

Очистка и переработка отходов

УДК 678.073.002

Браверман В.Я., канд. техн. наук, Власюк В.В.*ГП «Научно-исследовательский институт «Шторм», Одесса
ул. Терешковой, 27, 65078 Одесса, Украина, e-mail: shtorm_soj@ukr.net*

Технологии утилизации твердых бытовых отходов как источник получения альтернативных энергетических ресурсов на примере Одесской области (Обзор)

Рассмотрены проблемы утилизации твердых бытовых отходов. Показано, что современные технологии их переработки позволяют рассматривать отходы как альтернативный возобновляемый ресурс. Проведено сравнение различных технологий термической утилизации несортированных отходов для выработки тепловой и электрической энергии: газификация, пиролиз, сжигание в промышленных котлах на колосниковых решетках, плазменная переработка отходов. Приведены основные характеристики промышленных установок, работающих по указанным технологиям. Рассмотрены конкретные схемы решения задач по утилизации твердых бытовых отходов, образующихся в Одесской области, для их практического внедрения (рисовая шелуха, камыш, рисовые стебли, солома зерновых, медицинские отходы, отработанные автомобильные шины). Даны конкретные рекомендации по сооружению в Одесской области промышленных мощностей по утилизации твердых бытовых отходов. *Библ. 11.*

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, энергетическая утилизация, плазменная газификация, пакетное окисление, возобновляемые ресурсы, Одесская область.

Важным аспектом решения проблемы снижения потребности в ископаемых энергоресурсах является вовлечение в энергобаланс потребления всех видов отходов органического происхождения. Необходимость применения отходов как источников альтернативных энергетических ресурсов отражена в Директиве Европарламента и Совета ЕС 2009/28 от 23.04.2009 года «О поддержке использования энергии из альтернативных источников...». На решение этой проблемы направлено значительное количество научных исследований и технологических разработок, нашедших широкое практическое применение.

Промышленные методы переработки твердых бытовых отходов

Возможность отнесения отходов к альтернативным источникам энергии определяется наличием эффективных методов их переработки. К числу таких методов могут быть отнесены газификация, пиролиз, сжигание в топках котлов, плазменная переработка.

Газификация. В свете решения обсуждаемой в данной статье проблемы из многообразных процессов переработки газификацией твердых бытовых отходов (ТБО) следует выбрать процессы, применяемые для утилизации мест-

ных скоплений ТБО, что является характерным для небольших населенных пунктов. В этом плане представляет интерес технология пакетного окисления, разработанная компанией Waste to Energy Canada Inc. (WTEC) [1]. Достоинством указанной технологии является осуществление утилизации отходов без их сортировки и предварительной обработки в неупакованном и уплотненном виде на мобильных передвижных установках.

Процесс является двухстадийным. На первой стадии отходы загружаются в основную камеру газификации, где происходит автотермический окислительный процесс (тление) с преобразованием твердых отходов в синтез-газ и безуглеродистый инертный пепел. Процесс протекает при температуре 450 °С, при этом достигается уменьшение объема отходов до 97 % и значительное снижение количества тяжелых металлов, твердых частиц, оксидов азота и других загрязнителей. Важной особенностью протекания процесса окисления на этой стадии является поддержание температуры 450 °С, способствующей понижению образованию таких особенно опасных соединений, как диоксины и фураны.

Учитывая особую опасность указанных соединений для окружающей среды, в технологии Waste to Energy Canada Inc. (WTEC) предусмотрено на второй стадии окисление в отдельной камере газообразных продуктов газификации воздухом при температуре 1200 °С в течение более 2 с (так называемое «правило 2-х секунд») для их ликвидации. К одной такой камере окисления может быть присоединено до пяти камер газификации. Реализация технологии предусматривает утилизацию тепла продуктов газификации-окисления и их очистку в рукавном фильтре. Твердый остаток процесса, уловленный фильтром, представляет собой рыхлую нетоксичную золу, практически не содержащую углерода.

Система пакетного окисления отходов применяется около 20 лет, и по этой технологии в мире работают 26 заводов энергетической переработки отходов.

Пиролиз. В процессе пиролиза происходит дегазация отходов в отсутствие кислорода. Для того, чтобы осуществить пиролиз, отходы должны быть предварительно отсортированы с целью извлечения балластных фракций, высушены и пройти предварительное дробление. Заводы по переработке отходов способом пиролиза были построены в 1980-е гг. в Дании, США, ФРГ, Японии и других странах. Однако их деятельность столкнулась с серьезными техническими и экологическими проблемами, кото-

рые приводили к высоким финансовым потерям. Необходимость в предварительной сортировке, низкий спрос на продукты переработки, технологические трудности в работе оборудования и его низкая надежность привели к закрытию более 80 % работающих на основе пиролиза производств по переработке ТБО [2].

Сжигание в промышленных котлах на колосниковых решетках. Процесс реализуется при слоевом сжигании ТБО и температуре 850–1100 °С. Он характеризуется высокой надежностью, обеспечивает соответствие экологическим нормам по твердым и газообразным продуктам сгорания. В слоевой топке возможно сжигание неподготовленных ТБО с широким диапазоном изменения их теплоты сгорания. Процесс может быть реализован на следующих типах решеток [3]: поступательно-переталкивающих, обратно-переталкивающих и валкового типа.

Известны три принципиальных варианта конструктивного решения системы топка – решетка:

– фирмы «Deutsche Babcock Anlagen GMSVi» с прямым потоком газов в топочном пространстве, наиболее применяемая для сжигания сухих отходов с высокой теплотворной способностью 2800–3000 ккал/кг;

– фирмы «Martin GMBH» с обратным по отношению к перемещаемому материалу потоком газов, применяемая для сжигания влажных отходов с низкой теплотворной способностью около 1700 ккал/кг;

– фирмы «Steinmuller» со средним потоком газов (компромиссный вариант), предназначенная для сжигания отходов переменного состава и переменной влажности.

Указанные технологии используются для переработки больших объемов отходов.

Плазменная переработка отходов. Этот вид переработки ТБО следует рекомендовать для высокотемпературной утилизации опасных отходов. Технологии с применением плазматронов разработаны фирмами Allter NRG [4] (объединившаяся в 2007 г. с Westinghouse Plasma Corporation (США [5]), Plasco Energy Group Inc. (Канада), Europlasma (Бельгия) и CHO Power (Франция).

По этой технологии в реакционной камере осуществляется пиролизный процесс с образованием при высоких температурах от 1300 до 5000 °С газообразных продуктов, которые затем сжигаются в реакторе либо в специальной камере. Основными преимуществами этой технологии являются универсальность в отношении перерабатываемых веществ и относительно

малые габариты, позволяющие создать передвижные технологические модули. В настоящее время в мире более 30 компаний в США, Германии, Франции, России и других странах специализируются на разработке плазменных технологий и оборудовании для переработки и уничтожения отходов различного происхождения.

Технология плазменной переработки отходов обладает такими преимуществами по сравнению с другими процессами:

- плазменная струя способна полностью разрушить любые органические и биологические материалы, уничтожить самые токсичные яды, переплавить и испарить самые тугоплавкие неорганические соединения, значительно сократить объем отходов в целом;

- обеспечивается экологически чистая переработка сырья (отходов) без образования смол, диоксинов, аэрозолей, а также полное извлечение всего углерода из материала отходов;

- обеспечивается степень очистки обрабатываемых материалов до 99,99 % и выше.

Продуктами плазменной газификации являются высококалорийный горючий газ и нейтральный твердый остаток в виде остеклованного шлака. Оба этих продукта могут иметь коммерческую ценность.

ТБО как альтернативный ресурс для выработки электроэнергии и тепла

К числу ТБО, образующихся в Одесской обл., помимо бытовых отходов, относятся рисовая шелуха, камыш, рисовые стебли, солома зерновых, медицинские отходы, отработанные автомобильные шины.

Мировой опыт показывает, что самым доступным и одним из наиболее экономически целесообразных возобновляемых источников энергии являются ТБО, сжигаемые на ТЭЦ. Твердые бытовые отходы – это альтернативное, возобновляемое топливо, сопоставимое по теплоте сгорания с торфом и некоторыми марками бурых углей. Удельные показатели образования ТБО в Украине в среднем составляют 250–300 кг/год на одного человека, а в больших городах 330–380 кг/год. Ежегодный прирост содержимого свалок составляет 11 млн т. Всего накоплено на свалках Украины около 250 млн т ТБО. Теплотворная способность ТБО усредненного состава составляет 8,4 МДж/кг (2007 ккал/кг) и соответствует энергетическим характеристикам низкокалорийных топлив, например, торфа (7–8 МДж/кг). Реально из 1 т ТБО можно получить около 1 МВт электрической энергии.

Потенциал энергетической утилизации ТБО в Украине поистине огромен: из 11 млн т образующихся в год отходов можно вырабатывать до 11 млрд кВт электрической энергии. При условии соблюдения экологических норм утилизации ТБО методы термической утилизации отходов могут стать ключевыми в структуре альтернативной энергетики страны. Так, «Национальным планом действий по возобновляемой энергетике на период до 2020 года» предусмотрено достичь в 2020 г. в суммарном энергопотреблении страны 11 % объема электроэнергии, вырабатываемой из возобновляемых источников. При использовании ТБО эта цифра может быть увеличена до 30 %, что превышает даже оптимистический сценарий, изложенный в «Перспективах развития возобновляемой энергетики в Украине до 2030 года» [6].

Рассмотрим возможности применения в качестве альтернативного энергетического ресурса различных видов ТБО, образующихся в Одесской обл.

Рисовая шелуха. В 2015 г. в Килийском и Измаильском районах Одесской обл. было выращено 23 тыс. т риса, что привело к образованию 4,6 тыс. т отходов рисовой шелухи. Главными составляющими рисовой шелухи являются целлюлоза, лигнин, а также минеральная зола, которая на 92–97 % состоит из диоксида кремния. Теплотворная способность рисовой шелухи составляет 3180 ккал/кг. Для сравнения, теплотворная способность сухих дров при влажности 25 % – 2160 ккал/кг (сосна), 2600 ккал/кг (береза), а бурого угля 3910 ккал/кг [7]. Существенными отличиями рисовой шелухи от других сельскохозяйственных отходов являются высокое содержание золы (до 20 %) и малая насыпная плотность (110–140 кг/м³), что не позволяло ранее использовать стандартное оборудование для ее брикетирования и сжигания.

Камыш. Камыш, как и рисовая шелуха, характеризуется высоким содержанием лигнина и кремния. В Одесской обл. выкашиванием камыша занимаются в Беляевском, Белгород-Днестровском, Березовском, Татарбунарском, Килийском и Ренийском районах. Средний сбор камыша составляет 4–6 т/год. Камыш обладает очень высокой теплотворной способностью – до 4250 ккал/кг. Потенциал заготовки камыша остается огромным [8]. Запасы камыша и папоротника в дельте Дуная обеспечат объемы ресурса не менее 20 тыс. т/год. В биомассе камыша содержание влаги может достигать 50 %, однако после воздушной сушки, а также благо-

даря его уборке в зимнее время ее уровень снижается до 20–25 %. В отличие от нефтепродуктов и угля камыш имеет низкое содержание серы и других вредных примесей. Выращивание камыша не требует затрат, необходимы только затраты по его сбору (заготовке).

Рисовые стебли. Если учесть, что массовое соотношение зерна к рисовой соломе равно 1 : 0,8, то объем полученной рисовой соломы в 2015 г. в Килийском и Измаильском районах Одесской обл. составил 18 тыс. т. Теплотворная способность рисовой соломы составляет 3300 ккал/кг.

Солома зерновых. В Килийском районе в 2015 г. было собрано 115 тыс. т зерновых культур. Для оценки объема соломы можно использовать общепринятое массовое соотношение 1 : 1. То есть годовой объем соломы составляет также 115 тыс. т. Теплотворная способность зерновой соломы 3500 ккал/кг. В отличие от кремнийсодержащих отходов в мире накоплен значительный опыт использования соломы зерновых в энергетике. В Китае работают 34 электростанции, сжигающие солому, общей мощностью 1200 МВт. В Дании самая крупная электростанция мощностью 35 МВт потребляет в год 170 тыс. т соломы, в Великобритании станция мощностью 38 МВт потребляет 200 тыс. т соломы, в Испании электростанция мощностью 25 МВт потребляет 160 тыс. т [9]. В аналитической записке Биоэнергетической Ассоциации Украины (БАУ) приведены также данные по рекомендуемому объему использования соломы для энергетических целей на уровне 40 %. Массовое использование соломы в энергетике до появления плазменных технологий сдерживалось содержанием в ней хлора и щелочных металлов, а также низкой температурой плавления золы, что приводило к зашлаковыванию энергетического оборудования.

Медицинские отходы. В состав медицинских отходов входят следующие компоненты: 60 % целлюлозы, 30 % пластических материалов, 10 % жидкостей. Прямое сжигание медицинских отходов при температурах менее 1200–1400 °С приводит к образованию таких вредных веществ, как галоидированные диоксины и диоксиноподобные вещества [10]. Поэтому при утилизации медицинских отходов следует применять плазменные технологии, не допускающие их образование. В этом случае медицинские отходы можно рассматривать как альтернативное топливо. Ориентировочное количество медицинских отходов в Одесском регионе составляет 127750 т/год [11].

Шины. Шины имеют высокий потенциал как сырье для процессов плазменной газификации из-за их высокой теплотворности, а также высокого содержания летучих газов. Около 85 % (мас.) шин приходится на резину. Чистая теплотворная способность автошины в среднем составляет 32–34 МДж. Если сравнить теплотворную способность автошин с другими видами топлива, то получится, что 1 т автомобильных шин соответствует 1 т высококачественного угля, 1600–2000 м³ природного газа, 0,7 т топочного мазута, 1,9 т пеллет, 6,5 м³ дров влажностью 35 %.

При полном сгорании 1 т изношенных шин образуется 647 кг диоксида углерода. При обычном сжигании 1 т покрышек в воздух выделяется около 270 кг сажи и 450 кг токсичных веществ, в том числе бензпирен, диоксин, фуран, полиароматические углеводороды, полихлорированные бифенилы, хром, мышьяк, кадмий и т.д. В странах Западной Европы с 2006 г. запрещено захоронение шин, так как их разложение в земле длится более 100 лет, при этом происходит загрязнение окружающей среды продуктами разложения. По данным экспертов, количество неутрализованных шин в Украине по состоянию на 1 января 2016 г. превышает 10 млн т. Ежегодно из эксплуатации выходит приблизительно еще 300–400 тыс. т шин, из них перерабатывается до 10–15 %, еще около 20 % используется не по назначению, остальное попадает на свалки.

Выводы

Применение современных технологий энергетической утилизации твердых бытовых отходов позволяет:

- применять отходы как возобновляемый альтернативный ресурс;
- решить проблему утилизации накопившихся в Украине огромных объемов твердых бытовых отходов;
- решить проблему утилизации опасных отходов, в том числе медицинских, изношенных шин, аккумуляторных батарей, ртутьсодержащих ламп и т.п.;
- довести уровень производства электрической энергии из альтернативных источников энергии в 2020 г. до 30 %;
- создать в стране распределенную рыночную структуру генерации электрической и тепловой энергии, что даст возможность существенно понизить тарифы;
- решить экологическую проблему загрязнения окружающей среды и выбросов;

– погасити соціальну напруженість в місцях накоплення відходів та в кінцевому підсумку покращити здоров'я людей.

Целесообразно побудувати на півдні Одеської обл. дві міні-ТЕЦ з використанням технологій енергетичної утилізації: в Килийському районі – потужністю 2,5 МВт по утилізації кремнійсодержащих відходів та соломи; в Белгород-Дністровському районі – потужністю 2,0 МВт по утилізації медичних відходів та шин.

Список літератури

1. WTEC «Система пакетного окислення BOS». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wtcanada.com/>
2. Малышевский А.Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России. – М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2012.
3. Оценка различных методов термической переработки ТБО. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ztbo.ru/o-tbo/lit/tehnologii-otxodov/ocenka-razlichnix-metodov-termicheskoy-pererabotki-tbo>
4. Alter NRG Corp. (США). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: alternrg.com
5. LETAL International Inc. (США). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.alternrg.com>
6. IRENA (2015), Remap2030. Перспективи розвитку возобновляемой энергетики в Украине до 2030 года. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.irena.org/remap>
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://greenologia.ru/othody/utilizaciya-i-pererabotka/risovaya-sheluxa.html>
8. Природные энергетические ресурсы Украинского Приднубья. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecodanube.in.ua/index.php>
9. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине // Аналитическая записка БАУ № 7 от 25.02.2014. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uabio.org/img/files/docs/Position-paper-uabio-7-ru.pdf>
10. Тугов А.Н. ТЭС на ТБО // Энергосовет. – 2014. – № 4. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.energo-sovet.ru/bul_stat.php?idd=473
11. Утилизация медицинских отходов. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.guesswho.com.ua/archive/greenport/projects/medical.html>

Поступила в редакцию 22.06.2016

Браверман В.Я., канд. техн. наук, Власюк В.В.

ДП «Науково-дослідний інститут «Шторм», Одеса

вул. Терешкової, 27, 65078 Одеса, Україна, e-mail: shtorm_soj@ukr.net

Технології утилізації твердих побутових відходів як джерело отримання альтернативних енергетичних ресурсів на прикладі Одеської області (Огляд)

Розглянуто проблеми утилізації твердих побутових відходів. Показано, що сучасні технології їх переробки дають змогу розглядати відходи як альтернативний поновлюваний ресурс. Проведено порівняння різних технологій термічної утилізації несортованих відходів для вироблення теплової та електричної енергії: газифікація, піроліз, спалювання в промислових котлах на колосникових решітках, плазмова переробка відходів. Наведено основні характеристики промислових установок, працюючих за вказаними технологіями. Розглянуто конкретні схеми вирішення завдань з утилізації твердих побутових відходів, що утворюються в Одеській області, для їх практичного впровадження (рисове лущиння, очерет, рисові стебла, солома зернових, медичні відходи, відпрацьовані автомобільні шини). Дано конкретні рекомендації щодо спорудження в Одеській області промислових потужностей з утилізації твердих побутових відходів. *Бібл. 11.*

Ключові слова: тверді побутові відходи, енергетична утилізація, плазмова газифікація, пакетне окислення, поновлювані ресурси, Одеська область.

Braverman V. Ya., Candidate of Technical Sciences, **Vlasyuk V. V.**
 «Research Institute «STORM», Odessa
 27, Tereshkova Str., 65078 Odessa, Ukraine, e-mail: shtorm_soj@ukr.net

Technologies of Utilization of Municipal Solid Waste as a Source of Receiving Alternative Energy Resources on the Example of Odessa Region (Review)

The problems of solid waste utilization are considered. It is shown that modern technologies of processing allow to consider waste as an alternative renewable resource. A comparison of different technologies of thermal treatment of unsorted waste to generate heat and electricity, such as gasification, pyrolysis, burning in industrial boilers on furnace grates, plasma processing of waste are represented. The main characteristics of industrial plants based on these technologies are discussed. Considered schemes for solving the problems of disposal of municipal solid waste generated in the Odessa region for their practical implementation, such as rice husk, cane, rice stalks, grain straw, medical waste, waste car tires. Specific recommendations on the construction in Odessa region industrial capacities for utilization of solid waste are represented. *Bibl. 11.*

Key words: solid waste, energy recycling, plasma gasification, the batch oxidation, renewable resources, Odessa region.

References

1. WTEC «Sistema paketnogo okislenija BOS». — Access mode: <http://wtcanada.com/>
2. Malyshevskij A.F. Obosnovanie vybora optimal'nogo sposoba obezvezhivaniya tverdyh bytovyh othodov zhilogo fonda v gorodah Rossii, Moscow: Ministerstvo prirodnyh resursov i jekologii RF, 2012. (Rus.)
3. Ocenka razlichnyh metodov termicheskoj pererabotki TBO. — Access mode: <http://ztbo.ru/o-tbo/lit/texnologii-otxodov/ocenka-razlichnix-metodov-termicheskoj-pererabotki-tbo>
4. Alter NRG Corp. (USA). — Access mode. — Rezhim dostupa: — <http://www.alternrg.com>
5. LETAL International Inc. (USA). — Access mode. — Rezhim dostupa: <http://www.1lennox.com>
6. IRENA (2015), Remap2030. Perspektivy razvitiya vozobnovljaemoj jenergetiki v Ukraine do 2030 goda. — Access mode: <http://www.irena.org/remap>
7. Access mode. — Rezhim dostupa: <http://greenologia.ru/othody/utilizaciya-i-pererabotka/risovaya-sheluxa.html>
8. Prirodnye jenergeticheskie resursy Ukrainского Pridunav'ja. — Access mode. — <http://ecodanube.in.ua/index.php>.
9. Geletukha G.G., Zheleznaya T.A. Analiticheskaja zapiska BAU № 7 ot 25.02.2014 goda «Perspektivy ispol'zovaniya othodov sel'skogo hozjajstva dlja proizvodstva jenerгии v Ukraine».
10. Tugov A.N. TES na TBO // Jenergosovet. — 2014. — № 4. — Access mode. — Rezhim dostupa: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=473
11. Utilizacija medicinskih othodov. — Access mode. — Rezhim dostupa: <http://www.guesswho.com.ua/archive/greenport/projects/medical.html>. (Rus.)

Received June 22, 2016