УДК 620.91

ДЕГАЗАЦИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Садчиков А.В.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: post@mail.osu.ru

В данной статье рассмотрены: Проблемы увеличения годового объема образования твердых коммунальных отходов в России и мире. Особенности образования и накопления свалочного газа. Состав свалочного газа. Экологические последствия эмиссии свалочного газа. Актуальность дегазации полигонов твердых коммунальных отходов. Способы утилизации свалочного газа, известные из мировой практики. Проблемы использования средств и методов дегазации полигонов твердых коммунальных отходов. Основные направления мероприятий по рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов. Технические решения, предлагаемые для повышения эффективности сжигания свалочного газа и биогаза метантенков. Масштабы газообразования. Результаты глобальной оценки потока свалочного метана. Особенности коммерческого использования свалочного газа в современных условиях. Виды негативного влияния СГ. Потенциал использования биогазовых установок на свалочном газе.

Ключевые слова: свалочный биогаз, полигоны твердых коммунальных отходов, дегазация полигонов ТКО

DEGASSING OF LANDFILL SITE OF MUNICIPAL SOLID WASTE

Sadchikov A.V.

Orenburg State University, Orenburg, e-mail: post@mail.osu.ru

In this article: Problems increase in the annual volume of solid municipal waste in Russia and worldwide. Features of the formation and accumulation of landfill gas. The composition of the landfill gas. Environmental impacts of landfill gas emissions. The urgency of the degassing of municipal solid waste landfills. Methods of landfill gas, known in the world practice. Problems of the use of funds and decontamination methods of municipal solid waste landfills. The main directions of activities for the rehabilitation of municipal solid waste. The technical solutions proposed to improve the efficiency of combustion of landfill gas and biogas digesters. The extent of gassing. The results of the global assessment of landfill methane flux. Features commercial use of landfill gas in the present conditions. Forms of the negative impact of the SG. The potential use of biogas plants on landfill gas.

Keywords: landfill gas, municipal solid waste, decontamination of MSW-landfill

Мировой рост производства и потребления в настоящее время к приводит к резкому возрастанию объемов образования бытовых отходов, которые в соответствии с действующим Федеральным законом Российской Федерации от 29.12.2014 № 458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» определяются термином «твердые коммунальные отходы» (принятая сокращенная аббревиатура ТКО) [10]. В последние десятилетия годовой выброс ТКО в биосферу достигает объема $400 \cdot 10^6$ тонн. Это вызывает искажение естественных биогеохимических циклов планеты, и в первую очередь оборота органического углерода. Годовой объем поступления органического углерода в окружающую среду с отходами превышает сегодня $85 \cdot 10^6$ тонн, это более чем вдвое превышает годовой объем природного притока этого биофильного элемента в биосферу планеты [2].

Актуальность проблемы

Наиболее популярным в настоящее время способом удаления твердых коммунальных отходов в большинстве стран мира является захоронение в верхних слоях геосферы. Здесь отходы разлагаются под действием интенсивных биохимических процессов, в результате которых в больших объемах образуются газовые смеси, объединенные термином «свалочный газ» (принятая сокращенная аббревиатура СГ).

Выбросы свалочных газов в окружающую среду приводят к ряду негативных последствий на всех уровнях локализации. Для их ликвидации и предупреждения в большинстве развитых мировых государств проводятся целенаправленные мероприятия по снижению выбросов СГ в атмосферу. Благодаря этому добыча и утилизация свалочного газа выделяется сегодня в отдельную самостоятельную отрасль мировой индустрии.

Фракционный состав ТКО

Значительная часть фракционных компонентов ТКО представлена большим разнообразием органических и синтетических материалов. Пищевые отходы, бумага и текстиль рассматриваются как основные фракционные группы. Их соотношение зависит от ряда факторов, к которым относятся прежде всего уровень экономического развития государства, его географическое положение и сложившийся менталитет. Так, например, доля органических компонентов ТКО

составляет около 56 процентов в развитых странах и около 62 процентов – в развивающихся. Для древесных отходов распределение доли в общем объеме ТКО в развитых и развивающихся странах составляет соответственно 61 процент и 69 процентов.

Процессы, протекающие в теле полигона

В местах сбора и хранения ТКО, где находится свыше 80 процентов общего объема отходов, естественным образом создаются анаэробные условия, в которых происходит биологическая конверсия органики при участии метанобразующего консорциума микроорганизмов, который представляет собой некую трофическую цепочку. В процессе жизнедеятельности бактерий в анаэробных условиях образуется свалочный биогаз, который представляет собой газовую смесь метана, углекислого газа и некоторых других газов.

Факторы, влияющие на интенсивность газообразования

По результатам многочисленных исследований есть основания полагать, что в среднем интенсивное газовыделение наблюдается в теле полигона на протяжении 10÷50 лет, при этом величина газовыделений обычно составляет от 120 до 200 кубометров с одной тонны ТКО. Упрощенное стехиометрическое уравнение реакции процесса анаэробного разложения органики выглядит следующим образом:

$$n\ C_6H_{10}O_5 + n\ H_2O \rightarrow 3n\ CH_4 + 3n\ CO_2 \quad (1)$$

Интенсивность процесса и удельный объем газовыделений зависят от условий среды, возраста полигона и фракционного состава отходов. Основыми факторами, влияющими на интенсивность биологической конверсии, являются температура, влажность, величина водородного показателя, содержание органики. Совместное влияние указанных факторов можно выразить с помощью уравнения кинетики реакции газообразования первого порядка:

$$Q = M*q*e \wedge k*t, \quad (2)$$

где Q – объем СГ (м^3), выделившийся за время t (лет);
M – общая масса ТКО (т);
q – удельная величина газовыделений (м^3/т);
k – коэффициент скорости реакции (1/год).

При прогнозировании объемов газовыделений и оценке потенциала СГ применяют различные варианты формулы (2). Основная разница заключается в содержании органики в общей массе рассматриваемых отходов. По скорости разложения фракционные компоненты органическго вещества разделяют на быстро разлагаемые, средне разлагаемые и медленно разлагаемые. Их физико-химические свойства оказывают влияние на интенсивность биологической конверсии. Если процесс конверсии быстро разлагаемых фракционных компонентов завершается по истечении двух – четырех лет, то полное разложение медленно разлагаемых может длиться десятилетиями. Количество фракционных компонентов в формуле (2) влияет на выбор типа прогнозной модели. В настоящее время для оценки потенциала газообразования используют однофазные, двух- и трехфазные прогнозные модели.

Благодаря многолетним исследованиям, проведенным фирмой «Геополис», было установлено, что наиболее оптимальным средством для оценки потенциала газообразования является обобщенная двухфазная модель, в которой используются коэффициенты скорости реакций газовыделения, полученные на основе данных полевых испытаний. Из графика изменения объемов газовыделений полигона, построенного на основе обобщенной двухфазной модели, видно, что наиболее активная часть процесса газообразования приходится на начальный период длительностью примерно пять лет, при этом конвертируется около половины общего объема СГ.

Основные компоненты свалочного газа

Основными компонентами свалочных газовых смесей являются метан и углекислый газ. Значение их объемных долей соответствует значениям 45÷75 % для метана и 25÷55 % для углекислого газа. В гораздо меньших количествах в составе СГ присутствует азот (до 5 %, часто свыше 10 %), сероводород, кислород, водород, угарный газ.

В настоящее время сведения о составе свалочного газа, приводимые во многих доступных отечественных и зарубежных источниках, сильно отличаются по величине объемной доли азота. Наиболее распространенным заблуждением является утверждение, что типичному составу свалочного газа соответствует значение объемной доли N_2 не более 2÷5 %, тогда как, в отличие от биогаза метантенков, в свалочном газе азот может присутствовать в количестве 20 % и выше [5].

Так, по данным исследований ООО «КомплеСУ», проведенных в августе 2015 г., в состав свалочного газа полигона ТБО и ПО ОАО МСК «Водино» Самарской области входят 41 % метана, 24 % азота (!) и 30 % углекислого газа. Полигон котлованного типа.

По данным исследований ООО «ЭкоБиос» (г. Оренбург), в состав свалочного газа полигона ТКО г. Оренбурга входят 46% метана, 20% азота и 32% углекислого газа. Полигон курганного типа.

По данным Министерства экологии Нижегородской области, примерный состав свалочного газа включает азот в количестве от 5% до 20% по объему.

Компонентный состав СГ определяет его основные характеристики. В первую очередь к ним относится теплотворная способность, которая составляет в среднем от 4500 до 6500 ккал/м^3. Важными являются также факторы, определяющие экологические показатели СГ. Как правило, они зависят от наличия галогеносодержащих примесей, сероводорода и меркаптанов. Большая часть компонентов СГ является парниковыми газами, в связи с чем организация дегазации полигонов ТКО направлена прежде всего на снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

Оценка объема глобальной эмиссии СГ

Первые попытки оценки глобального объема эмиссии СГ в атмосферу были проведены в 1980-х гг. По одной из таких оценок, общий годовой объем глобального потока свалочного метана составляет от тридцати до семидесяти миллионов тонн. В настоящее время сведения об объемах годового образования ТКО являются основанием для прогноза выделений свалочного метана в атмосферу.

Затем оценка объемов образования свалочного биометана была проведена экспертной группой Межправительственной комиссии по изменению климата (IPCC), на основании которой была установлена величина годового выброса порядка сорока миллионов тонн. Следует отметить значительный вклад России в мировую эмиссию СГ. Так, по сведениям Межправительственной комиссии по изменению климата российские полигоны ТКО выделяют в окружающую среду свыше $1{,}1 \cdot 10^6$ тонн свалочного биогаза, это более двух с половиной процентов от общепланетарного потока.

Негативные свойства СГ

Неконтролируемое выделение СГ представляет серьезную угрозу для окружающей среды. Прежде всего это связано с созданием пожароопасных условий на самих полигонах и в прилегающих сооружениях. Атмосферное электричество, неосторожное обращение с огнем часто вызывают возгорания полигонов, не оборудованных системами сбора и утилизации СГ. Серьезную опасность представляют полигоны ТКО и свалки, расположенные в непосредственной близости от районов жилой застройки.

Миграция СГ в грунте и прилегающих полостях представляет опасность как с технологической, так и с токсикологической точки зрения. Случаи отравлений, сопровождающиеся часто смертельными исходами, наблюдаются при техническом обслуживании инженерных коммуникаций, расположенных вблизи полигонов, не оборудованных системами сбора и утилизации СГ.

Отмечено негативное влияние СГ на местную фауну. Накопление и миграция СГ в полостях и порах верхней части почвенного горизонта приводит к затруднению дыхания корневой системы растений, а затем и к полному подавлению жизнедеятельности растений.

Неконтролируемый выброс СГ является причиной атмосферного загрязнения прилегающих участков экосистемы высокотоксичными компонентами. Метан и диоксид углерода, составляющие основу СГ, являются парниковыми газами, значительно усиливающими эффект глобального изменения климата.

Все вышесказанное свидетельствует о необходимости организации комплекса высокоэффективных мероприятий по дегазации как существующих, так и проектируемых полигонов ТКО и городских свалок. Основой должна быть законодательная база, формирующая стимулирующее воздействие на владельцев крупных объектов концентрации отходов. К основным технологическим мероприятиям, направленным на организацию дегазации, относятся технологии извлечения, очистки и энергетического использования СГ.

Проблемы утилизации СГ

В настоящее время к основным способам утилизации СГ относятся:

– сжигание в факеле, направленное прежде всего на уничтожение и ликвидацию СГ в целях снижения экологической нагрузки и опасности возгорания полигонов;

– сжигание необработанного СГ для получения тепла;

– очистка СГ для дальнейшего использования в установках генерации электрической и тепловой энергии;

– очистка СГ для дальнейшего использование в качестве газомоторного топлива;

– получение биометана из СГ с содержанием метана свыше 96% для дальнейшего использования в системах газоснабжения.

Проблема использования свалочного газа для когенерации и тригенерации энергии, связанная с компонентным составом свалочного газа, может быть решена благо-

даря совместной реализации трех основных направлений:

– высокоэффективного микробиологического воздействия на тело полигона для повышения метаболической активности местного консорциума, а также для снижения объемной доли балластных газовых примесей и повышения его метановой составляющей до систем очистки;

– создания более совершенной и эффективной системы очистки образующейся в результате газовой смеси;

– создания эффективных горелочных устройств, использующих биогаз и свалочный газ.

Исследования по этим трем направлениям отражены в ранее опубликованных работах и патентах на изобретения. Так, благодаря работам в области тригенерации энергии, было отмечено, что преобразовывать энергию газовых смесей (природный газ, свалочный газ, биогаз метантенков) можно при использовании микротурбин, газопоршневых установок и прочих устройств, таких, например, как двигатели внешнего сгорания [8]. Из вышеперечисленных на рынке широко представлены в основном микротурбины и газопоршневые установки.

Было установлено, что при низком содержании метана предпочтительнее использовать газопоршневые генераторы, а в некоторых случаях это единственный возможный вариант [6, 9].

При анализе работы горелочных устройств было выявлено, что использование свалочного газа и биогаза возможно при минимальных затратах на системы очистки (при обязательном отделении влаги, серы и пр.), причем было отмечено некоторое снижение КПД установки [1].

Для повышения эффективности сжигания свалочного газа и биогаза метантенков были предложены технические решения, отраженные в [7], а также в [3, 4].

Выбор конкретного способа утилизации СГ основывается на анализе условий, сложившихся на данном полигоне ТКО, и определяется в первую очередь наличием спроса на энергоресурсы, получаемые в процессе дегазации полигона. В большинстве развитых стран мероприятия по дегазации стимулируются при непосредственном участии заинтересованных госструктур на основании развитой законодательной и налоговой базы. Основу такой базы представляют законы, создающие условия для использования возобновляемых энергоресурсов.

В Российской Федерации законодательная основа, стимулирующая процессы утилизации СГ, находится на ранней стадии развития. Ее основу представляет Энергетическая стратегия развития России на период до 2030 года. Одной из приоритетных задач Энергетической стратегии является увеличение доли энергии, вырабатываемой за счет использования возобновляемых источников. В этом плане дегазация полигонов ТКО и использование СГ в энергетических целях является наиболее перспективным направлением.

Организация мероприятий по дегазации должна быть основана на эффективном создании условий метанобразующих микроорганизмов при использовании метанового эффлюента биогазовых станций; при внесении предпочтительно использование двухкомпонентных препаратов, создавая сухой фракцией изолирующих слоев, снижающих присосы воздуха в систему дегазации; при этом необходимо использовать более совершенные системы очистки метаносодержащих газовых смесей, в когенерационных и тригенерационных циклах отдавая предпочтение газопоршневым установкам.

Заключение

Таким образом, эффективность организации комплекса мероприятий по дегазации полигонов ТКО зависит от ряда факторов, наиболее существенным из которых на сегодняшний день представляется развитие законодательной и налоговой базы, стимулирующей организацию мероприятий дегазации полигонов на государственном уровне. Наиболее эффективным инструментом стимулирования в настоящее время пока остаются программы государственной финансовой поддержки в виде конкурсов и грантов. Использование в дальнейшем большей части потенциала СГ полигонов ТКО при их дегазации позволит существенно повысить эффективность использования энергоресурсов и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Список литературы

1. Наумов С.А., Соколов В.Ю., Коробков А.И. Увеличение полноты сгорания газовых горелок. Теплогазоснабжение: состояние, проблемы, перспективы // Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург: ООО «НикОс», 2011. – С. 68–72.

2. Нетребин Ю.Я. Снижение газовой эмиссии объектов захоронения твердых бытовых отходов после завершения их эксплуатации: Дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16. – Пермь, 2004. – 122 с.

3. Патент РФ № 2471118 МПК F23D 14/66 (2006.01) F23D 14/02 (2006.01). Газовая горелка / Соколов В.Ю., Наумов С.А., Садчиков А.В., Горячев С.В., Лаврентьев А.В., Коробков А.И. // Опубликовано: 27.12.2012 Бюл. № 36.

4. Патент РФ № 2479790 МПК F23D 14/02 (2006.01) F23D 14/62 (2006.01). Газовая горелка / Соколов В.Ю., Наумов С.А., Садчиков А.В., Горячев С.В., Коробков А.И., Лаврентьев А.В. // Опубликовано: 20.04.2013 Бюл. № 11.

5. Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф., Соколов В.Ю., Наумов С.А. Обеспечение энергетической независимости и экологической безопасности полигонов ТКО // Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 15–18 (203–206). – С. 104–111.

6. Соколов В.Ю. Когенерационная выработка энергии газопоршневыми электростанциями / Труды VII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы». – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2014. – С. 47–49.

7. Соколов В.Ю., Наумов С.А., Стародубцев Н.А. Методы утилизации твердых бытовых отходов / Труды VII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы». – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2014. – С. 70–73.

8. Соколов В.Ю., Фирсова Е.В. Использование двигателя стирлинга в тригенерационном цикле // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3. – С. 141–144.

9. Соколов В.Ю., Фирсова Е.В. Подбор микротурбинного двигателя для тригенерационных циклов // Материалы Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVII Бенардосовские чтения). – ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» В 4-х т.; Т. 2. – Иваново, 2013. – С. 211–213.

10. Федеральный закон от 29.12.2014 № 458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления», отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных законодательных актов (положений законодательных актов) Российской Федерации». Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172948/.

References

1. Naumov S.A., Sokolov V.Ju., Korobkov A.I. Uvelichenie polnoty sgoranija gazovyh gorelok. Teplogazosnabzhenie: sostojanie, problemy, perspektivy // Sbornik materialov vserossijskoj nauchno–prakticheskoj konferencii. Orenburg: OOO «NikOs», 2011. pp. 68–72.

2. Netrebin Ju.Ja. Snizhenie gazovoj jemissii obektov zahoronenija tverdyh bytovyh othodov posle zavershenija ih jekspluatacii: Dis. ... kand. tehn. nauk: 03.00.16. Perm, 2004. 122 p.

3. Patent RF no. 2471118 MPK F23D 14/66 (2006.01) F23D 14/02 (2006.01). Gazovaja gorelka / Sokolov V.Ju., Naumov S.A., Sadchikov A.V., Gorjachev S.V., Lavrentev A.V., Korobkov A.I. // Opublikovano: 27.12.2012 Bjul. no. 36.

4. Patent RF no. 2479790 MPK F23D 14/02 (2006.01) F23D 14/62 (2006.01). Gazovaja gorelka / Sokolov V.Ju., Naumov S.A., Sadchikov A.V., Gorjachev S.V., Korobkov A.I., Lavrentev A.V. // Opublikovano: 20.04.2013 Bjul. no. 11.

5. Sadchikov A.V., Kokarev N.F., Sokolov V.Ju., Naumov S.A. Obespechenie jenergeticheskoj nezavisimosti i jekologicheskoj bezopasnosti poligonov TKO // Alternativnaja jenergetika i jekologija. 2016. no. 15–18 (203–206). pp. 104–111.

6. Sokolov V.Ju. Kogeneracionnaja vyrabotka jenergii gazoporshnevymi jelektrostancijami / Trudy VII Vserossijskoj nauchno–tehnicheskoj konferencii «Jenergetika: sostojanie, problemy, perspektivy». Orenburg: OOO IPK «Universitet», 2014. pp. 47–49.

7. Sokolov V.Ju., Naumov S.A., Starodubcev N.A. Metody utilizacii tverdyh bytovyh othodov / Trudy VII Vserossijskoj nauchno–tehnicheskoj konferencii «Jenergetika: sostojanie, problemy, perspektivy». Orenburg: OOO IPK «Universitet», 2014. pp. 70–73.

8. Sokolov V.Ju., Firsova E.V. Ispolzovanie dvigatelja stirlinga v trigeneracionnom cikle // Fundamentalnye issledovanija. 2012. no. 3. pp. 141–144.

9. Sokolov V.Ju., Firsova E.V. Podbor mikroturbinnogo dvigatelja dlja trigeneracionnyh ciklov // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno–tehnicheskoj konferencii «Sostojanie i perspektivy razvitija jelektrotehnologii» (XVII Benardosovskie chtenija). FGBOU VPO «Ivanovskij gosudarstvennyj jenergeticheskij universitet imeni V.I. Lenina» V 4–h t.; T. 2. Ivanovo, 2013. pp. 211–213.

10. Federalnyj zakon ot 29.12.2014 no. 458–FZ «O vnesenii izmenenij v Federalnyj zakon «Ob othodah proizvodstva i potreblenija», otdelnye zakonodatelnye akty Rossijskoj Federacii i priznanii utrativshimi silu otdelnyh zakonodatelnyh aktov (polozhenij zakonodatelnyh aktov) Rossijskoj Federacii». Rezhim dostupa: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172948/.