

Альтернативное топливо для БТЭС

С. Зотов, к. т. н.

Как известно, в России хорошо живется тому, у кого в трубе есть газ. Есть же он не у всех, хотя бы из-за неодинакового развития газовой инфраструктуры в различных регионах. Но даже если доступ к трубе присутствует, газ всё-таки стоит денег, пусть и относительно небольших для нашей страны. А ведь иногда можно и этих трат избежать – стоит только посмотреть вокруг, чтобы обнаружить неподалеку нечто, что всегда считалось отбросами, отходами и т.п., но из чего, тем не менее, можно добывать свет и тепло.

Газопоршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС) блочных теплоэлектростанций (БТЭС) могут работать на самых различных видах горючего газа, полученного из бытовых или производственных отходов. Рассмотрим самые распространенные из них – генераторный (он же древесный), биологический (биогаз) и свалочный (газ мусорных свалок).

Древесный газ

Древесным называется газ, полученный способом газификации – высокотемпературного процесса превращения древесины, лузги и других видов сухой биомассы в горючую смесь газов и золу (отметим, аналогичное превращение возможно также с любыми видами угля и торфом, но газ в данном случае называют по-другому). Процесс происходит в условиях ограниченного доступа воздуха в реакторе, называемом газовым генератором или газогенератором. Эффективность процесса относительно высока: на стадии газификации около 75 % энергетического содержания исходного топлива превращается в горючий газ, который затем можно использовать в качестве топлива для ДВС. Следует, однако, учитывать, что мощность двигателя внутреннего сгорания, работающего на дре-

весном газе, на 25–35 % ниже его мощности при работе на бензине.

Состав древесного газа зависит от множества факторов – вида исходного материала, его влажности, размера частиц и т.п. В качестве примера в табл. 1 приведен состав газа, полученного из лузги подсолнечника.

Большое значение имеет также состав дутья. Например, если в генератор вместе с воздухом подается водяной пар, то газовая смесь на выходе содержит существенно больше (до 40 %) водорода. Расход исходного материала и теплота сгорания полученного газа также изменяются в широких пределах. Например, из 1 кг древесной щепы получают, в зависимости от условий, от 1,8 до 2,5 м³ (н.у.) газа с теплотой сгорания 3,8–5,0 МДж/м³.

Очевидно, что для стабильной работы энергетической установки необходимо в первую очередь обеспечить стабильность характеристик твердого топлива на входе в газогенератор. С этой целью исходный материал подвергают предварительной обработке: сортировке, измельчению, сушке, брикетированию и т.п. Выходящий из генератора газ имеет высокую температуру (в самом генераторе она достигает 1300 °С) и может содержать пыль, смолы и примеси, недопустимые для ДВС (такие, например, как оксиды серы). Поэтому прежде чем пустить его в дело, газ охлаждают, очищают, осушают и фильтруют. Таким образом, БТЭС оказывается лишь скромным завершением целой технологической цепочки производства и подготовки древесного газа (рис. 1).

Несмотря на всю сложность газогенераторной установки, добиться совершенно стабильного состава газа на выходе из нее не удастся. Скомпенсировать изменения состава газа на выходе газогенераторной установки может система управления ДВС (такая, например, как DIA.NE®XT австрийской фирмы Jenbacher), способная быстро реагировать на изменение теплоты сгорания газа и согласовывать работу газогенератора и БТЭС.

Большое разнообразие древесных и растительных отходов, пригодных для газификации,

Таблица 1. Состав генераторного газа по компонентам, % объема

CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m	CO ₂	N ₂	O ₂	Горючая часть
32,3	12,5	5,2	0,25	10,1	34,3	5,3	50,25

Источник – АФ «Перспектива».

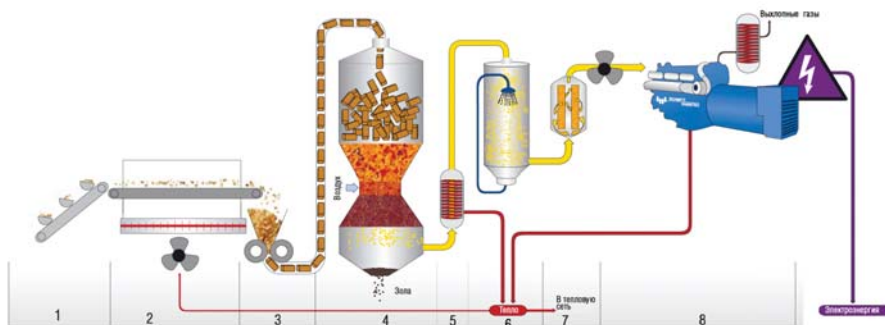


Рис. 1. Схема газопоршневой БТЭС на древесном газе (Schmitt Enertec GmbH):

1 – подача щепы; 2 – сушка щепы; 3 – брикетирование; 4 – газогенератор; 5 – охладитель газа; 6 – газоочистка; 7 – газовый фильтр-осушитель; 8 – БТЭС на древесном газе

**Таблица 2. Характеристики БТЭС на древесной щепе
(производитель – Schmitt Enertec)**

Мощность электрическая, кВт	250	500	750	1000
Мощность тепловая, кВт	525	1050	1575	2100
Расход древесины (УТС – 4,4 кВт·ч/кг, или 3780 ккал/кг, влажность – 10%), кг/ч	245	490	735	980
Мощность сжигания газа, кВт	970	1940	2910	3880
Потребление тепла для сушки древесины, кВт	75–150	150–300	225–450	300–600
Выход золы, кг/ч	5	10	15	20

фикации, делает невозможным выпуск стандартных комплексов оборудования для работы БТЭС на древесном газе. Поэтому изготовители такого оборудования идут по пути стандартизации отдельных компонентов – газогенераторов, систем подготовки исходного материала и газа. Целиком же энергетический комплекс с БТЭС на древесном газе – изделие всегда штучное, разрабатываемое и поставляемое под заказ.

Современный рынок предлагает укомплектованные газогенераторами БТЭС электрической мощностью от нескольких десятков киловатт до нескольких мегаватт. В *табл. 2* представлены характеристики типоряда таких установок, работающих на древесной щепе.

Основные проблемы при работе ДВС на древесном газе – осаждение смол (дегтя) на деталях двигателя и присутствие вредных веществ в его выхлопе. Содержание в газе смол зависит от технологических параметров процесса газификации и степени очистки газа. Их осаждение приводит к необходимости более частого технического обслуживания двигателя, поэтому требуемая частота чистки двигателя – показатель качества установки газификации. Так что у заказчика есть выбор: потратить деньги на систему полной очистки или на более частое техобслуживание.

Поскольку одна из основных составляющих древесного газа – угарный газ (СО), при его неполном сгорании в ДВС выхлоп содержит недопустимую его концентрацию – от 2000 до 4500 мг/м³. Обработка выхлопных газов методом каталитической очистки позволяет снизить ее на 50–90 %.

Биогаз

Биогазом принято называть смесь газов, вырабатываемую бактериями при анаэробном сбраживании органических веществ. В процессе участвуют несколько

видов бактерий: одни разлагают сложные органические вещества на более простые, другие (метанобразующие) превращают эти уже простые вещества в еще более простые: метан и углекислый газ. Обе группы бактерий существуют в симбиозе, что придает процессу производства биогаза высокую стабильность. Участвующие в процессе бактерии могут быть либо мезофильными (и тогда процесс наилучшим образом протекает при температуре 25–45 °С), либо термофильными, для которых оптимальная температура составляет 45–55 °С. Период ферментации у термофильных бактерий короче (10 дней против 25–30 у мезофильных), значит, их производительность выше.

Исходным материалом для производства биогаза могут быть навоз, зеленая масса, отходы пищевых производств, бытовые стоки и пр. В отличие от процесса газификации, здесь исходный материал

(субстрат) должен содержать большое (около 90 %) количество влаги. От половины до двух третей органических веществ, содержащихся в субстрате, перерабатывается в биогаз, состоящий в основном из метана (50–75 %) и СО₂, а остатки, или шлаки, представляют собой ценное органическое удобрение и могут быть использованы в сельском хозяйстве.

Весь процесс происходит в реакторе, состоящем из заполненного субстратом ферментатора и газгольдера, в котором скапливается выделяющийся биогаз. Ферментатор обычно представляет собой жесткую конструкцию из металла или бетона, газгольдер же часто выполняется из полимерной пленки, надуваемой, как шарик (*рис. 2*). Для поддержания оптимальных условий в ферментаторе он снабжается устройствами перемешивания и подогрева субстрата. Как и в производстве древесного газа, исходный материал перед подачей в реактор подвергается предварительной обработке: гомогенизации, разжижению, стерилизации (последнее – чтобы впоследствии в ферментаторе над субстратом работали только «правильные» бактерии) и т.п. Очистка биогаза производится, если только в нем присутствуют следы соединений серы (например, сероводород).

Энергетический потенциал различных видов сырья для получения биогаза можно оценить на основании данных в *табл. 3*, приняв удельную теплоту сгора-



Рис. 2. БТЭС на биогазе (Haase Energietechnik)

ОТОПЛЕНИЕ И ГВС

ния биогаза за 25 МДж/м³, что соответствует содержанию в нем 70 % метана.

Благодаря большому разнообразию возможных источников сырья и сравнительно простой технологии производства биогаз сейчас – самое популярное альтернативное топливо для БТЭС. По данным компании GE Energy, только ею к 2008 г. было поставлено по всему миру 1150 БТЭС на биогазе совокупной электрической мощностью 800 МВт.

Свалочный газ

Устройство для добычи свалочного газа выглядит чрезвычайно простым: в толщу свалки ввинчивается множество перфорированных труб, через которые вентиляторами откачивается газ (рис. 3). Этот газ затем сжимается, осушается и сжигается в двигателе БТЭС.

Откуда же берется газ в толще свалки? Тонна бытового мусора содержит от 150 до 250 кг связанного углерода органических веществ. Под воздействием микроорганизмов и без доступа воздуха эти вещества разрушаются с образованием газа, содержащего 40–50 % метана, 35–45 % углекислого газа, небольшое количество азота и кислорода из воздуха, а также влагу. Данный процесс набирает силу через 1–2 года после захоронения мусора и продолжается, постепенно угасая, в течение 15–25 лет. За это время из одной тонны мусора выходит 150–250 м³ (н.у.) свалочного газа. Таким образом, средняя городская свалка объемом 100 тыс. т может ежегодно давать около миллиона кубометров свалочного газа, из которого можно выработать около 1,7 ГВт·ч электроэнергии.

Всё это выглядит слишком красиво, чтобы быть полной правдой. Сам по себе свалочный газ практически бесплатен, однако капитальные затраты на оборудование для его сбора, перекачки и подготовки могут быть значительными. Например, анализ более чем четырехсот энергетических проектов с использованием свалочного газа в США (каждый год в строй вводится около 30 объектов) показал: установка оборудования для сбора газа стоит в среднем 600 долл. на тысячу тонн мусора. Сооружение трубопроводов стоит в среднем 160 тыс. долл./км, при том, что большинство проектов укладываются в длину 3–8 км. Стоимость БТЭС составляет 1500–5000 долл./кВт. Это объясняется необходимостью подготовки топлива, а также более низкими мощностью и КПД двигателя, чем при его работе на природном газе. Следует отметить: в большинстве проектов свалочный газ используется для производства только электроэнергии на продажу, а попутное тепло выбрасывается.

Такая активность в освоении запасов свалочного газа в США отчасти объясняется наличием федерального закона, предписывающего владельцам особо крупных свалок, в экологических целях, откачивать и сжигать свалочный газ. В РФ, насколько нам известно, пока до такого закона дело не дошло, да и природный газ, как уже было отмечено, пока слишком дешев для того, чтобы в условиях его доступности искать ему альтернативу. Однако, как давным-давно замечено, всё меняется.

Таблица 3. Потенциал получения биогаза из различного сырья

Материал	Выход биогаза на тонну влажного материала, м ³
Навоз (суточный выход от около 20 коров)	20–70
Отсортированные пищевые отходы домохозяйств	10–200
Отходы растениеводства (солома, непищевое зерно)	180–300
Зеленая масса несеяных растений с отдыхающих полей	150–200
Осадок сточных вод	80–150
Жир	1000
Биоотходы:	
боен	100
пивоваренных и спиртовых производств	20
производств вин и соков	30
молокозаводов	25
целлюлозных и сахарных производств	40–60

Источник – GE Energy.

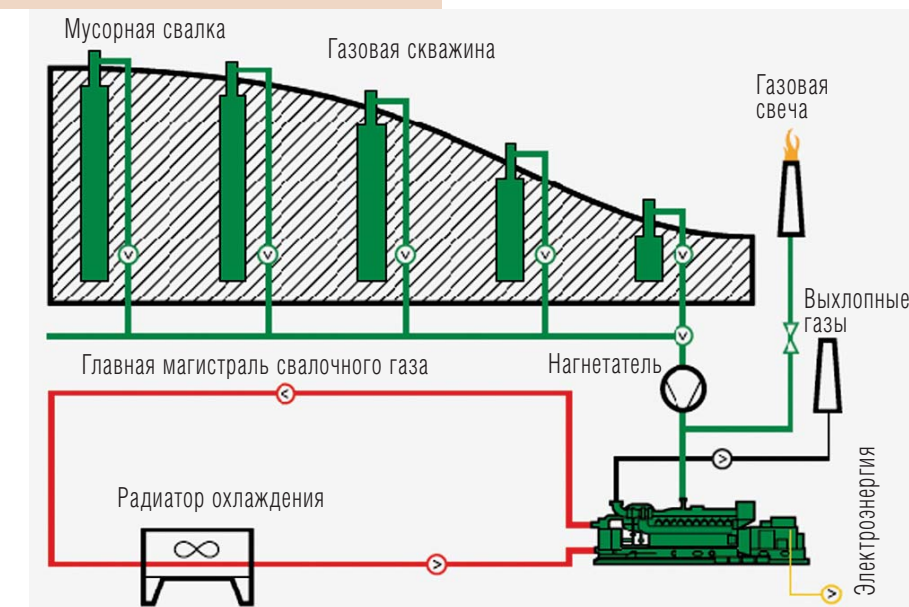


Рис. 3. Установка для получения и использования свалочного газа

А-Т 52.204