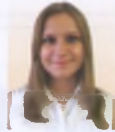


И.А. Бокун,
д.т.н., профессор



А.П. Добрян,
студентка



П.А. Бушмович,
студентка



Белорусский национальный технический университет

СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Аннотация

Рассмотрены некоторые технологии использования возобновляемых источников энергии, показана эффективность их использования. Рассмотрено влияние пульсации газового потока на аэродинамику в скважинах полигона, а также технологическая схема комплексного использования полигона твердых бытовых отходов в комбинации с солнечной и ветряной энергетическими установками.

Abstract

The article presents some technologies of using renewable energy sources showing their efficiency. The influence of the pulsation of the gas flow on the aerodynamics of the landfill in wells is reviewed. Technological scheme of complex use of landfill solid waste in combination with solar and wind power plants is considered.

Проблемы удовлетворения потребности в тепловой, электрической и механической энергии объектов малого и среднего предпринимательства, сельского хозяйства, а также жилых поселков можно решить за счет использования возобновляемых, относительно чистых источников энергии.

Постоянно возобновляемыми энергетическими ресурсами могут быть различные виды бытовых отходов, накапливающихся на специальных полигонах городов и других населенных пунктов. На полигонах выделяется биогаз. При этом применение отходов в качестве топлива для производства энергии решает проблему их утилизации. Утилизация отходов может производиться с применением комплекса энергетических технологий, охватывающих сжигание отходов,

их газификацию и использование продуктов газификации в качестве топлива. За счет хранения органических отходов и утилизации их по вышеупомянутым технологиям, использования твердого и газообразного топлива, а также подключения к ним других альтернативных источников энергии можно оптимизировать получение электроэнергии установками, которые имеют переменный режим работы.

Процесс образования отходов находится в постоянном развитии в зависимости от технического прогресса, потребительских возможностей населения, а также экологической грамотности общества. Для эффективного использования отходов в качестве энергетического топлива

требуется система обращения с ними, которая включала бы в себя весь комплекс мер, обеспечивающих контроль и управление потоками отходов, технологии их обезвреживания, переработки или утилизации. В каждом отдельном случае должна формироваться своя система обращения с отходами, так как существуют различные виды отходов в зависимости от происхождения: промышленные, твердые, бытовые, строительные, канализационные стоки, медицинские, радиоактивные, специальные. Каждый вид отхода обладает специфическими свойствами и при обращении с ним требует особого подхода. Оценка потоков отходов и их исследование имеют актуальное значение для решения комплекса проблем, связанных с их переработкой и использованием.

При этом следует также учитывать факторы, влияющие на выбор технологии обращения с отходами: демографические, климатические, экологические, социальные, экономические. Поэтому при выборе соответствующей технологии следует учитывать такие критерии как издержки, связанные с эксплуатацией, надежность, гибкость по отношению к колебаниям количества, свойств отходов, влияние на окружающую среду.

Широкое применение получили энергетическое и биологическое направления переработки отходов. Энергетическое направление включает в себя сжигание, пиролиз, нейтрализацию в высокотемпературной плазме, метанизацию и др. Биологическое направление переработки отходов

основывается на процессах механико-биологической подготовки и метанизации.

В системах использования отходов в энергетике основной интерес представляют две технологии их переработки – сжигание твердых бытовых отходов и их размещение на полигонах.

Сжигание отходов является сложным и высокотехнологичным процессом, который может осуществляться в различных конструкциях слоевых и камерных топков мусоросжигательных и энергетических котлов. В процессе сжигания твердых бытовых отходов образуются вредные выбросы, загрязняющие окружающую среду, поэтому должны быть заранее предусмотрены мероприятия по снижению пылеуноса кислых газообразных компонентов, устранению выбросов диоксида.

Технологии сжигания твердых бытовых отходов обладают такими преимуществами как снижение объема для длительного хранения, преобразование отходов в инертные твердые вещества. Этим технологиям присущ и ряд недостатков: трудность очистки газов от токсичных соединений, проблемы размещения золы, других продуктов сгорания, потеря части вторичных ресурсов, повышенные капитальные и эксплуатационные расходы.

Твердые бытовые отходы можно использовать в качестве топлива, что позволит резко сократить время их переработки по сравнению с другими методами, значительно сократить площади, занимаемые для переработки ТБО, а также произвести за счет сжигания ТБО тепловую и электрическую энергию. При разработке технологии сжигания отходов должно быть уделено внимание технико-экономическому обоснованию, в котором необходи-

Процесс образования отходов находится в постоянном развитии в зависимости от технического прогресса, потребительских возможностей населения.

мо выбрать наиболее оптимальный вариант.

Наиболее распространенный, хотя и менее эффективный вариант захоронения твердых бытовых отходов – размещение их на полигонах, которые представляют собой специально оборудованные сооружения. На таких полигонах в разных странах захоранивается от 50% до 90% всех образующихся твердых бытовых отходов. Несмотря на простоту организации захоронения ТБО на полигонах, этот технологический процесс обладает рядом существенных недостатков, основным из которых является загрязнение окружающей среды различного рода выделениями, образующимися в теле полигона. Такие выделения вызывают опасность загрязнения почвенного грунта, поверхностных и грунтовых вод вредными химическими и биохимическими компонентами, выделяющимися из толщ масс свалки в жидком виде (эмиссия фильтрата). При определенных условиях в теле полигона под влиянием микроорганизмов образуется газ, содержащий до 70% метана. Процесс его образования сопровождается выделением неприятного запаха, загрязняет окружающую среду и создает пожаро- и взрывоопасную ситуацию на полигоне.

С целью снижения загрязнения окружающей среды при проектировании полигона твердых отходов следует проводить заранее ряд конструктивных и технологических мероприятий: устройство донной и бортовой, а также поверхностной гидроизоляции; организация стока поверхностных дождевых и талых вод; сооружение дренажных систем, систем сбора и удаления фильтрата, газосборных систем.

Процесс преобразования органического вещества в анаэробных условиях под влиянием бактериальной флоры называется биометаногенезом, или метановым брожением. Получающийся в ходе биометаногенеза биогаз представляет собой смесь газов, из которых 50...80% составляет метан. В процессе образования биогаза принимает участие множество видов микроорганизмов, по некоторым оценкам – до тысячи.

Компостирование ТБО совместно с осадками сточных вод повышает температуру смеси до 50...70°C, что обеспечивает эффективное обезвреживание всей массы, так как сокращает образование патогенных микроорганизмов.

Извлечение биогаза из толщи полигона твердых бытовых отходов и его использование экологически необходимо, так как снижает загрязнение воздушной среды, а также может быть экономически выгодным для производства энергии.

Для увеличения выхода биогаза на полигонах твердых бытовых отходов может применяться добавка осадка сточных вод. При этом соотношение компонентов смеси ТБО и ОСВ должно быть стабильным и составлять 2:1 по массе [1]. Совместное использование твердых бытовых отходов и осадков сточных вод позволяет сократить на 20% требуемые под ТБО площади, а также эксплуатационные затраты, включая привлечение обслуживающего персонала.

Система сбора биогаза, получаемого на полигонах ТБО, представляет собой сеть вертикальных скважин, соединенных между собой горизонтальными коллекторами. Качество газа, получаемого внутри полигона, зависит как от способа применяемого дутья, так и от режима дутья. Одним из путей повышения качества биогаза, а также КПД внутриполигонного газогенератора может быть метод пульсирующего дутья в системах вертикальных скважин, созданных в теле полигона, и соединяющего их коллектора. Благодаря применению пульсирующего дутья очищаются стенки скважин и соединяющего их коллектора, образованного в теле полигона на глубине 2...4 м. Кроме того, при пульсирующем потоке сокращается аэродинамическое сопротивление скважин и коллекторов, соединяющих их [2].

Пульсирующие потоки в полигонных газогенераторах можно создавать воздуходувками, оборудованными соответствующими регулируемыми устройствами, подсчитав скорость движения воздушных потоков во времени по специальным ре-

жимам (синусоидальный, прерывистый, прямоугольный и др.), при этом качество газов будет зависеть от режимов дутья. Аэродинамические процессы, протекающие в элементах газогенераторов ТБО, можно описать системой уравнений [2].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho W)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho W)}{\partial t} + \frac{\partial(P + \rho W^2)}{\partial x} + \frac{\lambda}{2D} \rho W |W| = 0 \quad (2)$$

$$P = \rho C^2 \quad (3)$$

$$0 < x < L, t > 0 \quad (4)$$

где x – координата вдоль оси трубы;

t – время,

P, ρ, W – средние по сечению давление, плотность и скорость газа;

D – диаметр трубы;

λ – коэффициент трения;

C – скорость звука.

Начальные условия:

$$P(x, 0) = P_0 = \text{const}, W(x, 0) = W_0 = \text{const}, 0 \leq x \leq L \quad (5)$$

Граничные условия:

$$W(0, t) = W_0 + W^* \sin \omega t, P(L, t) = P_0. \quad (6)$$

Решение системы (1) – (4) при условиях (5), (6) имеет вид:

скорость:

$$W^*(x^*, t^*) = 1 + \frac{V^*}{c_{\text{н}2}MR + \cos 2H} [\sin H t^* \cdot [\cos H x^* c_{\text{н}2}MR(2 - x^*) + \cos H(2 - x^*) c_{\text{н}2}MR x^*] - \cos H t^* [\sin H x^* s_{\text{н}2}MR(2 - x^*) + \sin H(2 - x^*) s_{\text{н}2}MR x^*]] \quad (7)$$

давление:

$$P^*(x^*, t^*) = 1 + RM^2(1 - x^*) + \frac{V^*M}{c_{\text{н}2}MR + \cos 2H} [\sin H t^* [\cos H x^* s_{\text{н}2}MR(2 - x^*) + \cos H(2 - x^*) s_{\text{н}2}MR x^*] + \cos H t^* \cdot [\sin H(2 - x^*) s_{\text{н}2}MR x^* - \sin H x^* c_{\text{н}2}MR(2 - x^*)]] \quad (8)$$

$$x^* = \frac{x}{L}; t^* = \frac{t}{L}; p^* = \frac{P}{P_0}; W^* = \frac{W}{W_0}; M = \frac{W_0}{C}; H = \frac{\omega L}{C}; R = \frac{\lambda L}{2D}.$$

Используя выражения (7) и (8), рассчитаем данные по влиянию пульсаций потока воздуха на гидравлическое сопротивление скважин, скорость потока в них и в зоне газификации. Для расчета примем следующие значения:

График 1. Распределения по длине амплитуд колебаний скорости

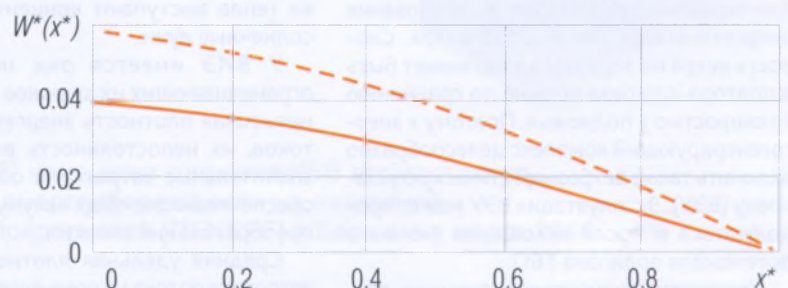
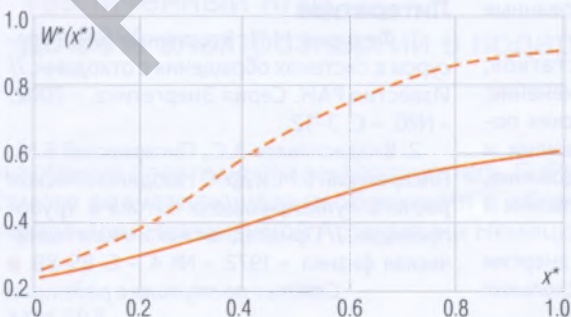
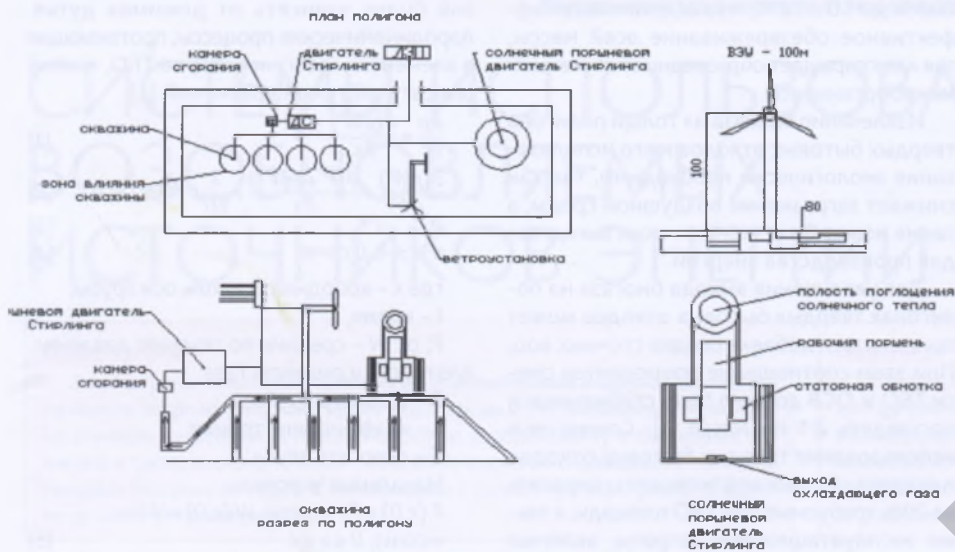


График 2. Распределения по длине амплитуд колебаний давления

Рис 1. Схема комплексного использования полигона ТБО и размещенных на нем ВЭУ и солнечной энергоустановки



$L=15\text{м}$; $C=310\text{ м/с}$; $W_0=15\text{ м/с}$; $P_0=5 \cdot 10^4\text{ кг/м}^2$; $W^*=5\text{ м/с}$;
 $\omega=15\text{ с}^{-1}$; $D=0,3\text{ м}$;

Полученные результаты отразим на графиках 1 и 2.

На графиках 1 и 2 соответственно сплошными и пунктирными кривыми представлены распределения по длине амплитуд колебаний скорости и давления для нелинейной и линеаризованной системы.

Так как расхождение по амплитудам достигает величины порядка 50%, линеаризация может существенно сказаться на точности определения характеристик колебательного процесса. Для установления точных границ расхождения величин W^* и W_0 , в пределах которых возможна линеаризация системы (1) – (4), необходимы дополнительные исследования.

В настоящее время разрабатываются экологически безопасные энергетические технологии переработки ТБО на полигонах, где получают биогаз, который может быть использован для производства электрической энергии.

Полигоны ТБО достигают высот в несколько десятков метров, значительно изменяют рельеф местности и создают более благоприятные условия для использования энергетического потенциала ветра. Скорость ветра на вершине холма может быть в полтора-два раза больше по сравнению со скоростью у подножья. Поэтому в энергогенерирующий комплекс целесообразно включить также ветроэнергетическую установку (ВЭУ). Эксплуатация ВЭУ может продолжаться и после истощения газового потенциала полигона ТБО.

Увеличить энергогенерирующие возможности комплекса может включение в

него и солнечного источника производства энергии. К примеру, можно использовать для этой цели поршневой двигатель Стирлинга (двигатель внешнего сгорания). В солнечной установке с двигателем Стирлинга параболическое зеркало концентрирует солнечные лучи и направляет их в поглощающую полость двигателя. Рабочий газ при нагреве расширяется и сжимается при охлаждении, тем самым приводя в движение поршень, который перемещается между горячей и холодной полостью двигателя.

На рис. 1 приведена схема комплексного использования полигона ТБО и размещенных на нем ВЭУ и солнечной энергоустановки. Сущность комбинированной энергетической установки состоит в выработке электрической энергии с помощью трех модулей:

- 1) биогазового – на полигонах ТБО сооружается система сбора биогаза, который направляется в камеру сгорания, откуда горячие газы поступают в двигатель внешнего сгорания Стирлинга;
- 2) ветряного, установленного на вершине полигона;
- 3) солнечного поршневого двигателя Стирлинга, в котором в качестве источника тепла выступают концентрированные солнечные лучи.

У ВИЭ имеется ряд недостатков, ограничивающих их широкое применение: невысокая плотность энергетических потоков, их непостоянность во времени и значительные затраты на оборудование, обеспечивающее сбор, аккумуляцию и преобразование энергии.

Средняя удельная плотность энергии ветрового потока не превышает нескольких сотен Вт/м².

$$E = \frac{\rho \cdot w^3}{2},$$

где ρ – плотность воздуха;
 w – скорость ветра.

Плотность потока солнечного излучения на поверхности земли в полдень ясного дня составляет около 1 кВт/м², а среднегодовое значение с учетом сезонных и погодных колебаний для самых солнечных районов земного шара не превышает 250 Вт/м².

Тем не менее, комбинированное производство энергии на полигонах твердых бытовых отходов с установкой на них газогенераторных солнечных и ветроэнергетических установок предотвращает дополнительное отчуждение земель не только во время получения газа с полигонов, но и после полного использования газа, так как на полигоне останутся работать солнечные и ветряные энергоисточники. Эффективность комбинированного производства энергии на полигонах ТБО может быть оценена с помощью коэффициента использования мощности:

$$K_{\text{исп}} = K_n \cdot K_s = \frac{\sum N_{\text{фг}} \cdot \tau_{\text{фг}} + \sum N_{\text{фс}} \cdot \tau_{\text{фс}} + \sum N_{\text{фв}} \cdot \tau_{\text{фв}}}{\sum N_{\text{yg}} \cdot \tau_{\text{yg}} + \sum N_{\text{yc}} \cdot \tau_{\text{yc}} + \sum N_{\text{yv}} \cdot \tau_{\text{yv}}}$$

где K_n – коэффициент интенсивности, K_s – коэффициент экстенсивности, $N_{\text{фг}}$, $N_{\text{фс}}$, $N_{\text{фв}}$ – фактически используемая мощность газогенераторных, солнечных и ветряных энергоустановок; N_{yg} , N_{yc} , N_{yv} – установленная мощность газогенераторных, солнечных и ветряных энергоустановок; $\tau_{\text{фг}}$, $\tau_{\text{фс}}$, $\tau_{\text{фв}}$ – фактически используемая мощность газогенераторных, солнечных и ветряных энергоустановок; τ_{yg} , τ_{yc} , τ_{yv} – максимально возможное число часов использования газогенераторных, солнечных и ветряных энергоустановок на полигонах ТБО.

Также комплексное использование полигона ТБО снижает расходы на строительство ЛЭП и ослабляет загрязнение окружающей среды.

Выводы

1. Рассмотрены системы обращения с твердыми бытовыми отходами.
2. Показана целесообразность комплексного использования полигонов ТБО и размещенных на них ВЭУ и солнечных энергоустановок.

Литература

1. Федоров М.П. Вторичные энергоресурсы в системах обращения с отходами. // Известия РАН. Серия Энергетика. – 2002. – №6. – С. 3–12.
2. Владиславлев А.С., Писаревский Б.М., Писаревский В.М. и др. О газодинамическом расчете пульсирующего потока в трубопроводах. // Прикладная механика и техническая физика. – 1972. – № 4. – С. 85–88. ■

Статья поступила в редакцию 7.07.2014