

Предлагаемая модель использована в разработке методики расчета выбросов вредных загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух в Республике Казахстан.

Применение данной модели выброса автомобиля позволяет производить расчет количества выбросов загрязняющих веществ автотранспортным средством в испытательных циклах. Это дает возможность при отсутствии дорогостоящего оборудования, без стендовых испытаний, аналитическим путем определить выбросы автомобиля и сравнить их со стандартами ЕВРО.

Например, по графику движения автомобиля по европейскому ездовому циклу путем численного интегрирования производится вычисление количества выбросов загрязняющих веществ и пройденный путь автомобиля за цикл и определяются удельные выбросы веществ на 1 км пути.

Данная схема расчета использована автором при разработке методов расчета вредных загрязняющих веществ автотранспортных средств в испытательных циклах по Правилам ЕЭК ООН [5,6].

Выводы:

1. Разработана аналитическая модель расчета выбросов от автотранспорта.
2. Возможно применение разработанной теории выброса автомобиля:
 - в методике расчета выбросов вредных загрязняющих веществ и парниковых газов автомобильного транспорта в Республике Казахстан;
 - в методике расчета количества выбросов вредных загрязняющих веществ автотранспортных средств в испытательных циклах по Правилам ЕЭК ООН.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЕМЕР/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2007. www.eea.europa.eu
2. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. – М.: Автополис-плюс, 2008. – 80 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания. В 3^х книгах. Кн.1. Теория рабочих процессов. Учебник для вузов. Луканин В.Н., Морозов К.А. и др Под редакцией Луканина В.Н. Москва, Высшая школа, 2005, 479 с.
4. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. Пос. для высшей школы. – М.: Академический Проект, 2004. – 400 с.
5. Джайлаубеков Е.А. Расчет и анализ выбросов вредных загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух в Республике Казахстан. Монография. КазАТК, 2010. – 158 с.
6. Джайлаубеков Е.А. Разработка модели и расчет количества выбросов вредных веществ автотранспортных средств в испытательном цикле по правилам ЕЭК ООН Вестник КазАТК, № 4, 2009г.

УДК 628.46:579.6

Джамалова Гуля Абаевна – к.с.-х.н., доцент (Алматы, КазНТУ)
Айкынбаев Ануар Ермакович – аспирант (Алматы, КазНТУ)

**ВЫБРОСЫ СВАЛОЧНОГО ГАЗА НА ПОЛИГОНЕ
КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

Количество выбросов загрязняющих веществ с Карасайского полигона коммунальных отходов (КО) г. Алматы зависит от значительного количества факторов: климатические условия; рабочая (активная) площадь полигона; сроки эксплуатации

полигона; количество захороненных отходов; мощность слоя складированных отходов; соотношение количеств завезенных бытовых и промышленных отходов; морфологический состав завезенных отходов; влажность отходов; содержание органической составляющей в отходах; содержание жироподобных, углеводородных и белковых веществ в органике отходов; технология захоронения отходов и др. [1]. Исследования на Карасайском полигоне коммунальных отходов (КО) Алматинской области проводились с 2005 по 2009 годы.

Расчет выбросов газообразных загрязняющих веществ в атмосферный воздух выполнен для нормального режима эксплуатации полигона КО.

Не учитываются выбросы от источников, не участвующих в процессе биогазообразования полигона:

- твердых и газообразных вредных веществ при работе автотранспортной и дорожной техники, а также выбросы твердых вредных веществ при складировании, перемещении и хранении отходов.

- аварийные выбросы от возгорания отходов на разных участках полигона.

При расчете выбросов полигона определяются следующие показатели биогаза: плотность (таблица 1) и концентрации компонентов (таблица 2).

Таблица 1 - Плотность наиболее вероятных компонентов биогаза

Наименование вещества	Плотность, кг/м ³	Наименование вещества	Плотность, кг/м ³
Метан	0.717	Формальдегид	0.815
Углерода диоксид	1.977	Ангидрид сернистый	2.930
Толуол	0.867	Этилбензол	0.867
Аммиак	0.771	Бензол	0.869
Ксилол	0.869	Сероводород	1.540
Углерода оксид	1.250	Фенол	1.071
Азота диоксид	1.490		

Таблица 2 - Результаты анализов проб биогаза Карасайского полигона КО Алматинской области

Компонент	С _i , мг/м ³	Компонент	С _i , мг/м ³	Компонент	С _i , мг/м ³
Метан	660908	Ксилол	5530	Этил бензол	1191
Углерода диоксид	558958	Углерода оксид	3148	Ангидрид сернистый	878
Толуол	9029	Азота диоксид	1392	Сероводород	326
Аммиак	6659	Формальдегид	1204		

Исходные данные для нового полигона (по аналогии характеристик отходов г. Алматы) с 2006 по 2009 г.г.:

1. Результаты анализов проб отходов, отобранных на полигоне:

- содержание органической составляющей в отходах, R=45%;
- содержание жироподобных веществ в органике отходов, G=2%;
- содержание углеводородных веществ в органике отходов, U=60%;
- содержание белковых веществ в органике отходов, B=14%;
- средняя влажность отходов W=45%.

2. Результаты анализов проб биогаза представлены в таблице 2.

При подсчете возможны два варианта.

Первый – полигон функционирует менее двадцати лет, т.е. менее периода полного сбраживания ($t_{сбр.}$). В этом случае учитываются все отходы, завезенные с начала работы полигона, за исключением отходов, завезенных в последние два года.

Второй – полигон функционирует более двадцати лет. В этом случае подсчитываются отходы, завезенные за последние двадцать лет или $t_{сбр.}$ без учета отходов, завезенных в последние два года.

Проектом предусмотрено функционирование полигона не менее 20 лет.

Ежегодно на полигон завозится 208.200 тонн отходов.

Удельный выход биогаза (кг/кг отходов) за период его активной стабилизированной генерации при метановом брожении определяется на основании анализов отбираемых проб (R, G, U и B) при условии абсолютно сухого вещества отходов по уравнению:

$$Q = 10^{-4} \times R \times (0.92 \times G + 0.62 \times U + 0.34 \times B), \quad (1)$$

где Q – удельный выход биогаза за период его активной генерации, кг/кг отходов; R – содержание органической составляющей в отходах, %; G – содержание жироподобных веществ в органике отходов, %; U – содержание углеводородных веществ в органике отходов, %; B – содержание белковых веществ в органике отходов, %.

Жиры и белки определяются по стандартным методикам аналитического анализа (жиры – экстрагированием, белки – с применением гидролиза) [2].

В реальных условиях отходы содержат определенное количество влаги, поэтому выход биогаза, отнесенный к единице веса реальных влажных отходов, будет меньше, чем отнесенный к той же единице сухих отходов в $10^{-2} (100-W)$ раз, так как в весовой единице влажных отходов, сухих отходов, генерирующих биогаз, будет всего $10^{-2} (100-W)$ от этой единицы, где W – фактическая влажность отходов в %, определенная анализами проб отходов.

Уравнение выхода биогаза при метановом брожении реальных влажных отходов:

$$Q_W = 10^{-6} \times R \times (100 - W) \times (0.92 \times G + 0.62 \times U + 0.34 \times B), \text{ кг / кг отх.}, \quad (2)$$

где множитель $10^{-2} (100-W)$ учитывает, какова доля абсолютно сухих отходов, для которых составлено уравнение (1), в общем количестве реальных влажных отходов.

Количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне отходов, определяется по формуле:

$$P_{\text{год}} = \frac{Q_W}{t_{сбр.}} \times 10^3, \text{ кг / т отходов в год}, \quad (3)$$

где $t_{сбр.}$ – период полного сбраживания органической части отходов, в годах, определяемый по приближенной эмпирической формуле:

$$t_{сбр.} = \frac{10248}{T_{\text{тепл.}} \times (t_{ср.тепл.})^{0.301966}}, \text{ лет}, \quad (4)$$

где $t_{ср.тепл.}$ – средняя из среднемесячных температура воздуха в районе Карасайского полигона г. Алматы за теплый период года ($t_{ср.мес.} > 0 \text{ } ^\circ\text{C}$), в $^\circ\text{C}$; $T_{\text{тепл.}}$ –

продолжительность теплого периода года в районе Карасайского полигона КО г. Алматы, в днях;

10248 и 0,301966 – удельные коэффициенты, учитывающие биотермическое разложение органики.

От морфологического состава отходов зависит интенсивность образования и выделения биогаза и в зависимости от него и от климатических условий, колеблется продолжительность периода стабилизированного активного выхода биогаза.

По формуле (2) определяем удельный выход биогаза за период активного его выделения:

$$Q_w = 10^{-6} \cdot 45 \cdot (100 - 45) \cdot (0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 60 + 0,3 \cdot 14) = 0,132495 \text{ кг/кг отходов.}$$

Период активного выделения биогаза на полигоне Карасайского КО Алматинской области ($t_{cp,менл.} = 14,2^\circ\text{C}$; $T_{менл.} = 245$ дня) составит по формуле (3.4):

$$t_{сбр} = \frac{10248}{245 \cdot (14,2)^{0,301966}} = 22 \text{ года}$$

По формуле (3) определяем количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне захороненных отходов:

$$P_{уд} = \frac{0,132495}{22} \cdot 10^3 = 6,0225 \text{ кг/т отходов в год}$$

Плотность биогаза определяется по формуле:

$$\rho_{б.г.} = 10^{-6} \sum_{i=1}^n C_i, \text{ кг/м}^3, \quad (5)$$

где C_i – концентрация компонентов в биогазе, в мг/м^3 .

Состав биогаза и концентрации компонентов в нем определяются анализами проб биогаза, отобранных в ряде точек по площади полигона на глубине 1,0–1,5 метра (количество и расположение точек отбора зависит от активной площади полигона и числа разнородных участков) путем отсоса биогаза и дальнейших его химических анализов по существующим утвержденным методикам.

Для полигонов складирования осадков сточных вод и активного ила в случае обнаружения в выбросах биогаза смеси природных меркаптанов, нормируемой по этилмеркаптану (этантиолу), последний также включается в перечень ингредиентов биогаза и пробы биогаза анализируются на концентрацию в нем этил меркаптана.

Рассчитанная плотность биогаза: $\rho_{б.г.} = 10^{-6} \times 1249223 = 1,249 \text{ кг/м}^3$

Используя полученные анализами концентрации компонентов в биогазе и рассчитанную его плотность, определяют весовое процентное содержание этих компонентов в биогазе:

$$C_{вес.i} = 10^{-4} \frac{C_i}{\rho_{б.г.}}, \%, \quad (6)$$

где C_i – концентрации компонентов в биогазе, в мг/м^3 ; $\rho_{б.г.}$ – плотность биогаза, кг/м^3 .

По формуле (6) определяют весовое процентное содержание компонентов в биогазе (диоксид углерода как ненормируемое вещество из дальнейшего рассмотрения исключается), результаты представлены в таблице 3:

Таблица 3- Содержание компонентов в биогазе, образующемся на полигоне КО (масс, %)

Компонент	C _{вес.і} , %	Компонент	C _{вес.і} , %	Компонент	C _{вес.і} , %
Метан	52,915	Углерода оксид	0,252	Ангидрид сернистый	0,070
Толуол	0,723	Азота диоксид	0,111	Сероводород	0,026
Аммиак	0,533	Формальдегид	0,096		
Ксилол	0,443	Этил бензол	0,095		

По рассчитанным количественному выходу биогаза за год, отнесенному к одной тонне отходов (формула 3) и весовым процентным содержаниям компонентов в биогазе (формула 6) определяются удельные массы компонентов, выбрасываемые в год, по формуле:

$$\rho_{уд.к.} = \frac{C_{вес.і} \times \rho_{уд.}}{100}, \text{ кг / т отходов в год} \quad (7)$$

При использовании расчетного метода инвентаризации выбросов действующего полигона и при проектировании нового или расширении существующего полигона, КО могут принимать среднестатистический состав биогаза, представленный в таблице 4, рекомендуемый при проектировании.

Таблица 4 - Среднестатистический состав биогаза

Компонент	C _{вес.і} %	Компонент	C _{вес.і} %
Метан	52,915	Азота диоксид	0,111
Толуол	0,723	Формальдегид	0,096
Аммиак	0,533	Этилбензол	0,095
Ксилол	0,443	Ангидрид сернистый	0,070
Углерода оксид	0,252	Сероводород	0,026

Для расчета величин выбросов подсчитывается количество активных отходов, стабильно генерирующих биогаз, с учетом того, что период стабилизированного активного выхода биогаза в среднем составляет двадцать лет и что фаза анаэробного стабильного разложения органической составляющей отходов наступает спустя в среднем два года после захоронения отходов, т.е. отходы, завезенные в последние два года, не входят в число активных.

По формуле (7) определяем удельные массы компонентов биогаза, выбрасываемые за год; результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Удельная масса компонентов биогаза

Компонент	$\rho_{уд.}$, кг/т отходов в год	Компонент	$\rho_{уд.}$, кг/т отходов в год
Метан	4,504019	Азота диоксид	0,009448
Толуол	0,061540	Формальдегид	0,008171
Аммиак	0,045368	Этил бензол	0,008086
Ксилол	0,037707	Ангидрид сернистый	0,005958
Углерода оксид	0,021450	Сероводород	0,002213

Активно вырабатывают биогаз отходы, завезенные на полигон за период с начала его работы (1990 г.) до момента расчета (конец 2009 г.) минус последние два года, т.е. за 19 лет: $208200 \cdot 19 \cdot 16 = 3331200$ тонн.

Суммарный максимальный разовый выброс биогаза с полигона определяется по формуле:

$$M_{сек.сум.} = \frac{\rho_{уд.} \times \sum D}{86.4 \times T_{тепл.}}, \text{ г/с}, \quad (8)$$

Расчет: Суммарный максимальный разовый выброс биогаза полигона составит (формула 3.8):

$$M_{сум} = \frac{6,0225 \cdot 3331200}{86,4 \cdot 245} = 947,75 \text{ г}$$

Максимальные разовые выбросы *i*-го компонента биогаза с полигона определяются по формуле:

$$M_{сек.i} = 0.01 \times C_{вес.i} \times M_{сек.сум.}, \text{ г/с}, \quad (9)$$

где $\sum D$ – количество активных стабильно генерирующих биогаз отходов, т; $T_{тепл.}$ – продолжительность теплого периода года в районе полигона КО, в днях; $C_{вес.i}$ – определяется по формуле (6) или по таблице 4.

Расчет по формуле (9) по компонентам (без CO_2) показан ниже. Результаты в таблице 6.

Таблица 6 - Максимальные разовые выбросы *i*-го компонента биогаза (без CO_2)

Компонент	Мсек, г/с	Компонент	Мсек, г/с
Метан	622,73805	Азота диоксид	1,30632
Толуол	8,50873	Формальдегид	1,12979
Аммиак	6,27269	Этил бензол	1,11802
Ксилол	5,21351	Ангидрид сернистый	0,82381
Углерода оксид	2,96570	Сероводород	0,30598

Биогаз образуется неравномерно в зависимости от времени года. При отрицательных температурах процесс "мезофильного сбраживания" (до $-55^\circ C$) органической части КО прекращается, происходит т.н. "законсервирование" до наступления более теплого периода года ($t_{ср.мес.} > 0^\circ C$) [3].

Приведенная формула (8) справедлива для случая обследования полигона и отбора проб биогаза в теплое время года ($t_{ср.мес.} > 8^\circ C$). При обследовании в более холодное время года ($0 < t_{ср.мес.} \leq 8^\circ C$), что нецелесообразно хотя бы из-за дополнительных погрешностей измерений, в формуле следует применять повышающий коэффициент неравномерности образования биогаза 1,3.

С учетом коэффициента неравномерности суммарный валовый выброс биогаза с полигона определяется по формуле:

$$M_{год.сум.} = M_{сек.сум.} \left(\frac{\alpha \times 365 \times 24 \times 3600}{12} + \frac{\beta \times 365 \times 24 \times 3600}{12 \times 1.3} \right) \times 10^{-6}, \text{ т/год}, \quad (10)$$

$$M_{год.сум.} = 1176,865 \times \left(\frac{5 \times 365 \times 24 \times 3600}{12} + \frac{3 \times 365 \times 24 \times 3600}{12 \times 1,3} \right) \times 10^{-6} = 22601,237 \text{ т/год}$$

при $\alpha = 5$ мес; $\beta = 3$ мес.

Валовые выбросы i -го компонента биогаза с полигона определяются по формуле:

$$M_{год.i} = 0.01 \times C_{вес.i} \times M_{год.сум}, \text{ т / год}, \quad (11)$$

Результаты расчета по формуле 11 по компонентам (без CO_2) показаны ниже, в таблице 7.

Таблица 7- Валовые выбросы i -го компонента биогаза с полигона (без CO_2)

Компонент	М год, т/год	Компонент	М год, т/год
Аммиак	163,41	Формальдегид	25,08
Ксилол	120,46	Этилбензол	21,69
Углерода оксид	100,12	Ангидрид сернистый	21,47
	56,96	Сероводород	5,87

Примечание: α и β в формуле (10) соответственно периоды теплого и холодного времени года в месяцах (α при $t_{ср.мес.} > 8^\circ C$; β при $0 < t_{ср.мес.} \leq 8^\circ C$).

Таким образом, суммарный максимально разовый выброс составил 947,5 г/с, суммарный валовый выброс биогаза составил 22601,24 т/год.

Выводы:

Результаты анализов проб биогаза показали, что C_i , $мг/м^3$ – фактическая концентрация загрязняющих веществ i -го компонента, наиболее высокая для метана, а наименьшая C_i , $мг/м^3$ – для сероводорода. При использовании расчетного метода инвентаризации выбросов действующего полигона и при проектировании нового или расширении существующего полигона, коммунальные отходы могут принимать среднестатистический состав биогаза, рекомендуемый при проектировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нуркеев С.С., Арганчеева А.Г., Утегулов Н.И. Проблемы обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов /Труды VII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности» (охрана труда, экология, валеология, защита человека в ЧС, токсикология, экономические аспекты БЖД). Алматы, КазНТУ, т. II. 2005, с. 48 - 55.
2. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник, т.3. Калуга, Издательство Бочкаревой Н. 2003, 1024 с.
3. Мирный А.Н., Скворцов Л.С., Пупырев Е.И., Корецкий В.Е. Коммунальная экология: Энциклопедический справочник. М., Прима-Пресс, 2007, 806 с.