

Предложения по реализации эффективной государственной политики в сфере энергетического использования биогаза, образующегося на полигонах твердых коммунальных отходов

Содержание

1. Имеющиеся административные барьеры и возможности их преодоления для развития сферы использования биогаза, образующегося на полигонах твердых коммунальных отходов	1
2. Предложения по внесению изменений в нормативные документы	8

1. Имеющиеся административные барьеры и возможности их преодоления для развития сферы использования биогаза, образующегося на полигонах твердых коммунальных отходов

По состоянию на 2020 г в мире нарабатывалось более 25 млрд. тонн отходов ежегодно. Около 5% от этого объема представляют твердые коммунальные отходы (ТКО), проблема утилизации которых стоит особенно остро.

Зарубежная практика обращения с ТКО в основном ориентирована на их сортировку с выделением фракций, пригодных к дальнейшей переработке, в том числе и с получением RDF (refused derived fuel – топливо из отходов), сжигание с получением тепловой и электрической энергии. Полигонное захоронение отходов находится на третьем месте по объему утилизируемых ТКО. При этом большое внимание уделяется получению электрической и тепловой энергии. Такое положение во многом обусловлено целым рядом причин – отсутствием больших площадей для создания новых полигонов, дороговизной привозных органических топлив, курсом на развитие низкоуглеродной энергетики. Следует отметить, что на заре индустриализации в Европе тоже преобладал полигонный способ утилизации отходов, и для достижения текущих показателей в разных странах континента потребовалось от 20 до 50 лет.

Россия пока в начале этого пути. Доля перерабатываемых отходов составляет 5-7%, индустрию переработки только предстоит создать. На полигонное захоронение приходится около 90% отходов, не более 10% перерабатывается, в том числе в тепловую и электрическую энергию. Основным способом переработки является сжигание на МСЗ с подвижной колосниковой решеткой. Такая ситуация уже привела к переполнению полигонов ТКО – в Подмосковье и ряде других регионов начаты масштабные работы по рекультивации уже закрытых полигонов. Рекультивация включает в себя строительство саркофагов над телом полигона для предотвращения неконтролируемого выделения свалочного газа и взаимодействия отходов с осадками, его последующая отсыпка грунтом, озеленение, бурение скважин и создание системы трубопроводов для вывода свалочного газа. При этом основной решаемой проблемой является именно предотвращение неконтролируемого выделения содержащего сероводород свалочного газа, в буквальном смысле отравляющего жизнь жителям окрестных населенных пунктов.

Свалочным газом называется газ из органических отходов, выделяющийся из мусора, представляющий собой биогаз, образующийся в результате анаэробного разложения органических отходов (пищевые отходы, бумага, картон и т. д.).

Спектр технологий, используемых для энергетической переработки свалочного газа, может быть достаточно широк – от газопоршневых установок (ГПУ) до топливных элементов. В настоящее время базовой и наиболее распространенной технологией как в ближнем, так и дальнем зарубежье являются ГПУ. Кроме этого, получаемый на полигонах свалочный газ после определенной степени очистки и обработки может подмешиваться к природному газу, подаваемому на предприятия и в жилой сектор.

Анализ усредненного состава свалочного газа показывает, что большая часть выбросов с таких полигонов относится к парниковым газам, а меньшая – к ядовитым. Это создает проблемы как с выполнением обязательств по секвестрованию парниковых газов, так и с воздействием токсичных газов на здоровье населения.

Полигонное захоронение – один из самых распространенных способов ликвидации отходов. Глубина вырытой площадки для полигона, в среднем достигает 1,5 метра. Ее основанием служат глинистые грунты (подложка) для защиты грунтовых вод от фильтрата (жидкость в отходах, содержащая вредные вещества). На полигонах, соответствующих нормативам, образовавшийся фильтрат выкачивают из дренажных труб, встроены в полигоны, и после фильтрации используют для технических нужд. Отходы хранятся не более 20-25 лет [4]. По окончании срока эксплуатации полигоны дополнительно засыпают грунтом, а также плодородным слоем почвы, для посадки деревьев и кустарников.

В результате захоронения отходов происходит уплотнение слоев, что приводит к недостатку кислорода, и формируется в теле полигона анаэробной среды. Такие условия способствуют метанезу – биохимическому разложению органических фракций отходов, с образованием свалочного газа (биогаза). Биохимическому разложению подвергаются около 60-80% отходов от общей массы (пищевые отходы, бумага, картон и др.). В биогазе содержится около 50-55% метана и 40-45% углекислого газа. Метан образуется только в анаэробных условиях, при аэробных процессах окисление отходов более полное, продуктами являются только углекислый газ и вода. Протекающие химические процессы и бескислородная среда в полигоне создают условия для самовозгорания, при образовании смеси из метана (5-12%) и кислорода (12%). В результате пожара в окружающую среду выбрасываются ароматические углеводороды.

За рубежом активно используется практика превращения полигонов ТКО в месторождения свалочного газа с последующей его переработкой в полезную электрическую и тепловую энергию, то в России такие проекты исчисляются единицами и носят характер скорее частных или муниципальных инициатив. При этом следует понимать, что работы по бурению скважин на уже работающем полигоне для снижения пожарной опасности или сбора газов не являются нормальной ситуацией. Нормальной ситуацией является формирование системы трубопроводов еще на стадии строительства полигона.

Проведенный анализ позволяет выделить следующие административные и нормативные барьеры, препятствующие активному внедрению в России технологий энергетического использования свалочного газа.

1) Макроэкономические и коммерческие интересы, другими словами - интересы общества и собственников компаний, осуществляющих работы на полигонах ТКО, - не совпадают и даже противоречат друг другу.

Интересам общества и экологической политике России соответствует максимальное извлечение и энергетическое использование свалочного газа. Это минимизирует воздействие

свалочного газа на окружающую среду, сокращает расход топливно-энергетических ресурсов в стране, снижает пожароопасность полигонов ТКО, минимизирует выбросы парниковых газов в атмосферу. Это же соответствует лучшим зарубежным практикам.

Частные компании, осуществляющие работы на полигонах ТКО, нацелены, в основном, на быстрое извлечение прибыли в краткосрочной перспективе за счет захоронения отходов. Для достижения этой цели в рамках действующего законодательства практикуется разравнивание отходов по площади полигона, при этом происходит выброс метана в атмосферу. Пример – один из полигонов в Краснодарском крае, где отходы чрезмерно уплотняются бульдозером по площади 10 га, в результате чего: либо гниение ТКО не происходит, либо газ не накапливается (данные ООО «ТК Экотранс»). Собственник получает плату от регионального оператора ТКО только за количество захороненных отходов, заинтересован только в том, чтобы ресурс полигона не кончался как можно дольше, и его не интересуют ни технический потенциал генерации энергии из ТКО, ни воздействие свалочного газа на окружающую среду. При этом собственник полигона платит за негативное воздействие на окружающую среду. На настоящий момент плата за размещение ТКО составляет 111 руб./тонна ТКО.

Сложившаяся практика обращения с образующимся на полигонах свалочным газом приводит не только к загрязнению окружающей среды, ухудшению условия проживания на прилегающих территориях и дополнительной эмиссии парниковых газов. Со временем, при накоплении достаточного количества отходов могут происходить выбросы в окружающую среду не только метана, но и сероводорода в заметных количествах. В связи с этим имеется и социальный аспект проблемы – риск дестабилизации общества и появления социальных протестных акций со стороны местного населения. В качестве примеров можно привести митинги, связанные с экологической ситуацией на полигонах ТКО "Ядрово" и "Кучино" в Московской области. Нерешенность проблемы определяет сохранение данного социального аспекта и в перспективе.

Для устранения данного противоречия и направления усилий бизнеса в сторону интересов общества необходима разработка мер государственной политики в сфере обращения с ТКО, направленных на использование образующегося биогаза – свалочного газа, стимулирующих компании, задействованные в сфере обращения с отходами, осуществлять максимальное извлечение и энергетическое использование свалочного газа.

2) На настоящий момент темпы развития программы строительства мусоросжигательных заводов (программа поддержки строительства 25 новых мусоросжигающих ТЭС «Ростеха») нельзя назвать оптимистичными. Более того, сама программа столкнулась с рядом концептуальных трудностей – высокая себестоимость получаемой электрической энергии и малая востребованность тепловой энергии, несоответствие доли возобновляемой энергии (собственно, теплотворной способности ТКО) формальным критериям для объекта на ВИЭ с точки зрения топливного баланса. Нет существенных подвижек и по предприятиям для сортировки ТКО. Поэтому можно констатировать, что ближайшие 5-10 лет полигонный способ захоронения ТКО в России будет играть значительную роль в утилизации ТКО. И в дальнейшем, судя по опыту зарубежных стран, часть отходов будет подвергаться полигонному захоронению, следует только ожидать существенного снижения объемов таких отходов относительно настоящего времени.

В связи с этим целесообразно рассматривать вопросы строительства, эксплуатации и рекультивации полигонов именно с точки зрения извлечения полезной тепловой и электрической

энергии путем добычи свалочного газа и его последующей переработки. Это позволит обеспечить контролируемый выход газа из тела полигона, избежать социальных и экологических проблем, связанных с выбросами метана в атмосферу - по степени влияния на окружающую среду данный газ превосходит углекислый газ в 20-30 раз, в литературе приводятся данные об эквивалентности 1 т выброшенного метана 28 т CO₂, загрязнением воздуха сероводородом, снизит пожарную опасность, исходящую от полигонов ТКО, и повысит инвестиционную привлекательность проектов по созданию и рекультивации полигонов за счет возможностей по продаже электрической энергии.

3) Нормативные документы, регламентирующие устройство и эксплуатацию полигонов ТКО, практически не рассматривают энергетическое использование свалочного газа как технологическое направление обращения с отходами.

Ключевыми документами, регламентирующими работу с полигонами ТКО, можно считать:

- Свод правил СП 320.1325800.2017 «Полигоны для твёрдых коммунальных отходов – проектирование, эксплуатация, рекультивация» (далее - СП 320.1325800.2017);

- **Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»** (в ред. от 04.08.2023 г.).

- **Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях**, от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ (в ред. от 19.10.2023 г.). Документ определяет ответственность за административные правонарушения при управлении твердыми бытовыми отходами. Статья 8.21. определяет ответственность за нарушение правил охраны атмосферного воздуха (это касается, например, выбросов свалочного газа на полигоне).

Свод правил СП 320.1325800.2017 описывает подходы к созданию полигонов ТКО, однако в этом документе понятие свалочного газа даже не вводится. Понятие биогаз (имеется в виду свалочный газ) в этом документе упоминается лишь один раз (п. 4.6 – «На полигонах ТКО разрешается сбор биогаза, содержащего в своем составе метан, с последующем его использованием в качестве источника тепловой, электрической энергии»), то есть добыча свалочного газа на полигоне данным документом рассматривается как дополнительная опция и не более.

В п. 6.8 этого документа указывается, что «Захоронение следует проводить послойным чередованием ТКО и инертных материалов (с целью обеспечения перегнивания отходов, препятствия выделению вредных веществ в атмосферу и возгоранию отходов)». При этом основные рекомендуемые материалы для изоляции слоев – минеральные грунты, которые решают задачу предотвращения возгоранию ТКО, но в силу некоторой пористости допускают выход свалочного газа в атмосферу, причем по всей площади рабочей карты полигона (рабочая карта - участок полигона, на котором осуществляется захоронение отходов).

К гидроизоляции тела полигона со стороны грунта и сточных вод (ложе полигона) документом СП 320.1325800.2017 предъявляются более жесткие требования. Так, в соответствии с п.6.6 этого документа, Основание и стенки ложа полигона ТКО должны состоять из гидроизолирующего материала (глинистые, грунтобитумно-бетонные, асфальтобетонные, асфальтополимербетонные, полимерные, геосинтетические, тканевые и другие материалы), обеспечивающего коэффициент фильтрации (проницаемость) не более 0,10–0,11 м/с, стойкость к механическим повреждениям – не менее 1,8 кН.

Из анализа приведенных документов можно видеть, что действующие правила устройства и эксплуатации полигонов ТКО не способствуют созданию на них "месторождений" свалочного газа, не содержат даже рекомендаций по оборудованию новых полигонов именно для этого. Этот фактор является определенным барьером для внедрения практики энергетического использования свалочного газа.

Целесообразно, в частности, распространение требований к гидроизоляции тела полигона со стороны грунта и сточных вод на материалы, накрывающие рабочие карты, где уже завершено захоронение ТКО. По факту сейчас именно эта работа является первым этапом при рекультивации закрытых полигонов ТКО. Предъявление этих требований к материалам, накрывающим карты полигона с захороненными ТКО, способно создать препятствия для свободного газа в атмосферу.

Штатный вывод газа необходимо реализовывать системой дренажей и труб, подобной той, что используется для сбора фильтрата («6.7 Полигон ТКО должен быть оборудован дренажной системой (перехватывающие обводные каналы), обеспечивающей эффективный сбор и отвод фильтрата...»). При этом систему трубопроводов для сбора газа целесообразно формировать из инертных полимерных материалов на стадии эксплуатации полигона, не только в вертикальном направлении (сейчас это реализуется на стадии рекультивации полигона за счет газодренажных скважин, рисунок 1), но и в горизонтальном, для интенсификации сбора газа.

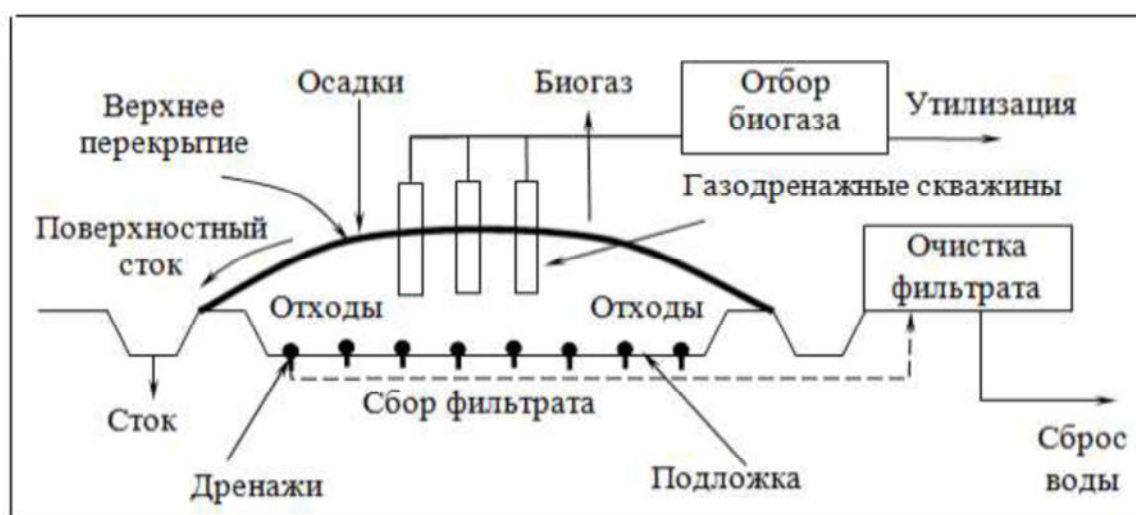


Рисунок 1 - Принципиальная схема устройства полигона ТКО с отбором свалочного газа (биогаза)

В разделах документа СП 320.1325800.2017, посвященных рекультивации отработанных полигонов ТКО, также необходимо прописать подходы к бурению и эксплуатации газодренажных скважин, а также дополнительному покрытию тела полигона, препятствующему их самопроизвольному выходу в атмосферу.

На уже существующих полигонах необходимо усилить контроль за выполнением хотя бы действующего СП 320.1325800.2017 в части изоляции слоев ТКО инертными материалами. При этом важным аспектом является создание федеральных, либо региональных реестров таких полигонов и уточнение федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ), в ведении которых находится система в целом. Эта работа могла бы быть выполнена в рамках формирования Кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, так как выбросы свалочного газа являются одним из видов антропогенного воздействия на

окружающую среду. Важным в этом аспекте является не только накопление статистических данных по объемам захоронения на полигоне, площади, координатам его расположения и статусу (такие данные доступны уже в настоящее время), но и в перспективе фактические данные по потенциальным выбросам свалочного газа на основе измерений по утвержденной и согласованной всеми участниками системы утилизации ТКО методике. Проблема в том, что статистические оценки не учитывают фактическое соблюдение норм захоронения на полигоне и морфологический состав отходов в каждом конкретном случае. Морфологический состав отходов имеет значение не только для объемов выходящего газа, но и для его состава. Информация о потенциале свалочного газа на конкретном полигоне, учитывая прогнозный выход газа и его состав, является крайне важной информацией для оценки в рамках инвестиционных проектов по утилизации свалочного газа, в том числе по планированию мероприятий по очистке его от примесей, таких, как галогениды, силоксаны, сероводород.

4) В настоящее время общество и бизнес-сообщество не располагает достоверными и верифицированными количественными данными о техническом потенциале полигонов свалочного газа, включая информацию о его составе, физических характеристиках, потенциальном объеме (скорости образования). Это служит своего рода барьером для разработки соответствующих бизнес-планов и соответственно внедрения технологий использования свалочного газа.

Анализ опыта ООО «ТК Экотранс» как одного из операторов ТКО Белгородской области, АО «Независимая энергосбытовая компания Краснодарского края» (АО «НЭСК», осуществляет монтаж, пусконаладку и эксплуатацию газопоршневых установок на полигонах ТКО), данные исследований Белгородского университета им. В.Г. Шухова по разработке собственной технологии извлечения свалочного газа из тела полигона [1], показатели которой в ряде случаев превышают результаты применения традиционных методов, а также анализ указанных выше нормативных документов показал следующее.

В России разработана методика предварительной оценки энергетической ценности конкретного полигона. В настоящее время методика апробирована применительно к двум полигонам ТКО. На одном из них, где захоронение ТКО прекращено достаточно длительное время назад, выход метана составляет 40% от всей газовой смеси, на полигоне с более поздним временем закрытия – 60%. Компанией «Экотранс» также налажена сортировка мусора с целью извлечения некоторых сортов пластмасс, которые после переработки направляются на производство трубопроводов, используемых при извлечении свалочного газа из тела полигона. Налажено ООО «ТК Экотранс» взаимодействие с АО «НЭСК», проведено обсуждение с крупной энергетической компанией - ПАО «ИнтерРАО». Выявлены проблемы с организацией и эксплуатацией полигона ТКО.

Необходима верификация на большом количестве объектов и внедрение единой методики оценки технического потенциала полигонов свалочного газа, определяющей порядок определения состава свалочного газа (включая микропримеси) и объема выхода свалочного газа и согласование методики с участниками рынка.

Целесообразно формирование реестра полигонов (на основе верифицированной методики) с точки зрения доступности свалочного газа и его состава.

5) В настоящее время отсутствуют документы, определяющие статус установок, производящих электроэнергию за счет использования свалочного газа, как установок ВИЭ.

Как показывают исследования и оценки, проведенные с участием коллектива ОИВТ РАН [2] с учетом данных Росстата по численности населения Российской Федерации, нормативам образования ТКО в расчете на одного жителя [3] и методики [4], средняя мощность газопоршневой установки (ГПУ) на полигоне ТКО в Московской области – одном из наиболее густо населенных регионов - может составлять 1-2 МВт, что согласуется с практическим использованием этих агрегатов на полигоне «Царёво» в Пушкинском районе Московской области. В настоящий момент статус таких установок в рамках действующих норм поддержки возобновляемой генерации неясен – этого недостаточно для поддержки в рамках ДПМ ВИЭ, но избыточно для микрогенерации.

Это обстоятельство служит барьером для внедрения передовых технологий использования свалочного газа, например, высокотемпературных топливных элементов. Использование высокотемпературных топливных элементов позволяет повысить эффективность преобразования свалочного газа в электрическую энергию, не допускать выбросов оксидов азота в атмосферу, а в случае применения расплав-карбонатных топливных элементов возможно обеспечить удаление CO₂ из топливной смеси и продуктов реакции. Однако капитальные затраты и требуемая чистота газов для таких решений существенно выше.

В настоящее время, в случае массового использования именно ГПУ в качестве основного средства утилизации свалочного газа, специальных финансовых и административных мер поддержки таких генераторов не требуется, за исключением, возможно, распространения на них нормы о приоритетном приеме энергии в сеть от таких генераторов как для систем на основе ВИЭ. Топливная составляющая в таких проектах отсутствует (что выгодно отличает их от мусоросжигательных проектов – доля природного газа в топливном балансе 0%), а сами ГПУ представляют собой наиболее дешёвый тип генерирующего оборудования. О случаях отказа от приема энергии в сеть данных нет – проектов подобного рода в России пока очень мало, все они носят статус пилотных и активно патронируются муниципальными властями. Проблемы с экономической составляющей могут появиться при использовании топливных элементов и гибридных схем с их использованием в качестве средства утилизации свалочного газа (в этом случае возможен рост электрической мощности объекта в 1,5-2 раза), однако капитальные затраты и затраты на очистку топлива ощутимо вырастут. В этом случае (особенно если рассматривать данную нишу как пилотную для формирования рынка высокотемпературных топливных элементов отечественного производства) инвесторам проекта может потребоваться поддержка государства, подобная той, которая оказывается в рамках ДПМ ВИЭ. При этом целесообразно или уменьшить нижнюю планку субсидируемой мощности до 1 МВт конкретно для данного типа ВИЭ (свалочный газ, получаемый на полигонах ТКО и полях аэрации), или рассматривать группу полигонов, разрабатываемых одним инвестором, как единый энергообъект, и выделять субсидии под него. Последний подход представляется даже более предпочтительным, поскольку без изменения законодательных норм в отношении мощности генератора будет стимулировать работы в отношении большего числа полигонов, что даст положительный эффект в плане снижения капитальных и операционных затрат (более массовая закупка материалов и оборудования, обучение персонала) и увеличит охват потенциальных источников выбросов метана в регионах.

2. Предложения по внесению изменений в нормативные документы

Учитывая выявленные административные и нормативные барьеры для внедрения технологий энергетического использования свалочного газа, разработаны следующие предложения по внесению изменений в нормативные документы:

1) Внесение в Свод правил СП 320.1325800.2017 "Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация"- в раздел 6 "Требования к устройству полигонов твердых коммунальных отходов"— изменений, направленных на включение мероприятий по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов как источников свалочного газа (формирование газодренажной системы на стадии заполнения новых полигонов, выработка общих указаний и стандартов по созданию таких систем на рекультивируемых полигонах, изоляция тела полигона от атмосферы по мере заполнения для исключения самопроизвольного дренирования свалочного газа).

В частности, для изоляции тела полигона от атмосферы по мере заполнения для исключения самопроизвольного дренирования свалочного газа предлагается дополнить п. 6.8 документа Свода правил СП 320.1325800.2017 следующим положением:

Верхнее перекрытие полигона ТКО должно состоять из гидроизолирующего материала (глинистые, грунтобитумно-бетонные, асфальтобетонные, асфальтополимербетонные, полимерные, геосинтетические, тканевые и другие материалы), обеспечивающего коэффициент фильтрации (проницаемость) не более 0,10–0,11 м/с, стойкость к механическим повреждениям – не менее 1,8 кН.

Предлагаемая редакция пункта 6.8 Свода правил СП 320.1325800.2017:

"6.8. Захоронение следует проводить послойным чередованием ТКО и инертных материалов (с целью обеспечения перегнивания отходов, препятствия выделению вредных веществ в атмосферу и возгоранию отходов). Верхнее перекрытие полигона ТКО должно состоять из гидроизолирующего материала (глинистые, грунтобитумно-бетонные, асфальтобетонные, асфальтополимербетонные, полимерные, геосинтетические, тканевые и другие материалы), обеспечивающего коэффициент фильтрации (проницаемость) не более 0,10–0,11 м/с, стойкость к механическим повреждениям – не менее 1,8 кН".

2) Разработка, согласование с участниками рынка, верификация на большом количестве объектов и внедрение единой методики оценки технического потенциала полигонов твердых коммунальных отходов как источников свалочного газа, определяющей порядок определения состава свалочного газа (включая микропримеси) и объема выхода свалочного газа.

Единая методика оценки технического потенциала полигонов твердых коммунальных отходов как источников свалочного газа должна учитывать не только наличие в составе свалочного газа метана и диоксида углерода, но и таких микропримесей, как сероводород, соединения хлора и кремния. Количественный состав данных примесей представляется крайне важным с точки зрения выбора стратегии очистки топливного газа, что влияет на операционные затраты при реализации проекта энергетического освоения полигона. Также состав микропримесей оказывает существенное влияние на ресурс компонентов энергетических установок.

Единая методика оценки технического потенциала полигонов твердых коммунальных отходов как источников свалочного газа должна учитывать фактические экономические условия по обустройству полигонов в малых удаленных населенных пунктах.

3) Формирование с привлечением Минприроды России (в привязке к мероприятиям по реализации Климатической доктрины Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2023 г. № 812, единого реестра полигонов твердых коммунальных отходов с указанием данных по техническому потенциалу, для этого необходимо выполнить обследование полигонов с использованием методики по п. 2, с целью привлечения инвесторов к энергетическому освоению полигонов и повышению их рентабельности.

4) Учет особенностей свалочного газа как вида ВИЭ в мерах по стимулированию использования ВИЭ в случае внедрения новых технологий переработки свалочного газа, а также распространение положения о приоритетном приеме в сеть энергии от установок электрической мощностью 1-3 МВт, используемых на полигонах твердых коммунальных отходов.

Список источников

1. Трубаев П.А. Оценка энергетического потенциала свалочного газа // Энергетические системы. 2021. № 1. С. 91-105. EDN: НСТРТИ. DOI: 10.3403/es.2021.1.009.

2. E.V. Tsipis, D.A. Agarkov, Yu.A. Borisov, S.V. Kiseleva, A.B. Tarasenko, S.I. Bredikhin, V.V. Kharton, Waste gas utilization potential for solid oxide fuel cells: A brief review// Renewable and Sustainable Energy Reviews 188 (2023) 113880.

3. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива / П.П. Безруких, В.В. Дегтярев, В.В. Елистратов, Е.С. Панцхава, Э.С. Петров, В.Н. Пузаков, Г.И. Сидоренко, Б.В. Тарнижевский, А.А. Шпак, А.А. Ямпольский. М.: ИАЦ Энергия, 2007.

4. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов. М.: Логус, 2004.