

УДК 504.064.36:504.064.38

МОНИТОРИНГ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ: ТЕХНОЛОГИИ, ВЫЗОВЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Штанг А.А., Уваров Р.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук Уваров Р.А.
(Университет ИТМО)

Введение. В последние годы активно обсуждается влияние антропогенных короткоживущих климатически активных газов. К ним относятся четыре типа веществ – метан, тропосферный озон, гидрофторуглероды и чёрный углерод. В отличие от долгоживущих парниковых газов (время их жизни 100 и более лет), короткоживущие парниковые агенты не способны к продолжительной циркуляции в системе атмосфера – океан – экосистемы суши. Поэтому сокращение объема их выбросов может сказаться на их содержании в атмосфере сравнительно быстро – на временах порядка 10 лет и менее [1]. Из всех доступных вариантов обращения с твердыми отходами, длительное выдерживание на полигонах является наиболее распространенным методом во всем мире. Негативное воздействие полигонов захоронения ТКО связано с интенсивным протеканием в толще отходов физико-химических и биохимических процессов, результатом чего является разложение сложных органических веществ и образование эмиссии загрязняющих веществ [2]. Мониторинг выбросов климатически активных газов является критически важным для разработки эффективных стратегий снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Основная часть. В качестве объекта исследования выбран уровень концентрации климатически активных газов (КАГ), возникающих при хранении и переработке органических отходов. Для их измерения используются представленные на рынке портативные газоанализаторы. В качестве основных источников определения количественных значений выбросов КАГ использованы материалы исследований, проведенных в лабораторных и производственных условиях [3].

В развитие Федерального закона № 296-ФЗ от 02.07.2021 "Об ограничении выбросов парниковых газов" было принято Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2979-р, утвердившее перечень климатически активных газов) с пересчетом их вклада в парниковый эффект через условные углеродные единицы. В данном документе приведено 33 вещества. Среди них газы – макрокомпоненты атмосферы, давно признанные в качестве парниковых – метан (CH_4), диоксид углерода (CO_2), закись азота (N_2O), трифторид азота (NF_3) и гексафторид серы (SF_6), а также более двух десятков других газов под общим названием фреоны или хладоны (гидрофторуглероды и перфторуглероды). Их выделение в атмосферу происходит как в результате естественных процессов, так и в ходе антропогенной деятельности, в том числе при утилизации отходов.

С ростом численности населения и образования отходов на душу населения образование твердых коммунальных отходов (ТКО) резко возросло [4]. Свалки и мусороперерабатывающие полигоны стали важным фактором антропогенного изменения климата, на их долю приходится около 5% глобальных выбросов парниковых газов (ПГ) [5]. Средние значения концентраций газов, возникающих при утилизации ТКО: $\text{CO}_2 = 12000\text{-}185000 \text{ мг/м}^3$, $\text{CH}_4 = 6000\text{-}12 \cdot 10^6 \text{ мг/м}^3$, $\text{N}_2\text{O} = 18000\text{-}115000 \text{ мг/м}^3$.

Современные методы мониторинга выбросов КАГ делятся на дистанционные и контактные. Среди дистанционных технологий активно применяются спутниковый мониторинг и лазерная спектроскопия, позволяющие фиксировать концентрацию газов в атмосфере. В качестве контактных методов используются газоанализаторы на полигонах и системах очистки, позволяющие проводить детальный анализ состава выбросов. Портативные газоанализаторы являются наиболее компактным и легко переносимым устройством, предназначенным для мониторинга качества воздуха и обнаружения различных газов в

локальных точках окружающей среды. Они удобны для проведения измерений в различных местах, используя датчики или сенсоры, способные определять и измерять концентрацию газов в воздухе.

Наиболее распространённые портативные газоанализаторы, представленные на рынке: *Элан Плюс* (измеряющий до восьми различных газов одновременно), переносной газоанализатор *Honeywell GasAlertMicroClip XL* (предназначенный для контроля до четырех газов одновременно), газоанализатор *ТОП-СЕНС 380* (способный обнаруживать до шести различных газов, включая горючие, ядовитые вещества, кислород и летучие органические соединения), портативный газоанализатор *ЛИДЕР 041* (позволяющий контролировать от одного до четырех газов одновременно), *ЭРИС-414* (портативный четырехканальный газоанализатор), из перечня КАГ измеряют лишь концентрации углекислого газа и метана в диапазонах CO_2 0-91286 мг/м³, CH_4 0-14639 мг/м³. Наибольшее количество загрязняющих веществ измеряет *ГАНК-4*, от 20 различных газов, в том числе и основные КАГ, диапазон измерений CO_2 0-91286 мг/м³, CH_4 0-14639 мг/м³, N_2O 1 - 10 мг/м³, NF_3 0,2 - 8 мг/м³, SF_6 10 - 12000 мг/м³.

Несмотря на существующие технологии, процесс мониторинга КАГ сталкивается с рядом сложностей: высокая стоимость оборудования и его обслуживания, необходимость калибровки и регулярного обновления данных, а также различные климатические и топографические условия, влияющие на точность измерений.

Будущее мониторинга КАГ на полигонах ТКО связано с развитием технологий искусственного интеллекта и интернета вещей (IoT). Применение автономных систем, объединенных в единую сеть, позволит получать данные в реальном времени и оперативно реагировать на изменения. Внедрение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с газоанализаторами расширит возможности контроля в труднодоступных районах. Кроме того, развитие методов прогнозирования выбросов с использованием машинного обучения поможет снижать эмиссии на стадии планирования процессов утилизации.

Выводы. Проведен анализ концентраций КАГ, возникающих при хранении и переработке отходов. Рассмотрены основные модели портативных газоанализаторов, измеряющих метан и углекислый газ, представленные на рынке. Установлено, что остаются вызовы, связанные с высокой стоимостью оборудования, необходимостью его регулярного обслуживания и адаптации к различным условиям эксплуатации. Таким образом, развитие и внедрение технологий мониторинга КАГ позволит более эффективно управлять отходами и разрабатывать стратегии по снижению антропогенного воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

Список использованных источников:

1. Al-Yousfi A. B., Pohland F. G. Strategies for simulation, design, and management of solid wastes disposal sites as landfill bioreactors //Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management. – 1998. – Т. 2. – №. 1. – С. 13-21.
2. Ахтямов, С. А. Энергоэффективные технологии использования биогаза, полученного путем генерации полигоном твердых коммунальных отходов / С. А. Ахтямов // Импортозамещение, научно-техническая и экономическая безопасность : сборник статей V Международной научно-технической конференции «Минские научные чтения-2022», Минск, 7-9 декабря 2022 г. – Минск: БГТУ, 2022. – Т. 3. – С. 35-40.
3. Clemens J., Cuhls C. Greenhouse gas emissions from mechanical and biological waste treatment of municipal waste //Environmental technology. – 2003. – Т. 24. – №. 6. – С. 745-754.
4. Andreottola G., Cossu R., Ritzkowski M. Landfill gas generation modeling // Solid waste landfilling. Concepts, Processes, Technologies; Eds R. Cossu, R. Stegmann. Amsterdam: Elsevier, 2019. P. 419-437.
5. Kamalan H., Sabour M.R., Shariatmadari N. A Review on Available Landfill Gas Models // Journal of Environmental Science and Technology. 2011. Vol 4(2). P. 79-92.