

– 4д–5: Изобарный процесс охлаждения воды за счет нагрева воздуха от  $p_{4д}$ ,  $t_{4д}$  до  $p_5$ ,  $t_5$ .

Зависимость подведенной энергии и коэффициента использования электроэнергии от КПД турбокомпрессора представлена в таблице 1, а от степени увеличения давления в турбокомпрессоре – в таблице 2.

Таблица 1. Изменение параметров установки от КПД

КПД компрессора, %	60	65	70	75
Подведенная электроэнергия, кВт	108,11	96,81	87,12	78,73
КПД, %	69,35	77,44	86,05	95,23

Таблица 2. Изменение параметров установки от степени увеличения давления

Степень увеличения давления	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Подведенная электроэнергия, кВт	42,86	71,22	96,81	120,08	141,44
КПД, %	30,19	65,62	77,44	82,83	85,69

### Литература

1. Дизели / Под ред. В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Колеров. – Л.: Машиностроение, 1977.
2. Циннер К. Наддув двигателей внутреннего сгорания. – Л.: Машиностроение, 1978.
3. Хрусталеv Б.М., Несенчук А.П., Романюк В.Н. Техническая термодинамика. Ч. 1. – Минск: УП «Технопринт», 2004.

УДК 620.9

## ГЕНЕРАЦИЯ БИОГАЗА НА ПОЛИГОНАХ ТБО

*Плескач А.В.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ЛОСЮК Ю.А.

Уже в ближайшие 2–3 года не менее 25 % вырабатываемой в стране энергии должно базироваться на местном сырье для обеспечения суверенитета и независимости РБ – задача, которую поставил перед республикой глава государства [1].

По данным Комитета по энергоэффективности Республика Беларусь располагает следующими видами топлива: нефть и попутный газ, торф, горючие сланцы, бурые угли, дрова и отходы древесины. Из возобновляемых источников энергии можно выделить: гидроэнергетические ресурсы, ветроэнергетический потенциал, биомассу, солнечную энергию, геотермальные ресурсы, твердые бытовые отходы [2].

Несомненно, что все источники энергии, которыми располагает республика, не должны оставаться без внимания. В этой связи актуален вопрос применения возобновляемых источников энергии. Без их применения реализация поставленной для государства задачи невыполнима. В Беларуси только начинается установка ветроагрегатов, применение биомассы как источника энергии. Хотелось бы остановить особое внимание на твердых бытовых отходах, т. к. опыт их переработки и применения в качестве источника энергии за рубежом уже велик, а в РБ совершенно не развит. Содержание органического вещества в бытовых отходах составляет 40–75 %, углерода – 35–40 %, зольность – 40–70 %, горючие компоненты в бытовых отходах составляют 50–88 %, теплота сгорания ТБО – 3360–8400 МДж/кг. Так чем же привлекательны ТБО как источник энергии? И что же заставляет мировую энергетику не обходить стороной бытовые отходы? Эффективность данного направления следует оценивать не только по выходу биогаза, но и по экологической составляющей, которая в данной проблеме будет основной.

Еще 7–8 лет назад перед человечеством встала проблема озоновых дыр. А точнее, необходимости прекращения использования озоноопасного хладагента R-22. Этого потребовали и Монреальская конвенция, и Монреальский протокол. Это крупный международный экологический проект, который был успешно реализован. Однако, по завершении данного проекта выяснилось, что не фреон является самым мощным врагом озонового слоя. Установлено, что главным врагом озонового слоя является метан, образующийся при бескислородном брожении – болотный газ и биогаз. По официальной мировой оценке метан в 21 раз опаснее CO<sub>2</sub>. После подписания Киотского протокола любой выброс метана расценивается как атмосферное загрязнение. Отсюда следует необходимость предварительной обработки отходов и извлечение ценного сырья [3].

В Республике Беларусь ежегодно накапливается около 2,4 млн. т твердых бытовых отходов, которые направляются на свалки и два мусороперерабатывающих завода (Минский и Могилевский). На них ежегодно вывозится: бумаги – 648,6 тыс. т; пищевых отходов – 548,6 тыс. т; стекла – 117,9 тыс. т; металла – 82,5 тыс. т; текстиля – 70,8 тыс. т; дерева – 54,2 тыс. т; кожи и резины – 47,2 тыс. т; пластмассы – 70,8 тыс. т. Потенциальная энергия, заключенная в твердых бытовых отходах, образующихся на территории Беларуси, соответствует 470 тыс. т у.т. при их переработке с целью получения газа. При этом эффективность составит не более 20–25 %, что эквивалентно 100–120 тыс. т у.т. Кроме того, необходимо учитывать многолетние запасы ТБО, которые имеются во всех крупных городах и создают проблемы их складирования. Только по областным городам Беларуси ежегодная переработка ТБО в биогаз позволила бы получить около 50 тыс. т у.т., а по Минску – до 30 тыс. т у.т., что эквивалентно энергоснабжению 3–5 крупных предприятий.

В целях анализа и эколого-экономического определения основных путей решения проблемы ТБО в условиях Республики Беларусь целесообразно охарактеризовать в общих чертах мировую и отечественную практику конверсии ТБО.

В мировой практике получение энергии из ТБО осуществляется несколькими способами: сжиганием, активной и пассивной газификацией, в результате которой в толще ТБО образуется биогаз. Наиболее перспективна газификация, т. к. в случае прямого сжигания возникают экологические проблемы, для решения которых требуются инвестиции, двукратно превышающие стоимость самих сжигающих установок.

В Швеции, например, биогаз используется более чем в 100 населенных пунктах. Его годовое производство равно 5 ПДж, а потенциал – в 10 раз выше. К 2020 г. Швеция может стать первой страной мира, которая откажется от использования нефти. В 2004 г. 29 МСУ Швеции перерабатывали более 3,1 млн. т мусора и вырабатывали 9,3 ТВт·ч энергии, в т. ч. 8,6 ТВт·ч тепловой. Потребление жидкого топлива в быту и сфере услуг с 1994 г. снизилось на 15,2 ТВт·ч [4, 5].

В Германии в 1992 г. было 139 предприятий, которые производили биогаз, в 2002 г. их число выросло до 1222. По прогнозам производство биогаза к 2030 г. достигнет 100 млрд. кВт·ч/год, что составит 10 % потребляемого импортного газа. На данный момент стоимость 1 кВт·ч энергии, выработанной с помощью биогаза, равна 20 евроцентам [6].

Годовое количество ТБО, которые образуются в Украине, составляет приблизительно 15 млн. т. Основная часть ТБО располагается на свалках (более 90 %). Потенциал биогаза, доступного для производства энергии на 90 наиболее крупных полигонах ТБО, составляет около 400 млн. м<sup>3</sup>/год или 0,3 млн. т у.т. [7].

В течение 2002–2003 гг. на Луганском полигоне ТБО реализован демонстрационный проект в рамках украинско-американской программы ЭкоЛинкс «Снижение выбросов парниковых газов в атмосферу за счет сбора и утилизации метана на полигоне твердых бытовых отходов г. Луганска». В рамках проекта предполагалось разработать

проект системы сбора и утилизации газа, объединяющий около 30 скважин, пробурить три демонстрационные скважины, построить систему сбора и сжигания свалочного газа в факеле. Кроме того, планировалось изучить возможные варианты утилизации газа и разработать концепцию сбора и утилизации свалочного газа в Украине.

Полигон введен в эксплуатацию в 1979 г. в 25 километрах от Луганска. Эксплуатацией занимается АОЗТ «Протос». Ежегодно на полигон вывозится 350–500 тыс. м<sup>3</sup> ТБО. За период эксплуатации полигона с 1979 по 2002 гг. было накоплено 1626 тысяч тонн ТБО. В настоящее время начаты работы по сооружению второй очереди полигона в непосредственной близости от имеющегося.

Для того, чтобы оценить возможное количество собранного биогаза, было принято, что система сбора биогаза будет покрывать 80 % площади полигона. Предполагалось, что вывоз ТБО на существующий полигон будет продолжаться до 2010 г. включительно. При этом общее количество ТБО достигнет 2154 тысячи тонн. Количество собираемого газа в период 2003–2010 гг. может составить от 750 до 950 м<sup>3</sup>/ч.

Сооружение трех демонстрационных скважин было закончено в январе 2003 г. В настоящее время биогаз сжигается в факеле. Три демонстрационные скважины представляют собой 10 % полной системы сбора биогаза. Первые измерения показали, что количество биогаза, собираемого в трех скважинах, составляет 90 м<sup>3</sup>/час при концентрации метана около 60 %. Эти измерения находятся в хорошем согласии с результатами предварительных расчетов. Проведенный анализ показал, что потребление биогаза на месте или его транспортировка к потребителю по газовым трубопроводам с дальнейшей продажей в качестве заменителя природного газа является наиболее привлекательным вариантом утилизации в виду относительно небольших капитальных затрат.

Простой период самоокупаемости продажи биогаза потребителям составляет 1,0 или 1,8 года, соответственно, в случае использования украинского или западного оборудования. Предполагалось, что полезно будет использоваться 85 % собранного газа, а стоимость 1 МДж тепла, полученного при сжигании биогаза, составляет 90 % от стоимости МДж, полученного при сжигании природного газа.

В случае полезного использования половины собранного биогаза, простой период самоокупаемости проекта составит от 1,8 до 3,4 лет.

Количество собираемого биогаза позволяет установить на полигоне газовую электростанцию общей установленной мощностью 1500 кВт. Рассмотрено два варианта использования оборудования украинского и западного производства. Первый вариант предполагает использование трёх газовых двигателей мощностью 500 кВт компании АООТ «Первомайскдизельмаш». Второй вариант предполагает установку электростанции из пяти газовых двигателей мощностью 300 кВт производства компании «SPARK ENERGY S.p.A».

Простой период самоокупаемости проекта в случае продажи электроэнергии в сеть равен соответственно 3,0 и 9,6 лет при работе оборудования в течение 8000 часов в год. Очевидно, что использование западного оборудования малопривлекательно в украинских условиях.

Выработка электроэнергии с частичной утилизацией теплоты теоретически позволяет улучшить экономические показатели проекта по сравнению с производством электроэнергии. С другой стороны, проблемы подключения к сети и продажи электроэнергии в сеть относятся в равной степени и к случаю когенерационного производства тепла и электроэнергии.

Уменьшение эмиссии парниковых газов, выраженное в тоннах СО<sub>2</sub>-эквивалента, за счет уменьшения поступления метана в атмосферу и замещения использования природного газа для производства тепла и электроэнергии составит в случае реализации полномасштабного проекта сбора и утилизации биогаза 62 тысячи тонн в год.

В случае реализации известных механизмов совместного внедрения, предусмотренных Киотским протоколом, и передачи единиц снижения выбросов (ЕСВ) парниковых газов по цене 3 американских доллара за тонну, период самоокупаемости проекта можно снизить примерно в два раза. По оценкам аналитиков, цена одной ЕСВ может составить от 3 до 15 долларов. Отметим, что эта возможность остается гипотетической до тех пор, пока Киотский протокол не вступит в силу, а Украина не ратифицирует Рамочную Конвенцию ООН об изменении климата.

Затраты на снижение выбросов ПГ в течение 2008–2012 гг. составляют от 0,88 до 2,61 \$/т CO<sub>2</sub>-экв., что еще раз подтверждает исключительную эффективность проектов сбора и утилизации биогаза на полигонах ТБО с точки зрения проблемы изменения климата [8].

Что же касается Беларуси, то практически единственным способом обезвреживания коммунальных отходов республике является их захоронение на полигонах или обустроенных свалках. Суммарная площадь пригородных земель под полигонами и свалками составляет сегодня около 1000 га. Ежегодно эта площадь увеличивается на 40–60 га. Многие действующие полигоны складирования и обезвреживания отходов, расположенные в непосредственной близости от городов, свою эксплуатационную мощность исчерпали. Размещение новых площадок осуществляется на большом расстоянии от городов (Брест – 44 км, Могилев – 28 км, Мозырь – 25 км и т. д.). Эксплуатация не имеющих элементарных природоохранных сооружений – гидрозащитных экранов, систем сбора и контроля фильтрата и т. д. – («Тростенецкая», г. Минск; свалки городов Гомеля, Могилева, Борисова и др.), с социальной точки зрения противопоказана, с природоохранной – опасна. Сегодня глубинное загрязнение подземных вод ядовитым фильтратом вызывает серьезную тревогу (свалки Борисова, Гомеля, Лиды и др.).

Не меньшую опасность вызывают и полигоны, эксплуатация которых осуществляется с нарушением элементарных нормативных требований. Из-за отсутствия в большинстве случаев землеройных механизмов и финансовых средств не ведется уплотнение и картовопослойное захоронение отходов, их изоляция. Несвоевременно осуществляется или не осуществляется вообще откачка фильтрата из колодцев, отбор проб воды из наблюдательных скважин и т. д. Практически ни на свалках, ни на полигонах нет весового учета отходов, поступающих из организаций и промышленных предприятий [9].

Из ситуации, сложившейся в Беларуси с коммунальными бытовыми отходами и проблемой их утилизации, можно сделать вывод, что как минимум одним источником энергии страна обеспечена. И применение биогаза как источника энергии не только улучшает энергетический баланс РБ, но и способствует решению ряда проблем экологии, что в сумме принесет республике как экономический, так и экологический эффект.

### Литература

1. Постановление совета Министров республики Беларусь от 31.08.2007 № 1122 «О мероприятиях по реализации Директивы Президента № 3».
2. Газета «Экономическая политика». № 48 (765) от 29.06.2007. «Чем богаты? или Наша альтернатива энергонезависимости».
3. Белорусский экологический портал «Настало время бороться с мегатоннами» И. Пчелина.
4. Реферативный журнал «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». Москва 2007 (9) 07.09 – 90.124 «Подготовка биогаза к подаче в трубопроводы природного газа» Aufbereitung van Biogas zur Einspeisung in das Erdgarnets. Euroheat and Power. – 2007. – 36, № 1–2. – С. 42–46.
5. Реферативный журнал «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». Москва 2007 (11) 97.10 – 90.123 «Перспективы использования биогаза в Швеции». The prospects for an expansion of Biogas system in Sweden. Energy Policy. – 2007. – 35, № 3. – С. 1830–1843.
6. Реферативный журнал «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». Москва 2007 (6) 07.11 – 90.130 «Биоэнергетика в Германии». BEE fordert Uberarbeitung der Bioenergie. – 2007. – № 4. – С. 5.

7. Реферативный журнал «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». Москва 2006 (2) «Биогаз із Луганського полігона ТПВ» Зелена енергія. – 2003. – № 2. – С. 8–9.

8. Geletukha G., Zhelyezna T., Matveev Yu., Tishayev S. Bioenergy in Ukraine: State of the Art and Future Development // 12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. – Amsterdam. – 17–21 June 2002. – P. 1371–1374.

9. Приказ Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 16.09.1998 № 135 (ред. от 15.07.2002) «О выполнении постановления Совета Министров Республики Беларусь от 01.09.1998 № 1368 «О республиканской программе обращения с коммунальными отходами». [www.zakon2006.by.ru](http://www.zakon2006.by.ru).