

И.А. Бокун, д.т.н.,
профессор



П.А. Бушмович,
студентка



Белорусский национальный технический университет

ПУЛЬСИРУЮЩЕЕ ДУТЬЕ В ПРОЦЕССАХ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА СВАЛОЧНЫХ ПОЛИГОНАХ

Аннотация

В статье приведены источники формирования твердых бытовых отходов (ТБО), затронута технология создания свалочных полигонов ТБО. Показана эффективность применения пульсирующего дутья в технологиях газификации ТБО на свалочных полигонах. Рассмотрено влияние пульсации на гидравлическое сопротивление и скорость потока в скважинах и в зоне газификации.

Summary

Sources of formation of solid household waste, technology of creation of rubbish ranges at landfills are described. Efficiency of application of pulsing blasting in technologies of gasification of solid household waste at landfills is shown. Influence of a pulsation on stream hydraulic resistance and speed in wells and in the gasification zone is considered.

Нетрадиционными постоянно возобновляемыми топливно-энергетическими ресурсами могут быть различные виды бытовых отходов, складываемые на полигонах. При этом следует отметить, что твердые бытовые отходы (ТБО) – это топливо, которое не будет исчерпано до тех пор, пока существует человечество. Отходами являются остатки материалов, изделий, продуктов, образовавшихся в процессе производства или потребления, товары, утратившие потребительские свойства. Процесс образования отходов является не-

прерывным и находится в постоянном развитии и зависимости от уровня технического развития и прогресса, потребительских возможностей населения, а также его экологической грамотности.

В различных странах количество образующихся отходов зависит от жизненного уровня общества. Так на душу населения в США приходится 2 кг бытовых отходов в день (или 730 кг в год), в Великобритании – 0,9 кг (или 328,5 кг в год), в России 0,6...0,8 кг в день (или 220...292 кг в год), а в Беларуси 0,7...0,8 кг в день (или 255...292 кг в год) [1].

В развитых странах величина отходов ежегодно увеличивается на 4...5%.

В Германии на 409 крупных свалках городского мусора имеются сборные пункты биогаза, образующегося при разложении органических компонентов мусора. В среднем на свалках Германии из 1 т мусора вырабатывается около 100 м³ биогаза. При общем объеме выделения биогаза со свалок в размере 4 млрд м³ в год (что эквивалентно 2 млрд м³ природного газа) его полезное потребление составляет около 400 млн м³ в год. Биогаз после его очистки используют для полу-



Добыча
свалочного газа
на полигоне
ТКО «Тростенец»



Две газопоршневые установки мощностью по 1 МВт, работающие на свалочном газе, введены в действие на полигоне ТКО «Тростенец». Их годовой экономический эффект – 2,24 тыс. т у.т., или 470,4 тыс. \$; срок окупаемости проекта 4,8 года

чения электрической и тепловой энергии, расходуемой для промышленных целей и в системах отопления. Количество биогаза, генерируемого на свалках, колеблется от 10 до 1200 м³ в час. Мощность установок для производства электроэнергии из биогаза составляет от десятка до нескольких тыс. кВт, что позволяет обеспечивать энергией различное число потребителей – от нескольких домов до небольшого поселка. Нередко биогаз используется в качестве топлива в энергетических установках с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В России себестоимость полученной энергии на установках с ДВС примерно в 2–2,5 раза ниже тарифов на электроэнергию для населения.

Примером получения газа из органических отходов в Республике Беларусь являются установки мощностью 2,0 МВт и 2,8 МВт, находящиеся под Минском, на полигонах ТБО «Тростенец» и «Северный». Сегодня несколько крупных биогазовых установок построено в аграрном секторе: в ОАО «Гомельская птицефабрика» (340 кВт), РУСП СГЦ «Западный» Брестского района (500 кВт), в филиале «Агрофирма «Лебедево» РУП «Минскэнерго» Молодечненского района (500 кВт), на ППЗ «Белорусский» Минского района (340 кВт и 180 кВт), в СПК «Агрокомбинат «Снов» Несвижского района (2 МВт). Принимая во внимание важность утилизации отходов, в Беларуси планировалось построить в 2012 году семь новых биогазовых установок и заводов, работающих на сельскохозяйственных отходах, с электрической мощностью 1–3 МВт каждый. Будут реализованы проекты в ОАО «Гастелловский» (мощность 3,0 МВт), ОАО «Совхоз-комбинат «Сож» (мощность 1,0 МВт); ЗАО «Липовцы» (мощность 3,0 МВт); СГЦ «Западный» Брестского района, сельскохозяйственном производственном кооперативе «Маяк Коммуны» (мощность 1,0 МВт); РСУП «Совхоз «Слуцк» (мощность 1,0 МВт); РУСПП «Свинокомплекс «Борисовский» (мощность 1,0 МВт); СПК «Вишневецкий» (мощность 1,0 МВт). Кроме того, с помощью иностранных инвесторов планируется построить в ближайшее несколько лет шесть биогазовых установок на очистных сооружениях и 5 биогазовых установок на этаноле. В частности, строительство таких установок запланировано на коммунальных предприятиях «Минскводоканал» (инвестиции около 20 млн долларов США); Бобруйское УКДПП «Водоканал» (инвестиции около 5 млн долларов США); КУПП «Водоканал» г. Барановичи (инвестиции около 5 млн долларов США); ОАО «Слонимский водоканал» (инвестиции около 3 млн долларов США); Строительство 3–5 биогазовых комплексов запланировано на спиртзаводах концерна «Белгоспищепром» (инвестиции около 15 млн долларов США).

В настоящее время интенсивно развиваются два основных направления энергетической утилизации твердых бытовых отходов – сжигание и захоронение с получением биогаза. Сжигание отходов требует дорогостоящих систем очистки, поэтому во всем мире более широко распространено полигонное захоронение твердых бытовых отходов. Основное достоинство технологии захоронения – простота, сравнительно малые капитальные и эксплуатационные затраты и относительная безопасность. При разложении бытовых отходов выделяется биогаз, содержащий до 60% метана, что позволяет его использовать в качестве местного топлива. В среднем при разложении одной тонны твердых бытовых отходов может образовываться 100–200 м³ биогаза. В зависимости от содержания метана низшая теплота сгорания свалочного биогаза составляет 18–24 МДж/м³ (примерно половину теплотворной способности природного газа). [2].

В странах СНГ на полигоны вывозится значительная часть – около 90% – образовавшихся промышленных и бытовых отходов. Так как в твердых бытовых отходах содержится до 60...80% органических отходов (пищевые отходы, бумага, картон, отходы древесины, текстиля и др.), которые разлагаются с образованием газообразных веществ, то возникает проблема его энергетически эффективного использования.

При разложении одной тонны ТБО может образовываться 100...200 м³ биогаза. Ежегодные выбросы метана с российских свалок составляют около 1,1 млрд м³ (788 тыс. тонн). В Украине потенциал свалочного газа составляет около 400 млн м³ в год, в Беларуси – от 100 до 200 млн м³ в год, в США объем выбросов свалочного газа составляет около 36% от объема выбросов всех парниковых газов [3].

Теплота сгорания образовавшегося на свалочных полигонах биогаза зависит от содержания метана и варьируется в интервале от 18 до 24 МДж/м³.

Использование такого газа в энергетике накладывает некоторые ограничения, связанные с его извлечением из свалочного пласта. Для его извлечения и подготовки к сжиганию требуются специальные технические средства: изолирующий экран, газовые скважины, газосборная система, комприрующие устройства.

Кроме того, как показала практика, использование свалочного биогаза можно начать только через 5...10 лет после формирования свалочного тела. Считается, что источник является наиболее рентабельным при массе свалочного тела 1 млн тонн и более. За 30...50 лет утилизируется 30% «захороненной органики», а оставшаяся часть продолжает разлагаться с уменьшающейся

скоростью в течение последующих десятилетий, а возможно и столетий. Таким образом, свалочный полигон твердых бытовых отходов может быть достаточно стабильным источником получения энергетических ресурсов и других продуктов в течение длительного периода времени.

Распространенная система сбора биогаза, получаемого на полигонах ТБО, состоит из сети вертикальных скважин, соединенных между собой трубами, которые собирают образовавшийся газ и подают его потребителям для получения энергии.

Скважины на полигонах ТБО можно бурить, когда полигон или одна из его секций целиком заполнены отходами [2]. Горизонтальная связь в нижней части вертикальных скважин позволяет получать газ во время заполнения свалки.

Для извлечения биогаза из свалки должны быть размещены горизонтальные системы в поверхностных слоях на глубине 2...4 метра. На глубоких свалочных полигонах для увеличения эффективности получения газа одновременно используют вертикальные скважины и горизонтальные коллекторы.

Как уже отмечалось, качество биогаза, получаемого внутри полигонного генератора ТБО, в значительной мере зависит от способа ведения процесса, состава применяемого дутья, равномерности горения, температуры и др. Одним из путей повышения качества биогаза и КПД внутрполигонного газогенератора может быть эффективный метод пульсирующего дутья с образующимися друг за другом циклами – фазой нагнетания, фазой разрежения, как это происходит в процессах подземной газификации углей. При пульсирующем дутье толчкообразное изменение скорости подаваемого реагента в скважины очищает их стенки, а также стенки огненного канала.

Применение пульсирующего дутья способствует сокращению аэродинамического сопротивления, что дает экономию в расходе энергии [4].

Как показали исследования [5], пульсирующий поток в котельных трубах увеличивает конвективный теплообмен, поэтому следует ожидать, что применение пульсирующего дутья на свалках ТБО интенсифицирует процесс газообразования.

Выбор режима пульсаций позволяет получать более богатый биогаз из полигонных газогенераторов ТБО и соответственно повышать КПД газификации [4, 6].

$$\eta_{\Gamma} = \frac{Q_{\Gamma}}{Q_{\Gamma} + Q_{\Gamma\Gamma} + Q_{\Pi} + Q_{\text{вл}} + Q_{\text{вп}}}, \quad (1)$$

где Q_{Γ} – теплота сгоревших ТБО, израсходованная на образование горючего биогаза;

$Q_{\Gamma\Gamma}$ – теплота на нагрев газа ТБО на полигоне;

Q_n теплота на нагрев;
 $Q_{вп}$ теплота на нагрев водяных паров;
 $Q_{вл}$ теплота на испарение влаги.

Пульсирующее дутье уменьшает засорение огневого канала, а также способствует закрытию «паразитных» каналов, что ведет к равномерному распределению газа по поперечному сечению канала.

Аэродинамические процессы, протекающие в элементах газогенератора на полигоне ТБО, представим системой уравнений [6].

$$\frac{\delta p}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x}(pW) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\delta}{\delta t}(pW) + \frac{\delta}{\delta x}(P + pW^2) + \frac{\lambda}{2D}pW|W| = 0 \quad (3)$$

$$P = pC^2 \quad (4)$$

где x – координаты вдоль оси трубы, t – время; P, W, p – средние по сечению давление, скорость и плотность газа; D – диаметр трубы; λ – коэффициент трения; C – скорость звука.

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

Гарантийные условия:
 $W(x, 0) = W_0 + W \cdot \sin \omega t, \quad P(L, t) = P_0 \quad (6)$

Решение системы (2...4) имеет вид:

$$W^*(x^*, t^*) = 1 + \frac{V^*}{c \cdot 2MR + \cos 2H} \cdot \{ \sin H t^* [\cos H x^* \cdot chMR(2-x^*) + \cos H(2-x^*) \cdot chMRx^*] - \cos H t^* [\sin H x^* \cdot shMR(2-x^*) + \sin H(2-x^*) \cdot shMRx^*] \} \quad (7)$$

$$P^*(x^*, t^*) = 1 + RM^2(1-x^*) + \frac{V^* M}{ch2MR + \cos 2H} \cdot \{ \sin H t^* [\cos H x^* \cdot shMR(2-x^*) + \cos H(2-x^*) \cdot shMRx^*] + \cos H t^* [\sin H(2-x^*) \cdot shMRx^* - \sin H x^* \cdot chMR(2-x^*)] \} \quad (8)$$

$$x^* = \frac{x}{L}, \quad t^* = \frac{Ct}{L}, \quad P^* = \frac{P}{P_0}, \quad W^* = \frac{W}{W_0}$$

$$V^* = \frac{W^*}{W_0}, \quad M = \frac{W_0}{C}, \quad H = \frac{\omega L}{C}, \quad R = \frac{\lambda L}{2D}$$

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:

Рисунок 1. Распределения по длине амплитуд колебаний скорости

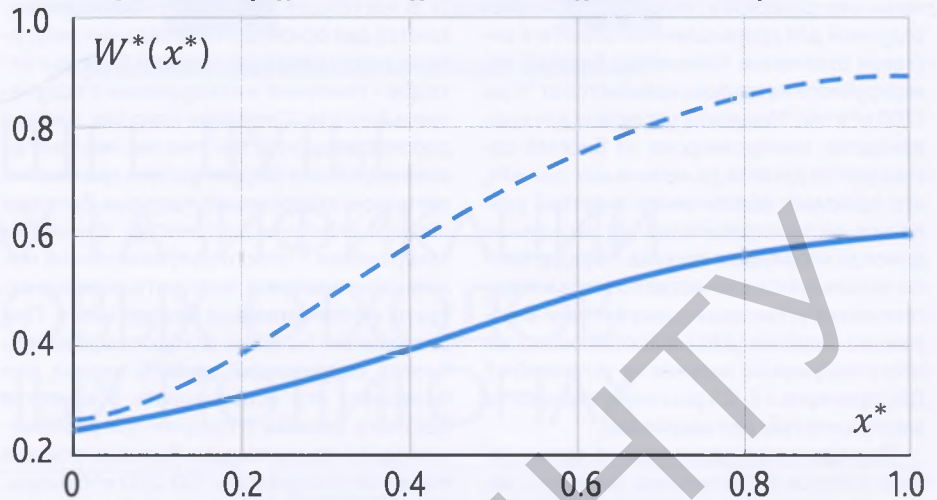
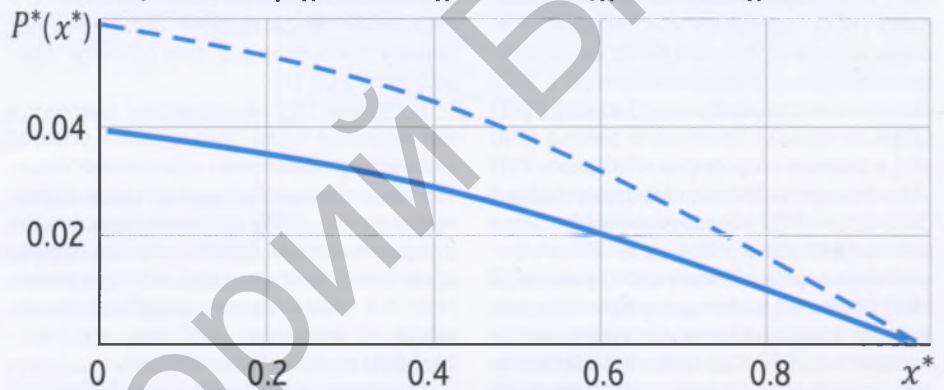


Рисунок 2. Распределения по длине амплитуд колебаний давления



$x = 0,5; L = 5; c_{зв} = 320 \text{ м/с}; P_0 = 10 \text{ м.вс}; W = 2,5 \text{ м/с}; W_0 = 0,5 \text{ м/с}; \omega = 2\pi f = 6,28 \text{ м/с}; \lambda = 0,02; D = 0,5 \text{ м}.$

Полученные результаты отразим на графиках 1 и 2.

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

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 (2) – (4), необходимы дополнительные исследования.

Выводы

1. Приведены источники формирования твердых бытовых отходов (ТБО), затронута технология создания свалочных полигонов ТБО.

2. Показана эффективность применения пульсирующего дутья в технологиях газификации ТБО на свалочных полигонах.

3. Рассмотрено влияние пульсации на гидравлическое сопротивление и скорость потока в скважинах и в зоне газификации.

Литература

1. Майсюк, Е.П. Твердые бытовые отходы и их энергетический потенциал // Энергия, технология, экология. – 2008. – №8. – С. 26–31.
2. Масликов, В.И. Энергетическое использование биогаза полигонов твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://e-weg.com/eweg25/2013-03-01-13-29-11/stati/dannye-dlya-rascheta-ekonomicheskogo-effekta-po-snizheniyu-vybrosa-parnikovykh-gazov> – Дата доступа : 20.10.2013.
3. Соловьянов, А.А. Утилизация отходов в свете требований Киотского протокола // Твердые бытовые отходы. – 2008. – №4. – С. 14–17.
4. Белов, В.И. Пульсирующее дутье как метод регулирования качества газа при ПГУ // Подземная газификация углей. – 1957. – №2. – С. 90–92.
5. Агаджанян, Г.Г. Конвективный теплообмен в трубах при пульсирующем движении газов. Теория подобия и моделирования. – М.: Издательство АН СССР, 1951
6. Чуханов, З.Ф. Некоторые проблемы топлива и энергетики / З.Ф. Чуханов. – М.: Издательство АН СССР, 1961.
7. Владиславлев А.С. и др. О газодинамическом расчете пульсирующего потока в трубопроводах // Журнал прикладной математики и технической физики. – 1972, – №4. – С. 85–88.

Статья поступила в редакцию 22.10.2013