и животных) даже на значительном расстоянии от места захоронения сохраняется на долгое время, исчисляемое десятками лет после прекращения захоронения.

С эксплуатацией полигонов ТБО связан ряд негативных факторов:

- для полигона ТБО необходимы огромные площади;
- при разложении ТБО образуется неприятный запах, который мешает жителям близлежащих городов и поселков;
- существует опасность возгорания свалок с образованием шлейфа продуктов горения;
- образующийся биогаз диффундирует в почве, проникает в подпольях зданий и сооружений, создавая угрозу взрыва;

- негативное воздействие на окружающую природную среду, в том числе усиление парникового эффекта;
- на полигонах живут мелкие грызуны (крысы, мыши) и т.д.

До настоящего времени проблема взрывоопасности газовых выделений полигонов ТБО практически не исследовалась, хотя образующийся в результате разложения органической части отходов биогаз состоит из метана (40–70 %) и диоксида углерода (30–45%). Состав биогаза различных полигонов заметно отличается в зависимости от объема и качества депонированных отходов, географических условий района расположения полигона, конструкции основания и покрытия полигона, возможности доступа кислорода к отходам, высоты складирования отходов, условий их уплотнения, интенсивности процессов разложения. Интенсивность генерации биогаза различается не только по высоте, но и по площади полигонов и свалок. Активные метаногенерирующие зоны могут находиться в разных местах свалочного тела в зависимости от возраста тех или иных участков [1].

Основным компонентом биогаза является метан, именно он влияет на взрывоопасность. Большинство методик и программ расчета количественных пока-

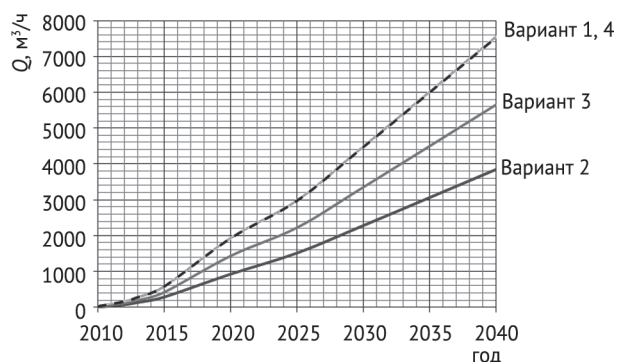


Рис. 1. Скорость образования метана в зависимости от варианта сортировки и года начала размещения ТБО

зателей объема, скорости образования, взрывоопасности и т.п. разработаны для однокомпонентных газов, поэтому при исследовании взрывоопасности полигона ТБО учитывалось только влияние метана. На наш взгляд, такое допущение корректно, поскольку использованная в данной работе методика [2] учитывает переход от биогаза к метану. Скорость образования метана V_{CH_4} (нм³/год) определяется по формуле:

$$V_{CH_4} = (1 - \omega) \cdot L_0 \cdot M_{бр} \cdot \tau_i \cdot k \cdot e^{-k(\tau - \tau_i)}, \quad (1)$$

где: ω — влажность отходов, поступающих на полигон, доли ед.; L_0 — метановый потенциал отходов нм³/т; $M_{бр}$ — среднегодовое накопление массы отходов, т; τ_i — расчетный год эксплуатации полигона; k — константа разложения, равная 0,072.

При расчете по формуле (1) учитывается влияние сортировки отходов на образование метана:

- вариант 1: складирование отходов на вновь созданный полигон без сортировки;
- вариант 2: отсортировка из общей массы отходов, поступающих на полигон, бумаги, текстиля, кожи, резины;
- вариант 3: отсортировка только пищевых отходов на компост до вывоза на полигон;

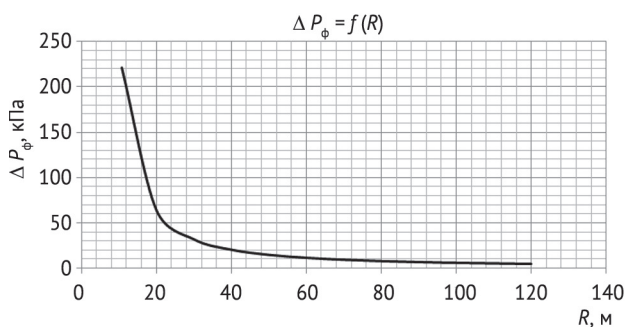


Рис. 2. Избыточное давление ΔP_{ϕ} , кПа во фронте ударной волны в зависимости от удаления от эпицентра взрыва R , м

- вариант 4: отсортировка металла, стекла, пластика.

Проведен расчет для нового полигона с предполагаемым объемом складироваемых отходов 20 тыс. т/год. Время заполнения полигона 31 год. Результаты расчетов представлены на рис. 1.

Расчет распространения облака образующегося метана проводился с использованием методики «ТОКСИ+Risk» [4]. Поскольку методика [3] не предусматривает вариант площадного источника выделения метана, расчет по второму сценарию проведен исходя из предпосылки, что выход метана со всего полигона ТБО равен истечению через отверстие с площадью сечения, зависящей от площади выхода и плотности метана.

Проведены расчеты распространения облака метана при различном расходе, при разном времени эксплуатации полигона (1, 15 и 30 лет), разном времени года и классе устойчивости атмосферы. Установлено, что наибольшее значение концентрации метана в облаке имеет место на 30-й год эксплуатации полигона ТБО.

Протяженность зоны распространения высокой концентрации (ВКПР) составляет 25 м, низкой концентрации (НКПР) — 129 м и 50% от НКПР — 227 м. Согласно изложенной в [4] методике в рассматриваемых условиях имеет место дефлаграционное взрывное превращение метана со скоростью фронта пламени 62,44 м/с. Изменение избыточного давления на фронте ударной волны при взрыве 191,82 кг метана показано на рис. 2.

В зависимости от расположения конкретных объектов рядом с полигоном ТБО образующаяся ударная волна может привести к разрушению зданий, сооружений и травмированию людей. Показателен в этом отношении полигон ТБО «Левобережный», расположенный в Московской области в 50 м от поселка «Новокосино». Рассчитана возможная степень разрушения домов и количество пострадавших в поселке в случае взрыва биогаза на полигоне (табл. 1).

Таблица 1

Расчетные последствия возможного взрыва облака биогаза на полигоне «Левобережный»

| Домы, Степень разрушения | Количество домов | Люди | | |
|-----------------------------|------------------|-------|------------------|---------------------|
| | | Всего | Погибло, человек | Пострадало, человек |
| Полная | 7 | 28 | 8 | 20 |
| Сильная | 9 | 29 | 9 | 20 |
| Средняя | 11 | 5 | 4 | 1 |
| Слабая | 12 | 4 | 1 | 3 |
| Итого | 39 | 66 | 22 | 44 |

Примечание. При расчетах принято, что в поселке 42 дома, 50% из которых кирпичные, 50% — деревянные; все дома малоэтажные. В каждом доме проживает в среднем по 4 человека.

Таблица 2

**Частота взрыва облака биогаза
для различных источников взрыва**

| Источник | n^* | $W_{\text{ист}} = n/365, \text{ год}^{-1}$ | $W_{\text{взрыва}}, \text{ год}^{-1}$ |
|----------------------|-------|--|---------------------------------------|
| Искра на проводах | 2 | $5,5 \cdot 10^{-3}$ | $6,32 \cdot 10^{-6}$ |
| Большое пламя костра | 5 | $1,37 \cdot 10^{-2}$ | $1,57 \cdot 10^{-5}$ |
| Сварочные работы | 2 | $5,5 \cdot 10^{-3}$ | $6,32 \cdot 10^{-6}$ |
| Слесарные работы | 1 | $2,7 \cdot 10^{-3}$ | $3,1 \cdot 10^{-6}$ |

* n – число случаев возникновения источника воспламенения.

Столь трагические последствия возможны только при стечении ряда обстоятельств, определяющих вероятность этого события. К ним относятся распространение облака в сторону поселка и наличие источника воспламенения метана (искрение проводов электропередачи, костер, электросварочные работы и т.д.).

Вероятность взрыва облака метана равна

$$W_{\text{взрыва}} = W_{\text{в}} \cdot W_{\text{ист}}, \text{ год}^{-1}, \quad (2)$$

где: $W_{\text{в}}$ — вероятность юго-западного направления ветра (с полигона ТБО на поселок); $W_{\text{ист}}$ — вероятность наличия источника взрыва, год^{-1} .

По данным [5], вероятность юго-западного ветра в городе Москве составляет $0,1149 \text{ год}^{-1}$. Частота возникновения источников воспламенения облака метана приведена в табл. 2.

Средняя вероятность взрыва ($W_{\text{ср}}$) составит $7,87 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Вероятность возникновения взрыва облака биогаза, образующегося на полигонах ТБО при разложении складированных отходов, почти на порядок превышает величину приемлемого риска. Это необходимо учитывать при анализе вредных и опасных факторов полигонов ТБО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добыча биогаза на полигонах ТБО, его образование и утилизация. — М.: ГУП «Экотехпром», 1998.
2. Методические указания по расчету количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых отходов / НИИ «Экопром», АКХ им. Памфилова, 1995.
3. Программный комплекс ТОКСИ + Risk. Оценка риска и расчета последствий аварии на производственных объектах. Руководство пользователя. — М., 2010.
4. РД 03-409-01 Методика последствий аварийных взрывов топливо-воздушных смесей / Утв. постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.01 № 25.
5. Мастрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. — М.: АКАДЕМА, 2003.

REFERENCES

1. *Dobycha biogaza na poligonakh TBO, ego obrazovanie i utilizatsiya* [Production of biogas from landfills, his education and recycling]. Moscow, Ekotekhprom Publ., 1998.
2. *Metodicheskie ukazaniya po raschetu kolichestvennykh kharakteristik vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu ot poligonov tverdykh bytovykh otkhodov* [Guidelines for the calculation of the quantitative characteristics of the emission of pollutants into the atmosphere from landfills]. Ekoprom Publ., Academy of Municipal Economy named after Pam-filov Publ., 1995.
3. *Programmnyy kompleks TOKSI + Risk. Otsenka riska i rascheta posledstviy avarii na proizvodstvennykh ob"ektakh. Rukovodstvo pol'zovatelya* [Software package TOXI + Risk. Risk assessment and calculation of the consequences of accidents at work-objects. User Guide]. Moscow, 2010. 153 p.
4. RD 03-409-01 Metodika posledstviy avariynykh vzryvov toplivo-vozdushnykh smesey. Utv. postanovleniem Gosgortekhnadzora Rossii ot 26.06.01 № 25. [RD 03-409-01 Methods consequences of accidental explosions of fuel-air mixtures. Approved. agreement Gos-gortekhnadzor Russia from 26.06.01 № 25.] (in Russian)
5. Mastryukov B.S. *Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Safety in emergencies]. Moscow, ACADEMA Publ., 2003. 336 p.

Explosion Hazard of Biogas Cloud Formed at Solid Waste Landfills

B.S. Mastryukov, Doctor of Technical Science, Professor, State Technological Research University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Moscow

A.A. Blinova, Engineer, State Technological Research University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Moscow

Analysis of negative factors of solid waste (SW) landfills seldom includes explosion hazard of a biogas cloud formed by degradation of organic part of waste. The article analyses dynamics of biogas generation depending on characteristics of waste pre-sorting, gas-air cloud (GAC) distribution considering SW landfill lifetime, season and atmospheric stability class. Deflagration explosion poses actual danger of buildings destruction and life loss in settlements adjacent to the landfill. GAC explosion frequency rate is estimated $7,87 \cdot 10^{-6}$ per year.

Keywords: landfill, domestic solid wastes, biogas, explosion.