

УДК 504.06

Т. А. Герасимова, Г. А. Лазарева, И. В. Быкова, О. А. Савватеева**Технологии утилизации биогаза**

Рассмотрены технологии сбора, экологические аспекты образования, сбора, утилизации и дальнейшего использования свалочного газа с полигонов ТКО. Проанализирован мировой и российский опыт в этой области. Более детально выполнен анализ технологий "Multriwell" и "Menard Adaptable Burning System". Показана экономическая эффективность утилизации свалочного газа для получения энергии, а также барьеры, существующие для широкого распространения подходов в Российской Федерации.

Ключевые слова: полигоны ТКО, биогаз, свалочный газ, рекультивация, активная дегазация полигонов ТКО.

Об авторах

Герасимова Татьяна Александровна – заместитель начальника Пушкинского отдела ФГБУ «ЦЛА-ТИ по ЦФО». *E-mail:* nik_ta@mail.ru. Московская обл., г. Дубна, ул. Вернова С.Н., д. 1, кв. 10.

Лазарева Галина Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна». *E-mail:* lazarevg@mail.ru.

Быкова Ирина Викторовна – ведущий экономист АО «ОЭЗ ТВТ «Дубна». *E-mail:* BykovaIV@oездubna.ru.

Савватеева Ольга Александровна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна». *E-mail:* ol_savvateeva@mail.ru.

Воздействие отходов на окружающую среду и здоровье человека не заканчивается после их захоронения даже на подготовленных с экологической точки зрения полигонах ТКО. Во время эксплуатации полигона и после его рекультивации негативному воздействию подвергаются атмосферный воздух, почвы, поверхностные и подземные воды, все биологические компоненты окружающей среды. Основными источниками негативного воздействия являются свалочный газ и фильтрат.

На сегодняшний день критично стоит проблема высоких концентраций в атмосфере метана, одного из основных парниковых газов. Ежегодный выброс метана со свалок земного шара сравним с мощностью таких известных источников метана, как болота, угольные шахты и т.д. В результате деструкции отходов в атмосферном воздухе над полигонами, застроенными территориями, находящимися в непосредственной близости от них, концентрация биогаза может достигать 150–600 мг/м³, что превышает допустимый гигиенический норматив для воздуха населенных пунктов в 3–12 раз. По этой причине переработка биогаза бытовых отходов обретает значимость с целью уменьшения антропогенного вклада метана. Помимо этого, газ счита-

ется фактором самовоспламенения свалочных отложений, т.к. при его взаимодействии с атмосферным воздухом создаются горючие и взрывоопасные смеси, что приводит к мощному загрязнению атмосферы токсичными веществами. Кроме того, при отсутствии управления образованием и сбором свалочного газа происходит разрушение тела полигона вследствие сброса давления газа внутри него. Наконец, проекты по добыче и использованию газа с полигонов ТКО снижают зависимость от отдельных энергоносителей, способствуют их экономии, создают рабочие места и помогают развитию экономики на местах. В международном масштабе существуют значительные возможности для расширения применения энергии свалочного газа.

Процесс газообразования в толще складируемых ТКО обусловлен биоконверсией органического вещества, конечным продуктом которого является свалочный газ. Обычно до 45–50% органического вещества проходит несколько фаз преобразования вплоть до газообразного состояния. В состав свалочного газа входит метан (40–60%), углекислый газ (40–50%); водород (на начальной стадии газообразования до 10%), азот (до 10%) и кислород (до 2%), а также примеси (1,5–2%) – десятки летучих органических соединений и других веществ, в том числе с высоким уровнем токсичности: оксид углерода, аммиак, ксилол,

толуол, сероводород, бензол, этилбензол. Состав свалочного газа обуславливает ряд его специфических свойств. Прежде всего, свалочный газ горюч, его средняя калорийность составляет примерно 5500 Ккал/м³. В определенных концентрациях он токсичен. Конкретные показатели токсичности определяются наличием ряда микропримесей, таких, например, как сероводород (H₂S). Обычно свалочный газ обладает резким неприятным запахом.

Выбрасываемые загрязняющие вещества негативно сказываются на состоянии окружающей среды и здоровье человека. Даже после закрытия и рекультивации полигона накопленные за многолетний период эксплуатации отходы продолжают разлагаться, а значит, негативное воздействие на окружающую среду и человека продолжается и будет долгим.

Еще в 1990 г. в нашей стране был разработан «Технологический регламент получения биогаза с полигонов твердых бытовых отходов» [2], с 1996 г. действует «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов» [1], однако до настоящего времени отечественных технологий для реализации положений инструкции практически нет.

При этом существует ряд передовых технологий, разработанных и успешно применяемых в странах ЕС, позволяющих собирать биогаз, очищать его для дальнейшего использования в зеленой теплоэнергетике. Далее рассмотрены такие технологии, как система активной дегазации полигонов ТКО «*Multriwel*» и система «*Menard Adaptable Burning System*» (Адаптивная система горения Менар – АСГМ).

Система активной дегазации полигонов ТКО *Multriwel* – запатентованный метод, согласно которому большое количество вертикальных, гибких скважин погружаются в массу отходов и на поверхности подсоединяются к горизонтальным скважинам, образуя туго сцепленную сетчатую, газ-дренажную систему. Система апробирована и адаптирована к климатическим условиям Российской Федерации. В коммерческой эксплуатации система находится на более чем десятке объектов в странах ЕС, а также на полигоне «Преображенка» в Самарской области.

Для установки системы *Multriwel* предпочтительными условиями являются: минимальная толщина массива отходов 10 м, установочная глубина 30 м, максимальная глубина 50 м. Процент содержания биоразлагаемых органических соединения >7%.



Рис. 1. Поперечный разрез типичной структуры системы активной дегазации полигона ТКО

Поверхность полигона при этом покрывается газо-водонепроницаемым материалом, который препятствует эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух и не пропускает воду, что практически прекращает образование фильтрата. Гидроизоляционная смесь *Trisoplast* – это инновационный газо-водонепроницаемый материал, обладающий рядом

существенных преимуществ по сравнению с традиционными гидроизоляционными материалами [3]. *Trisoplast* был разработан в Нидерландах, является технически зрелым и прошел успешные испытания независимыми лабораториями тестирования в отношении его характеристик и удобства использования. Начиная с 1992 г. все большее число европей-

ских и не европейских стран уже одобрили его как альтернативу традиционным гидроизоляционным материалам для различных применений, как более предпочтительный вариант. Смесь *Trisoplast* состоит из 88% песка, 10% натриевого бентонита, 2% полимерной добавки. Смесь готовится с использованием стандартного смесительного оборудования непосредственно на рекультивированном полигоне.

Консервация полигона смесью *Trisoplast* обеспечивает оптимальный поток всего добываемого биогаза без потерь или выбросов в атмосферный воздух. Эта система практически не требует обслуживания и дает возможность добывать больше биогаза из полигона ТКО за более короткий срок, чем при использовании традиционных систем.

Данная смесь применяется также в других сферах: в промышленности в качестве гидроизоляции промплощадок и оснований резервуаров, в инфраструктуре и строительстве для гидроизоляции дорожного полотна и оснований фундаментов, в ландшафтном дизайне для устройства искусственных прудов и плотин.

Также предоставляется уникальная возможность через систему *Multriwell* осуществлять (при необходимости) дополнительное орошение тела полигона или повторно использовать для орошения фильтрат, тем самым активизируя процессы метаногенеза и увеличивая количество извлекаемого биогаза.

Система *Multriwell* ускоряет и усиливает процессы биодegradации полигона ТКО, как следствие, рекультивируемый полигон может быть переведен в новый статус, например рекреационной зоны, с более безопасным использованием в дальнейшем.

Основные преимущества при проведении активной дегазации полигона ТКО с применением системы *Multriwell*:

- ✓ устройство густой сети гибких скважин активирует биореакции, получается в 4–6 раз больше биогаза, предотвращается поступление кислорода;
- ✓ использование малых сеток гибких скважин приводит к быстрому достижению инертности полигона, быстрой и более равномерной стабилизации тела полигона;
- ✓ фильтрат распределяется более равномерно через отходы, что сокращает образование фильтрата, снижается гидравлический напор в теле полигона;

- ✓ при производстве работ персонал не контактирует с отходами;

- ✓ предотвращение эмиссии биогаза в атмосферу за счет использования слоя минерального барьера, нет риска повреждения на больших поверхностях, которые ведут к потере биогаза;

- ✓ гибкость по глубине установки скважин, быстрая и безопасная установка системы, отсутствие выступающих элементов на поверхности полигона;

- ✓ низкие инвестиции, необходимые для установки и эксплуатации;

- ✓ возможность продолжения эксплуатации полигона по высоконагружаемой схеме, а также при дозагрузке полигона.

Другая система дегазации *Menard Adaptable Burning System* является частным вариантом технологии *Menard Vacuum TM* с применением вертикального и горизонтального дренажа для дегазации тела полигона ТКО. Вертикальные и горизонтальные дрены являются прекрасными дренажными каналами для вывода свалочного газа из тела полигона. Свалочный газ аккумулируется на поверхности под куполом из непроницаемой мембраны и отводится на систему утилизации газа через систему газ-дренажных труб. В системе АСГМ также предусмотрены клапаны для дополнительной подачи воздуха и/или жидкостей в тело полигона.

Установка вертикального дренажа состоит из дренажной мачты, через которую дренажная лента, уложенная в иглу, задавливается в тело полигона ТКО. Дренажная мачта устанавливается на базе гидравлического гусеничного экскаватора. Дренажные ленты представляют собой полимерное ядро с каналами П-образной формы с обклейкой из нетканного геотекстиля. Газ проникает через геотекстильный материал и по каналам ядра поднимается к системе горизонтального сбора. Горизонтальные дрены используются для сбора и транспортировки свалочного газа, поступающего от вертикальных дрен.

Горизонтальные дрены представляют собой ядро с каналами V-образной формы с обмоткой из нетканого специализированного геотекстиля. Газ проникает через соединения с вертикальной дренажной трубой и по каналам ядра отводится на систему газ-коллекторных ПЭВП труб. Газ-дренажные трубы используются для сбора и транспортировки свалочного газа, поступающего от системы вертикальных и гори-

зонтальных дрен на систему сжигания свалочного газа.

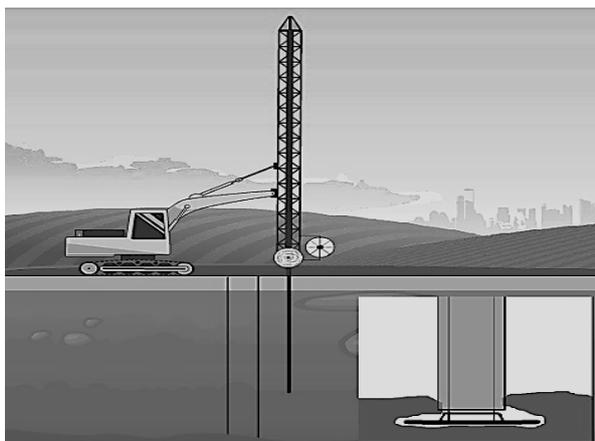


Рис. 2. Устройство вертикального дренажа в тело полигона

Применение рассмотренных технологий позволяет добывать биогаз из тела полигона ТКО и дает возможность его дальнейшего использования. Перспектива использования биогаза для России продиктована еще и тем, что около 97% из 30 миллионов тонн ежегодно образующихся отходов захораниваются на полигонах.

Согласно законодательству РФ, вновь проектируемые полигоны ТКО должны быть оснащены системой сбора биогаза. Закрытые полигоны должны быть рекультивированы, в технический этап рекультивации входит организация системы дегазации полигона.

Однако в настоящее время в России свалочный газ практически не используется. Идя по пути меньшего сопротивления, владельцы полигонов чаще всего сжигают биогаз в факельных установках, при этом энергия теряется безвозвратно, а атмосферный воздух получает порцию продуктов сгорания.

В рамках российско-голландского проекта в период 1995–1997 гг. на полигоне «Дашковка» и «Каргашино», расположенных на территории Московской области, были построены две пилотные установки по добыче и утилизации биогаза. Полученные результаты показывают, что на среднем полигоне Московской области образуется до 600–800 м³/ч биогаза, что позволяет вырабатывать электроэнергию в размере 3500–4400 МВт·ч/год. Технико-экономические расчеты, выполненные на основе опытных данных, подтвердили эффективность добычи свалочного метана в Рос-

сии, где могут быть осуществлены сотни экономически выгодных проектов.

Биогазовые установки могут быть размещены в любом регионе Российской Федерации.

Первая коммерческая установка на свалочном газе в России запущена в 2015 г. в Гатчинском районе Ленинградской области. Впервые в стране прошла экологическую экспертизу станция по переработке свалочного газа на полигоне «Новый Свет – Эко». Инвестором проекта выступила компания «Вирео Энерджи», которая является дочерней компанией шведской *Vireo Energy AB*. Мощность генерации составляет 4,8 МВт [5].

Затем биогазовая станция, в которой для генерации электротока использовался свалочный газ, была введена в эксплуатацию на белогорском полигоне ТБО в селе Тургенево Республики Крым в январе 2016 г. На момент запуска она производила только шестьдесят киловатт-часов, однако в недалеком будущем планируется всю территорию свалки оборудовать газоотводными скважинами. Крымские ученые рассчитывают на то, что получаемого на белогорском полигоне свалочного газа будет хватать для выработки до половины мегаватта электроэнергетической мощности в час.

Для сравнения: крупнейший проект по переработке свалочного газа в Стамбуле вырабатывает 50 мегаватт в час, которых достаточно для обеспечения электроэнергии для 200 тысяч семей [4].

Одна из самых экологически развитых стран мира – Германия – ставит для себя цели к 2020 г. создать более 3700 МВт электрических мощностей, работающих на всех видах биогаза.

Объем добываемого биогаза с тела полигона зависит от многих параметров: объем свалочных масс, срок эксплуатации полигона, плотность отходов, количество органических составляющих в общем объеме и многое другое. По средним оценкам добыча газа может достигать мощности 2500 м³ в час, полная окупаемость проекта составит 3–4 года, через 10–15 лет после начала рекультивации полигон может быть переведен в статус рекреационной зоны.

В ЕС принята Директива, в которой установлено требование сбора и утилизации свалочного газа со всех свалок, где были захоронены биологически разлагающиеся отходы, для минимизации вредных воздействий на окружаю-

щую среду и здоровье человека. Образующийся на свалках биогаз с начала 1980-х гг. интенсивно добывается во многих странах мира. В настоящее время общее количество используемого биогаза составляет примерно 1,2 млрд м³/год, что эквивалентно 429 тыс. т метана.

По оценкам экспертной группы Межправительственной комиссии по изменению климата (IPCC), свалки России ежегодно выбрасывают в атмосферу 1,1 млн т свалочного газа, что составляет примерно 2,5% от планетарного объема. Работа средней утилизационной установки мощностью 2 МВт на крупной свалке позволяет сэкономить около 250 баррелей нефти в год, уменьшает выбросы парниковых газов, эквивалентных выбросам 22 000 автомобилей. На ликвидацию такого количества парниковых газов потребовалось бы около 12 000 га леса [5].

В мировой практике известны следующие способы утилизации свалочного газа (рис. 3):



Рис. 3. Схема использования свалочного газа

Целесообразность применения того или иного способа утилизации свалочного газа зависит от конкретных условий хозяйственной деятельности на полигоне ТБО и определяется наличием платежеспособного потребителя энергоносителей, полученных на основе использования свалочного газа. В большинстве развитых стран этот процесс стимулируется государством с помощью специальных законов. Экономические показатели проектов по добыче и использованию свалочного газа мо-

гут быть достаточно рентабельными, особенно при наличии вблизи свалки промышленного потребителя газа.

✓ факельное сжигание, обеспечивающее устранение неприятных запахов и снижение пожароопасности на территории полигона отходов, при этом энергетический потенциал свалочного газа не используется в хозяйственных целях;

✓ прямое сжигание свалочного газа для производства тепловой энергии;

✓ использование свалочного газа в качестве топлива для газовых двигателей с целью получения электроэнергии, тепла, холода;

✓ использование свалочного газа в качестве топлива для газовых турбин с целью получения электрической и тепловой энергии;

✓ использование в качестве альтернативного автомобильного топлива;

✓ использование в химической промышленности (например, для производства метанола);

✓ доведение содержания метана в свалочном газе (обогащение) до 94–95% с последующим его использованием в газовых сетях общего назначения.

В настоящее время биогаз в основном используется в виде энергетического топлива, хотя наиболее оправдан метод когенерации. Самым сложным, по мнению специалистов, является выбор оборудования и адекватного метода получения биогаза, подробные газохимические исследования на полигонах ТБО [5; 6; 7].

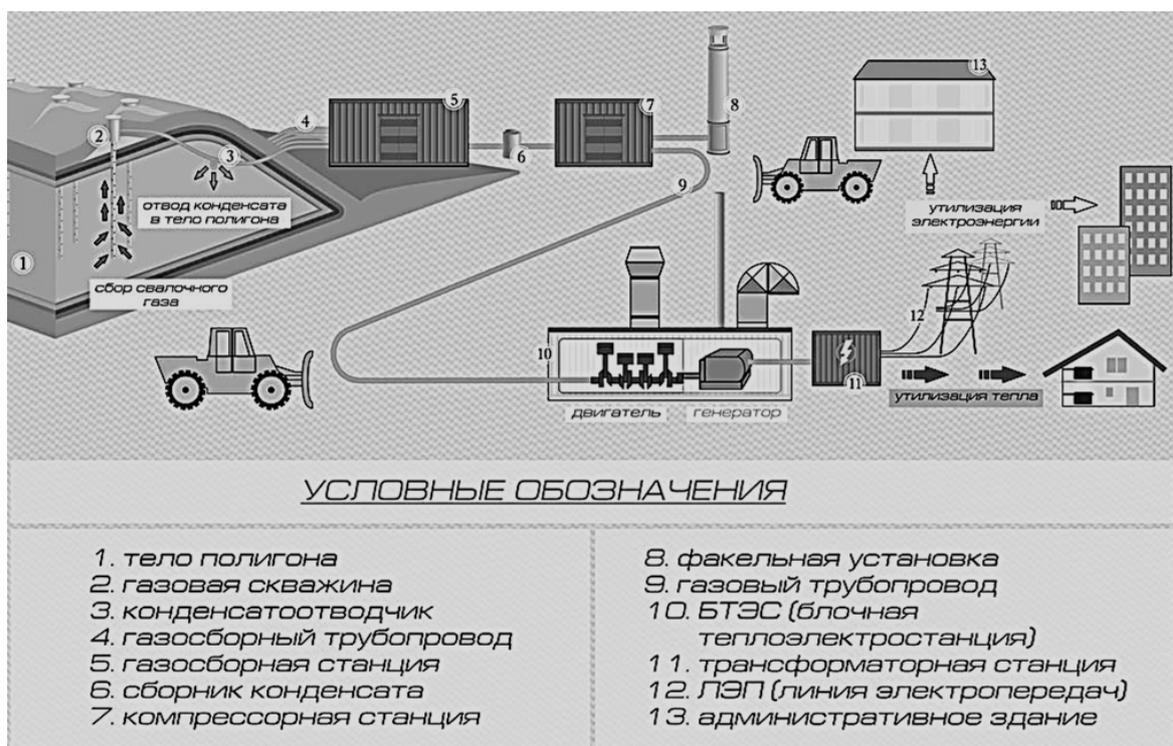


Рис. 4. Система сбора, обезвреживания и утилизации свалочного газа на полигонах ТКО [4]

Однако необходимо упомянуть и проблемы использования газа с полигонов ТКО. Их несколько:

- ✓ при малых объемах отходов установочные затраты не окупаются;
- ✓ после 25 лет выработка метана начинает постепенно сокращаться;
- ✓ состав газа со свалок ТКО непредсказуем;
- ✓ инженерно-экологические изыскания под проекты достаточно сложны, в том числе по определению предполагаемых объемов получения биогаза и его состава;
- ✓ для подавляющего большинства полигонов ТКО России необходимо проведение дополнительных работ по изоляции тела полигона от окружающей среды, что ведет к удорожанию проектов;
- ✓ объемы выработки газа на полигонах варьируют в зависимости от погодных и климатических условий;
- ✓ проекты дегазации существующих полигонов требуют существенных капитальных затрат на создание внеплощадочных дополнительных инженерных сетей и сооружений;
- ✓ низкие тарифы на прием электрической энергии в сеть в совокупности с высокой стоимостью присоединительных сетей и технических условий (отсутствие «зеленого та-

рифа») на энергию, которая генерируется из биогаза);

- ✓ отсутствие нормативных актов, которые обязывают сетевые компании покупать получаемую альтернативным путем электроэнергию;

- ✓ отсутствие жестких нормативов, регламентирующих деятельность в сфере обращения с отходами в секторе свалочного газа.

Существующие российские разработки в анализируемой нами области чаще всего сводятся к разработке методик оценки газового потенциала полигонов и к технологиям сбора биогаза, в то время как исследования энергетической эффективности и экологической безопасности при использовании биогаза, образующегося на полигонах ТКО, практически отсутствуют.

Таким образом, сбор газа с полигонов ТКО, безусловно, решает основную задачу охраны окружающей среды на густонаселенных территориях – обеспечение чистоты атмосферного воздуха и предотвращение загрязнения грунтовых вод. Кроме того, использование биогаза в качестве альтернативного источника энергии, например на ТЭС, позволит сократить использование других теплоносителей, а значит, принесет также экономическую и экологическую выгоду.

Процесс разложения отходов продолжается многие десятки лет, поэтому полигон можно рассматривать как устойчивый источник биогаза. Масштабы и стабильность образования, расположение на урбанизированных территориях и низкая стоимость добычи делают биогаз, получаемый на полигонах ТКО, даже при наличии технических и экономических барьеров одним из перспективных альтернативных источников энергии.

Библиографический список

1. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов. – М., 1996.
2. Технологический регламент получения биогаза с полигонов твердых бытовых отходов. – М. : АКХ им. К.Д. Памфилова, 1996.
3. ТР 23.64.99-001-16105830-2017 Технологический регламент на производство гидроизоляционной смеси *TRISOPLAST*.
4. Сайт «Госвопрос» // Территория. – URL: <http://gosvopros.ru/territory/business/sval-gas> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 01.11.2018).
5. Строительство и городское хозяйство. – 2015. – № 159, август 2015 // Энергия свалок. Технологии утилизации свалочного газа с полигонов ТБО. – Строительный портал «StroyPuls.ru». – URL: <http://stroypuls.ru/sgh/2015-sgh/159-avgust-2015/99722/> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 05.11.2018).
6. Сайт компании «Битеко Биогаз» // Свалочный газ. – URL: <http://www.biteco-energy.com/svalochnyj-gaz/> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 02.11.2018).
7. Программа «Landfill Methane Outreach Program (LMOP)» // United States Environmental Protection Agency. – URL: <https://www.epa.gov/lmop> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 05.11.2018).

*Поступила в редакцию
06.12.2018*