

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ МАШИН ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БИОГАЗА ПОЛИГОНОВ ТБО, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ И РАЗМЕРНОСТЕЙ

Гонопольский А.М., Кушнир К.Я.

Московский государственный университет инженерной экологии

Одним из наиболее распространенных способов утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) является их захоронение на полигоне. Но данный метод обращения с отходами имеет ряд недостатков, одним из которых является образование биогаза, приводящего к ухудшению экологической обстановки и увеличению пожароопасности. Поэтому возникает вопрос об экологически безопасной утилизации образующегося биогаза.

Традиционная технология утилизации биогаза на полигонах ТБО предусматривает извлечение биогаза из тела полигона, его транспортировку, подготовку к утилизации и обезвреживание (Рис. 1.).

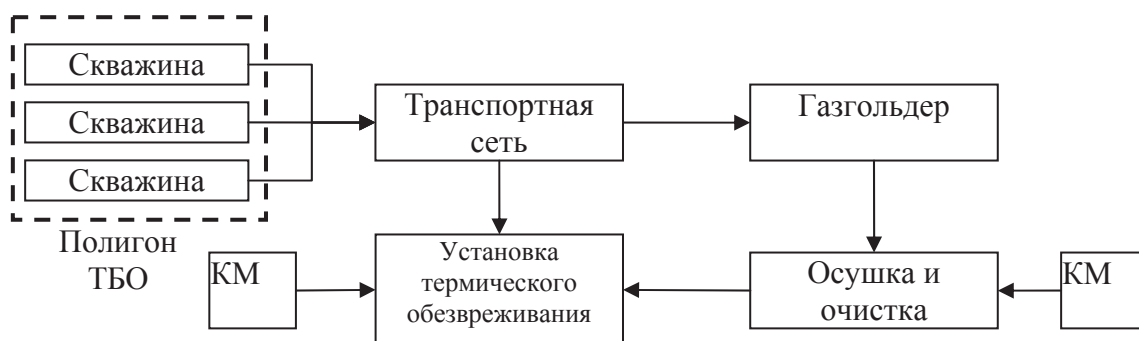


Рис. 1. Схема утилизации полигонного биогаза
КМ – компрессорное оборудование.

Согласно данной схеме, извлекаемый биогаз проходит через сеть трубопроводов, аппараты обогащения и осушки биогаза, а также его химической очистки от сероводорода, как правило, на адсорберах, а затем через установку термического обезвреживания (в горелке, тепловой машине, турбине и пр.).

Для энергетической утилизации биогаза необходимо высокое содержание метана и низкое содержание влаги, сероводорода, хлорсодержащих соединений, а так же ароматических соединений, которые являются балластными в термодинамическом отношении. По этой причине необходимо подтверждать для каждого полигона состав биогаза. Проведенное исследование с пробами биогаза, отобранного на полигоне ТБО «Сафоново» Раменского района Московской области, в зависимости от глубины изъятия биогаза, подтверждает наличие в составе биогаза ряда токсичных соединений. Данные соединения при сжигании приводят к образованию новых строго нормируемых соединений и уменьшению срока службы оборудования за счет химической коррозии аппаратов

термической утилизации – двигателей внутреннего сгорания, турбин. (Таблица 1)

Усредненное значение компонентов биогаза на полигоне Сафоново

Таблица 1.

Место отбора проб	Концентрация, мг/м ³									
	пыль	CxHy	NO ₂	H ₂ S	SO ₂	CO	бензол	толуол	этилбензол	ксилолы
ПДК	0,5	1,0	0,085	0,008	0,5	0,5	1,5	0,6	0,02	0,2
На поверхности из оголовка	10,26	1,83	0,02	0,005	0,05	1,0	0,35	0,14	0,12	0,06
На глубине 0,4м	14,31	4,43	-	-	-	1,75	0,06	0,02	0,02	0,01
На глубине 1м	15,8	5,6	-	-	-	2,3	0,02	0,01	-	-
На глубине 2м	17,2	8,3	-	-	-	3,1	-	-	-	-
На глубине 10м	21,1	10,1	-	-	-	2,2	-	-	-	-

Анализ состава сжигаемого биогаза показал, что наиболее вероятной причиной возникновения опасных компонентов в отходящих газах после сжигания может быть высокодисперсная пыль, попадающая в горелку вместе с потоком биогаза концентрация которой возрастает с глубиной взятия проб. Известно, что пылевые частицы, обладающие высокоразвитой поверхностью, являются адсорбентами. При их сжигании происходит десорбция и выделение сорбированных соединений в газовую фазу. Таким образом, для использования биогаза в качестве рабочего тела ТМ необходимо проводить не только осушку и компримирование биогаза перед сжиганием, но и очистку отходящих газов, как перед сжиганием (в том числе от пыли), так и после него от токсичных газообразных соединений.

Таким образом, учитывая, что целью термической утилизации биогаза на полигонах является не только улучшение экологической ситуации в зоне их расположения, необходимо сравнить различные термодинамические циклы тепловых машин, работающих на реальном составе биогаза (Таблица 1) и модельном метан-углекислотно-воздушном. Это сравнение является второй задачей исследования, выполненной для цикла Дизеля (при постоянном давлении), цикла Тринклера (смешанный), цикла Отто (при постоянном объеме), Брайтона (при постоянном давлении), так как энергия, получаемая от термической утилизации, расходуется на технико-экологические цели.

Расчеты показали, что наиболее энергетически значимым, является цикл Дизеля. Этот факт также подтверждается и тем, что двигатели, работающие на этом цикле, получили наибольшее распространение в зарубежной практике для термической утилизации биогаза.

На основании полученных результатов, можно утверждать, что экологическая безопасность ТМ, работающей на биогазе, определяется разницей между полезной работой цикла и затратами работы системы сбора, транспортировки, подготовки, очистки от выбросов и пыли. Результаты расчетов приведены на рис. 2 в виде зависимостей.

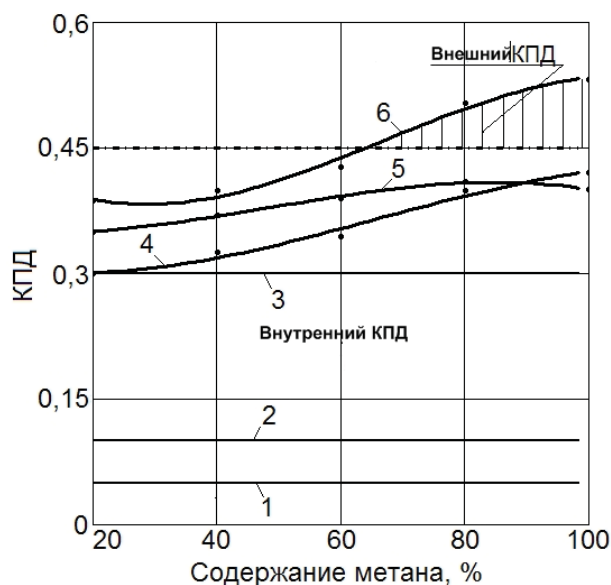


Рис. 2. Зависимость КПД ТМ с учетом технико-экономических затрат и термодинамического КПД циклов от содержания метана в биогазе. (1 – очистка биогаза от пыли перед сжиганием, 2 – сжатие биогаза перед сжиганием до 1,2МПа, 3 – осушка биогаза перед сжиганием и его очистка после сжигания, 4 – КПД цикла Отто, 5 – КПД цикла Тринклера, 6 – КПД цикла Дизеля, - · - · - суммарные затраты).

Таким образом, термодинамический КПД любого цикла ТМ является его верхним пределом, поэтому область рационального применения установок по термической утилизации биогаза на полигонах захоронения ТБО существенно меньше (штрих – пунктирная линия на рис.2.)

Для реализации третьей поставленной задачи, в исследовании был использован программный продукт, созданный на кафедре ТиТП ОПиП МГУИЭ. При расчетах на ЭВМ были получены безразмерные комплексы, которые вошли в итоговые критериальные соотношения (Таблица 2).

Уравнения подобия для циклов ТМ

Таблица 2

Наименование цикла	
Цикл Дизеля	$\frac{N_{ТМ}}{N_3} = 0,852 \cdot \left(\frac{C_p}{C_v}\right)^{0,013} \cdot \left(\frac{N_3^2 \cdot \rho}{P_2^3 \cdot L^4}\right)^{-0,013} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{-0,09} \quad (1)$
Цикл Тринклера	$\frac{N_{ТМ}}{N_3} = 0,445 \cdot \left(\frac{C_p}{C_v}\right)^{0,013} \cdot \left(\frac{N_3^2 \cdot \rho}{P_2^3 \cdot L^4}\right)^{-0,013} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{-0,09} \quad (2)$
Цикл Отто	$\frac{N_{ТМ}}{N_3} = 0,199 \cdot \left(\frac{C_p}{C_v}\right)^{0,02} \cdot \left(\frac{N_3^2 \cdot \rho}{P_2^3 \cdot L^4}\right)^{-0,02} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{-0,12} \quad (3)$

Анализируя полученные критериальные соотношения (1-3), можно сделать вывод, что работа данных процессов и аппаратов зависит от

показателя адиабаты, то есть термодинамических свойств биогаза (теплотворной способности), отношения глубины изъятия к диаметрам скважин и трубопроводов, а так же от гидравлических сопротивлений, на преодоление которых необходимо затратить мощность, получаемую от ТМ.

Выводы:

Таким образом, был исследован процесс термического обезвреживания полигонного биогаза с учетом его термодинамических свойств. Установлены пределы применимости тепловых машин. Получены критериальные соотношения для расчета и проектирования тепловых машин утилизации биогаза в зависимости от свойств извлекаемого биогаза и глубины изъятия.

1. Гонопольский А.М., Мурашов В.Е., Борисов Н.И., Кушнир К.Я. К вопросу о рациональном использовании биогаза, образующегося на полигонах ТБО. Труды IV международной научно-практической конференции «Экологические проблемы индустриальных мегаполисов». 5-7 июня 2007. МГУИЭ. с.14-29.
2. Вайсман Я.И., Вайсман О.Я., Максимова С.В. Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов. Пермь. «Книжный мир». 2003. 231 с.
3. Гонопольский А. М., Мурашов В.Е., Кушнир К.Я., Борисов Н. И. Сравнение эколого-экономических характеристик методов утилизации свалочного газа // Рециклинг отходов. №3 (9). 2007. с. 2-7.
4. Томашпольский В. И., Несенчук А. П., Трусова И.А. Промышленные теплотехнологии: Методики и инженерные расчеты оборудования высокотемпературных теплотехнологии машиностроительного и металлургического производства.: Учебник. Минск. Вышэйшая школа. 1998. 422 с.
5. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника.: Справочник/ кн.4. 2-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1991. 588 с.
6. Цанев СВ. и др. Методика расчета тепловых схем газотурбинных и парогазовых электростанций: Методическое пособие по курсу «Парогазовые и газотурбинные электростанции». М.: Изд-во МЭИ, 2004.
7. Гонопольский А. М., Мурашов В.Е., Кушнир К.Я. Теория подобия в прикладной инженерной экологии // Экология и промышленность России. 2007. №10 с. 22-25
8. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad: Учебный курс. С. – Петербург: Питер, 2004.