

УДК 628.46/47

ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ НА БЫТОВЫХ ОТХОДАХ КАК НАИБОЛЕЕ ДОСТУПНЫЙ АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ В БОЛЬШИХ ГОРОДАХ**А. Н. Тугов**

ОАО «ВТИ», г. Москва, vti-boiler@mail.ru

Аннотация

Мировой опыт показывает, что в больших городах наиболее доступным и экономически целесообразным альтернативным источником получения энергии являются тепловые электростанции, на которых сжигают твердые бытовые отходы, - ТЭС на ТБО. Электрическая мощность таких ТЭС за рубежом составляет от 5 МВт и менее до 60 МВт и более. Для стран Таможенного союза (Белоруссии, Казахстана, России), как показывают оценочные расчеты, вырабатывать электроэнергию за счет термической утилизации ТБО становится экономически целесообразным, если электрическая мощность ТЭС на ТБО составляет более 15 МВт. В результате анализа, проведенного с использованием разработанных технических, технологических, экологических и социально-экономических критериев, установлено, что для России и других стран Таможенного союза сжигание в слоевых топках практически несортированных ТБО с минимальной их подготовкой является наиболее предпочтительным способом термической утилизации ТБО. Основу разработанной типовой ТЭС на ТБО составляет энерготехнологическая установка, единичная производительность которой по сжигаемым отходам составляет около 180 тыс. тонн ТБО в год (примерное годовое количество отходов, образующихся в городах с населением 350...400 тыс. чел.). Для типовой ТЭС на ТБО электрической мощностью 24 МВт предполагается размещение двух таких энерго-технологических установок. Применение плазменных технологий на ТЭС ограничивается использованием плазматронов как альтернативы газогорелочным устройствам при пуске, останове и при сжигании ТБО с низкой теплотой сгорания, а также для переработки образующихся твердых остатков. Тепловая схема ТЭС на ТБО выполнена с поперечными связями и двумя конденсационными турбинами с регулируемым отбором пара на теплофикацию. В зависимости от времени года и запроса потребителей энергии, ТЭС позволяет отпускать от 10 до 24 МВт электрической и от 2,4 до 8 ГДж/ч тепловой энергии. Результаты расчета материального и теплового баланса разработанной ТЭС на ТБО, выполненного для отходов с различными характеристиками во всем диапазоне эксплуатационных нагрузок, обосновывают энергоэффективность и экологическую безопасность предлагаемой электростанции.

Ключевые слова: электростанция, бытовые отходы, источник, тепловой баланс

Введение

Мировой опыт показывает, что в больших городах наиболее доступным и экономически целесообразным альтернативным источником получения энергии являются тепловые электростанции, на которых сжигают твердые бытовые отходы (ТЭС на ТБО). В результате утилизации отходов только в Европе уже сейчас ежегодно отпускается в городские сети более 28 млрд. кВт-ч электроэнергии и примерно 70 млрд. кВт-ч тепловой энергии. В США общая установленная электрическая мощность ТЭС на ТБО составляет 2700 МВт. Следует отметить, что помимо энергообеспечения путем термической переработки отходов решается важная социальная проблема – очистка крупных городов от ТБО и предотвраща-

ются выбросы парниковых газов.

Следует отметить, что выделяемую в процессе термической переработки ТБО энергию на всех современных предприятиях обязательно утилизируют в виде пара для отпуска потребителю или для дальнейшей выработки электроэнергии. Европейским законодательством предложена формула оценки энергоэффективности (Э) таких предприятий:

$$\mathcal{E} = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{1,97 \cdot (E_w + E_i)},$$

где E_p – энергия, отпущенная потребителю в виде тепла или электроэнергии, ГДж/год. Эта величина умножается на коэффициент 1,1 при отпуске тепла и на 2,6 при выработке электроэнергии;

E_f – теплота дополнительного топлива, затраченного на производство энергии, ГДж/год;

E_w – энергия, содержащаяся в перерабатываемых отходах, рассчитанная с учетом их теплоты сгорания, ГДж/год;

E_i – импортируемая энергия, получаемая от внешнего поставщика, ГДж/год, исключая E_w и E_f ; 0,97 – коэффициент, учитывающий тепловые потери с золошлаками и в окружающую среду.

На современных с экономической и экологической точек зрения предприятиях для термической переработки ТБО энергетическая эффективность процесса должна составлять 0,60 – 0,65 (60 – 65 %).

Если предприятие удовлетворяет этому требованию и специализируется на отпуске электроэнергии внешнему потребителю (или на комбинированном отпуске тепловой и электрической энергии), его можно считать ТЭС на

ТБО. Однако следует отметить, что вырабатывать электроэнергию за счет термической утилизации ТБО становится экономически целесообразным, если доходы от продажи этой электроэнергии покрывают расходы, связанные с дополнительными капитальными и эксплуатационными затратами на приобретение, установку и обслуживание основного и вспомогательного электрогенерирующего оборудования. Для России, как показывают оценочные расчеты, это происходит, если годовой отпуск электрической энергии потребителю будет превышать

100,0 тыс. МВт·ч (установленная электрическая мощность энерготехнологического предприятия для термической переработки ТБО составляет более 15 МВт).

Данные о количестве ТЭС на ТБО установленной электрической мощностью более 15 МВт за рубежом представлены на рисунке 1.

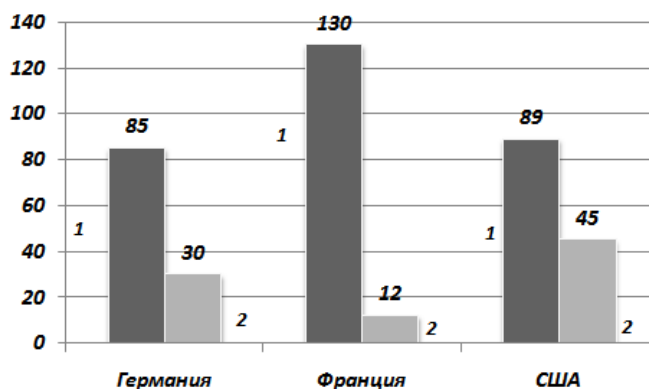


Рис. 1 – Общее количество предприятий для термической переработки ТБО, включая ТЭС на ТБО (1); (2) – установленная электрическая мощность более 15 МВт, в Германии, Франции и США

В настоящее время во Франции находятся в эксплуатации 12 подобных ТЭС, в Германии – около тридцати, при этом наиболее крупная, запущенная в эксплуатацию в 2006 г. в Магдебурге, отпускает потребителю более 370,0 тыс. МВт·ч в год электроэнергии, в США на 45 предприятиях установленная электрическая мощность превышает 15 МВт, а на 15 – более 60 МВт.

Практически все такие ТЭС на ТБО принадлежат ведущим мировым энергетическим компаниям.

Строительство новых ТЭС на ТБО, как правило, ведется за счет средств этих энергетических компаний или со значительной долей капитальных вложений с их стороны.

Принципиальные решения для ТЭС на ТБО

Решающими факторами, определяющими электрическую мощность ТЭС на ТБО, являются прогнозируемый расход поступающих на переработку отходов и их свойства. (Электрическая мощность обычных ТЭС, на которых сжигают органическое топливо, как правило, выбирается исходя из потребности региона в электроэнергии).

Количество перерабатываемых ТБО, зависит от ряда факторов, к которым, в первую очередь, относятся численность населения, удельный объем накопления ТБО в конкретном регионе, а также политика региональных властей в области обращения с отходами с учетом наметившихся мировых тенденций в

сфере управления ТБО, таких, например, как раздельный сбор и сортировка.

Применительно к странам Таможенного союза (Белоруссии, Казахстана, России) адекватная оценка указанных факторов в настоящее время и на перспективу позволила разработать типовой мощностной ряд (по количеству перерабатываемых отходов) для ТЭС на ТБО: 180, 360 и 540 тыс. тонн ТБО в год. С учетом результатов экспериментально-аналитического изучения теплотехнических свойств ТБО была определена и установленная электрическая мощность этих ТЭС: 12, 24 и 36 МВт.

Важным этапом создания ТЭС на ТБО является разработка и обоснование принципиальных технических и технологических решений, позволяющих максимально эффективно преобразовать энергетический потенциал ТБО в электрическую энергию с наименьшим воздействием на окружающую среду и с оптимальными показателями по надежности и экономичности.

Первоочередная задача в этом направлении – выбор метода и технологии термической переработки ТБО, которые наиболее технически приемлемы и экономически обоснованы для ТЭС на ТБО. К технологиям термической переработки ТБО, прошедшим промышленную апробацию, относятся: сжигание на механических колосниковых решетках в слоевых топках (в настоящее время во всем мире эксплуатируется более 2 тыс. установок), сжигание в кипящем слое (около 200 установок), сжигание в барабанных печах (примерно 20 установок), комбинированные методы с использованием процессов пиролиза и газификации, в том числе с плазматронами. Некоторые технологии находятся на стадии освоения (лабораторных, стендовых и полупромышленных исследований).

По результатам анализа, проведенного с использованием разработанных технических, технологических, экологических и социально-экономических критериев, показано, что для стран Таможенного союза сжигание в слоевых топках практически несортированных ТБО с минимальной их подготовкой является наиболее целесообразным и экономически обоснованным способом термической утилизации ТБО как в настоящее время, так и на обозримую перспективу. Другие методы, как правило, не могут обеспечить требуемую энергоэффективность (более 60%). Так, например, ана-

лиз наиболее отработанной технологии термической переработки ТБО с использованием плазматронов, разработанной тремя ведущими зарубежными компаниями: японской Hitachi Metals, американской Westinghouse Electric и канадской Alter NRG, показал, что, если исходить из типичной для стран Таможенного союза теплоты сгорания ТБО, например для г. Москвы (6300 кДж/кг), то отпуск электроэнергии потребителю для технологии с плазменным нагревом примерно в 1,3 раза меньше, чем при прямом сжигании. Тем не менее, как будет показано ниже, плазматроны в ряде случаев могут быть использованы в общей структуре ТЭС на ТБО.

В настоящее время во ВТИ на основании результатов выполненных исследований, а также с учетом зарубежного опыта и современных мировых тенденций в области термической утилизации отходов, разработаны принципиальные технические решения для реализации современной полномасштабной ТЭС на ТБО с установленной электрической мощностью 24 МВт, предназначенной для широкого применения. Только в России целесообразен уже в ближайшее время ввод в эксплуатацию, по крайней мере, 34 таких ТЭС в 22 городах.

По структуре ТЭС на ТБО представляет собой современное предприятие с завершенным технологическим процессом термической переработки отходов и традиционным паросиловым циклом для выработки электроэнергии. Кроме котельно-топочного отделения, основу которого составляют котельный агрегат, газоочистное и вспомогательное оборудование, в состав такой ТЭС входят:

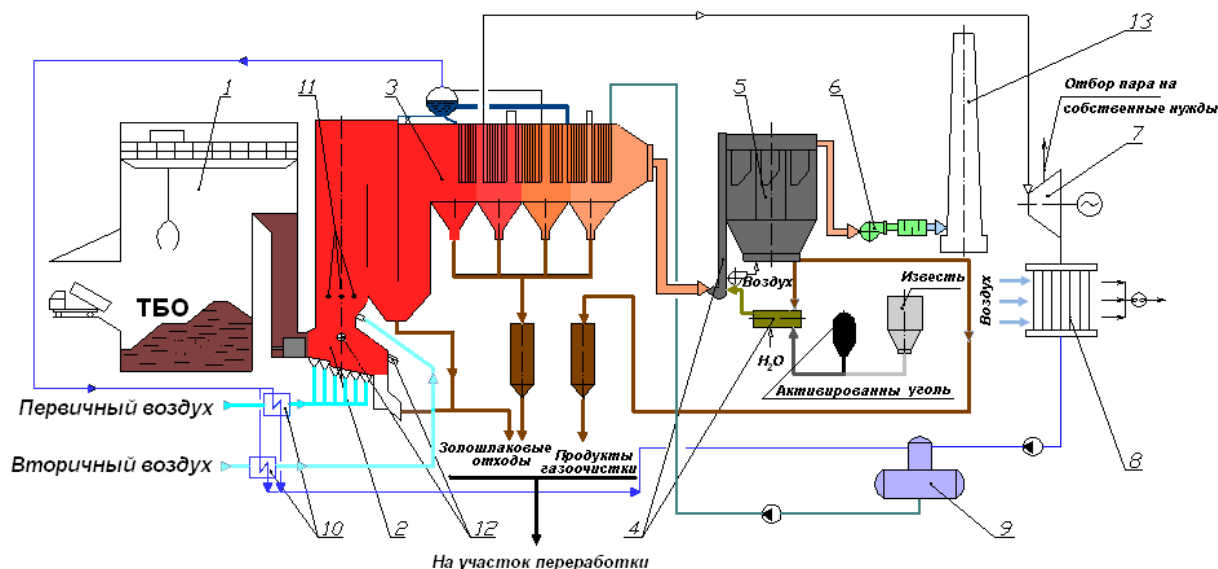
- энергетический комплекс, предназначенный для выработки тепловой и электрической энергии;
- приемное отделение с весовой, помещением для разгрузки мусоровозов и приемным бункером ТБО (аналог топливно-транспортного хозяйства угольной ТЭС);
- водоподготовительная установка с коррекционной обработкой воды;
- отделение сбора, временного хранения и переработки твердых остатков от сжигания;
- система мониторинга газовых выбросов;
- административно-бытовой корпус, склады, стоянки и другие помещения для ин-

женерного обеспечения ТЭС (ГРП, компрессорная, очистные сооружения и т. д.).

Основу разрабатываемой типовой ТЭС на ТБО составляет энерготехнологическая установка, единичная производительность которой по сжигаемым отходам составляет примерно 180 тыс. тонн ТБО в год (примерное

годовое количество отходов, образующихся в городах с населением 350 ... 400 тыс. чел.). Для типовой ТЭС электрической мощностью 24 МВт предполагается размещение двух таких энерготехнологических установок.

Процесс термической переработки ТБО происходит следующим образом (рисунок 2).



- 1 – приемный бункер ТБО; 2 – топка; 3 – котел-утилизатор; 4 – NID-реактор со смесителем;
5 – рукавный фильтр; 6 – дымосос; 7 – турбоагрегат; 8 – воздушный конденсатор; 9 – деаэрагор;
10 – воздухоподогреватели; 11 – ввод карбамида; 12 – газовые горелки (плазматроны); 13 – дымовая труба

Рис. 2 – Принципиальная технологическая схема ТЭС на ТБО
(показана одна энерготехнологическая установка)

Из приемного бункера грейферным кра-
ном отходы загружаются в воронку котла, из
которой через подающую течку поступают в
питатель, а затем в автоматическом режиме
подаются на механическую колосниковую ре-
шетку топки котла (в зону горения). Работу
питателя и решетки регулируют в зависимости
от заданной производительности установки и
характеристик ТБО (влажности, морфологиче-
ского состава, удельного веса и др.). Под ко-
лосниковую решетку дутьевым вентилятором
подается первичный воздух, при необходимос-
ти нагретый до 150 – 300 °С в паровом и газо-
вом подогревателях, установленных после
вентилятора.

С целью исключения восстановительных зон и для дожигания СО, поток газов на входе в первый газоход котла (топку) подвергается интенсивному перемешиванию с вторичным воздухом, который также при необходимости подогревается в паровом подогревателе до 100

 ${}^0\text{C}_.$

Для стабилизации горения при сжигании отходов с низкой теплотой сгорания, а также для растопки котла предполагается использовать газогорелочные устройства. (В ряде случаев, особенно в регионах, где газ отсутствует, целесообразно применить плазматроны). До начала подачи ТБО в топку (перед загрузкой первой партии ТБО при розжиге), а также до полного сгорания последней партии отходов, температура в топочной камере поддерживается этими устройствами на уровне не ниже 850 °С.

Неработающие горелки охлаждаются воздухом, который потом сбрасывается в топку. В топку также направляется воздух, используемый для охлаждения ее боковых стен.

После топки газообразные продукты сгорания ТБО и природного газа поступают в котел, где происходит утилизация их тепла. Вырабатываемый насыщенный пар из бараба-

на частично направляется на паровые воздухоподогреватели первичного и вторичного воздуха. Основная часть пара перегревается в пароперегревателе и поступает на турбину.

Для очистки дымовых газов от оксидов азота в первый газоход котла впрыскивают карбамид. В качестве транспортирующего агента для впрыска используют пар из отбора турбины.

В топку подается также фильтрат (влага, выделившаяся из ТБО в приемном бункере).

Удаление шлака из-под топки производится устройством твердого шлакоудаления с гидрозатвором. Для гашения шлака используется вода продувки котла и сбросная вода из водоподготовительной установки. Слив воды из шлаковой ванны не происходит, т.е. технологические стоки отсутствуют. Образующийся при гашении шлака пар поступает в топку. Шлак из шлаковой ванны транспортером подают в бункер-накопитель шлака. Туда же направляют провал из-под решетки.

Газообразные продукты сгорания ТБО после котла проходят многоступенчатую очистку. При выборе оборудования для очистки газообразных продуктов сжигания ТБО учитывался тот факт, что в России и других странах Таможенного союза практически нет опыта в комплексной очистке дымовых газов от соединений серы, хлора, фтора, тяжелых металлов и органических загрязнителей. Следует подчеркнуть, что даже простая очистка от оксидов серы практически не реализована ни на одном из объектов электроэнергетики этих стран.

Опыт эксплуатации зарубежных ТЭС на ТБО показал, что для очистки газообразных продуктов сгорания ТБО наиболее востребованным в последние годы является модификация полусухого метода, в котором подача щелочного реагента (известня) осуществляется не за счет распыла в абсорбере, как, например, на действующих московских спецзаводах, а за счет подачи ее в поток увлажненной рециркулирующей золы, уловленной в тканевом фильтре. В этой связи предложено технологически в систему очистки газов включить следующие основные элементы: реактор с оборудованием для ввода щелочного реагента, активированного угля и увлажненной рециркулирующей золы, рукавный фильтр, газоходы от рукавного фильтра до дымососа, дымосос с приводом, шумоглушитель, газоходы от шумоглушителя до дымовой трубы.

Систему газоочистки в составе каждой энерготехнологической установки предлагается выполнить из двух параллельно включенных ниток, объединенных перед дымососом. В результате такого решения появляется возможность работы энерготехнологической установки в широком диапазоне по расходу дымовых газов (от 75 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$ до 200 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$), а также осуществлять ремонт и очистку газоочистного оборудования без останова всей установки. (В этом случае в работе будет находиться только одна нитка системы газоочистки). Очищенные дымовые газы дымососом через шумоглушитель поступают в дымовую трубу.

Для проектируемой энерготехнологической установки разработана диаграмма мощности, которая приведена на рисунке 3.

Видно, что энерготехнологическая установка способна утилизировать ТБО в широком диапазоне изменения удельной теплоты сгорания, в том числе, с учетом современной тенденции ее увеличения (вплоть до 9500 кДж/кг) без снижения проектной производительности установки. Переработка ТБО с низкой теплотой сгорания обеспечивается за счет сжигания дополнительного топлива в газовых горелках, а также подогрева дутьевого воздуха при необходимости до 300 °С.

Для ритмичной работы ТЭС на ТБО требуется ежедневная доставка отходов в количестве примерно 1000 т, разгрузка которых осуществляется в специальный бункер, обеспечивающий трехсуточный запас топлива.

Для подготовки ТБО к сжиганию предложен оригинальный алгоритм управления размещением бытовых отходов в этом бункере, позволяющий разделять отходы по времени их поступления и выдержки, а также обеспечивать хорошее перемешивание ТБО перед загрузкой в котел. Стандартное отклонение теплоты сгорания ТБО в каждой порции загружаемых отходов от среднего значения в бункере составляет в зависимости от наполнения бункера от 4,3 до 11 %.

Тепловая схема ТЭС на ТБО выполнена с поперечными связями и двумя конденсационными турбинами с регулируемым отбором пара на теплофикацию. В зависимости от времени года и запроса потребителей энергии, ТЭС позволяет отпускать от 10 до 24 МВт электрической и от 2,4 до 8 ГДж/ч тепловой энергии. Тепловая схема предусматривает возможность удержания в

работе котлов в случае внепланового отключения паровой турбины с подводом пара в конденсатор турбины.

В качестве конденсатора предложена воздушно-конденсационная установка (ВКУ), которая в условиях городской застройки является наиболее целесообразным решением в экономическом и экологическом отношении.

Результаты испытаний ВКУ, установленной на московском спецзаводе № 2, подтверждают обоснованность этого решения. На основании этих испытаний сформулированы также технические требования к перспективной конструкции ВКУ, которые предусматривают надежную работу ВКУ в период отрицательных температур.

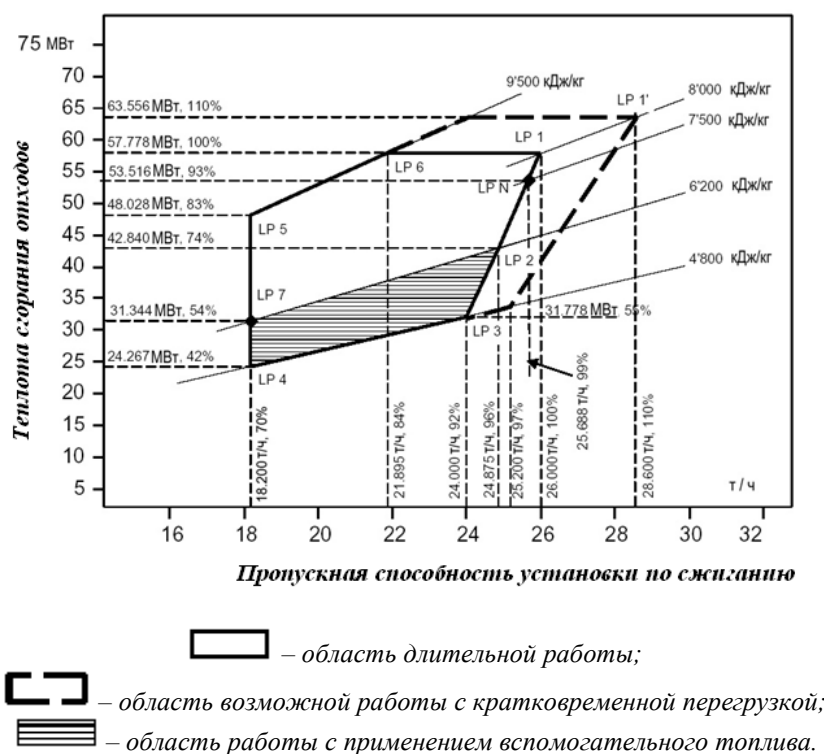


Рис. 3 – Диаграмма мощности энерготехнологической установки с наклонно-переталкивающей решеткой номинальной производительностью 24 тонны ТБО в час

Общие технические данные типовой ТЭС на ТБО электрической мощностью 24 МВт представлены в таблице 1.

Результаты расчета материального и теплового баланса разработанной ТЭС на ТБО, выполненного для отходов с различными характеристиками во всем диапазоне эксплуатационных нагрузок, обосновывают энергоэффективность и экологическую безопасность предлагаемой электростанции.

Использование плазматронов в современных технологиях энергетической утилизации ТБО

В предыдущем разделе говорилось о том, какие проблемы можно решить с помощью плазматронов на ТЭС, сжигающих ТБО. Однако в последнее время все чаще предлага-

ются как альтернатива сжиганию так называемые технологии «плазменной газификации отходов».

Следует отметить, что этот часто употребляемый термин: «плазменная газификация отходов» - не точен. Под плазменной переработкой специалисты понимают процесс, в котором вещество переходит в состояние плазмы, т.е. происходит «ионизация» его атомов за счет потери электронов с внешней орбиты. При последующем охлаждении этой плазмы происходит образование новых химических соединений. Обеспечивая поддержание определенных условий и вводя соответствующие катализаторы, можно добиваться протекания химических реакций в требуемом направлении с получением на выходе заданных химических соединений, например, синтез-газа, свободного от вредных веществ. Однако для обеспече-

ния полного разложения ТБО необходимо иметь температуру порядка 6...9 тыс. °С. В предлагаемых разработчиками технологиях «плазменной газификации» переработка отходов происходит при температуре в несколько раз ниже, поэтому, когда говорят о плазмен-

ных технологиях утилизации отходов, имеют в виду технологии высокотемпературной (в лучшем случае до 2000 °С) переработки и обезвреживания этих отходов, в которых генерируемая в плазматронах плазма выступает лишь в роли одного из источников энергии.

Таблица 1 – Общие технические показатели типовой ТЭС на ТБО

№	Наименование	Ед. измерения	Величина
1	Установленная электрическая мощность	МВт	12 × 2 = 24
2	Годовая выработка электрической энергии: потребление на собственные нужды: выдача в городские сети	МВт·ч/год МВт·ч/год МВт·ч/год	150000 ¹ 30000 ¹ 120000 ¹
3	Количество утилизируемых ТБО	тонн/год	360000
4	Количество часов работы ТЭС в режиме сжигания	час/год	8000
5	Количество энерготехнологических установок	ед.	2
6	Количество часов работы каждой энерготехнологической установки	час/год	Не менее 7500
7	Производительность ТЭС по сжиганию ТБО	т/ч	40-50
8	Производительность ТЭС по выработке перегретого пара	т/ч	80-120
9	Расход природного газа для стабилизации процесса горения и разогрева котла	тыс. нм ³ /год	1000 ¹
10	Расход реактивов для очистки дымовых газов:	Ca(OH) ₂	5250 ²
		Активированный уголь	200 ²
		Сухой карбамид	1095 ²

Примечания:

1 - Уточняется в ходе рабочего проектирования.

2 - Уточняется при выборе поставщика технологии газоочистки и дополнительных требований по выбросам.

Опыт использования плазменных источников энергии в технологиях высокотемпературной переработки и обезвреживания твердых бытовых, промышленных и медицинских отходов обобщается в [1], где рассматриваются основные варианты их применения:

- Плазмохимическая ликвидация супертоксикантов непосредственно в плазменной дуге;

- Воздействие на слой токсичных отходов ударной плазменной струей;

- Термическая обработка отходов в плотном фильтруемом слое с использованием плазматронов;

- Дожигание отходящих из печей газов с помощью плазматронов.

Все эти варианты в той или иной степени прошли опробование на установках, перерабатывающих различные отходы. Однако следует отметить, что для переработки ТБО предлагаются только технологии с применением плазматронов.

В конце 1990-х – начале 2000-х гг. пилотные установки «плазменной газификации»,

на которых перерабатывали бытовые отходы, осадок сточных вод (ОСВ) и отработанные автомобильные покрышки, были разработаны и запущены в эксплуатацию в Японии компанией Hitachi Metals совместно с корпорацией Westinghouse Electric. Были последовательно построены: в 1999г. демонстрационное предприятие в г. Йоши, производительностью 12 т/сутки; в 2002г. первый завод Eco Valley, расположенный недалеко от гг. Михамы и Миката, производительностью 17,2 т/сутки по ТБО и 4,8 т/сутки по ОСВ, и, наконец, в 2003г. второй завод Eco Valley в г. Уташинай, префектура Хоккайдо, производительностью по отходам в зависимости от соотношения перерабатываемых ТБО и ОСВ от 165 до 220 т/сутки.

В настоящее время в мире более 30 компаний (в США, Германии, во Франции, в России, Белоруссии, Чехии, Италии, Израиле, Бразилии, Канаде, Китае, на Тайване, в Индии, Австралии и ряде других стран) специализируются на разработке плазменных технологий и оборудования для переработки и уничтожения отходов различного происхождения. В об-

ласти переработки ТБО технологии с применением плазматронов активно предлагают фирма Allter NRG, объединившаяся в 2007г. с Westinghouse Plasma Corporation (США); Plasco Energy Group Inc. и Europlasma - CHO Power.

Несмотря на то, что плазменные технологии хорошо изучены и освоены (по крайней мере, за рубежом), широкого применения для обезвреживания муниципальных отходов даже в относительно небольших установках (примерно 1 т/час) они не получили. В настоящее время в эксплуатации находится всего лишь 4 установки производительностью более 100 т/сутки, использующие так называемые плазменные технологии. Более того, следует отметить, что в основном на этих установках перерабатываются смешанные и опасные отходы, а специализируется на утилизации только ТБО лишь одна, производительностью 37,5 тыс. т год (5 т/ч), которая находится в эксплуатации в качестве демонстрационного проекта при поддержке правительства Канады. (При этом следует отметить, что теплота сгорания перерабатываемых ТБО находится на уровне 16800 кДж/кг, что более чем в 2,5 раза выше, чем, например, для российских отходов). Информация о реально реализованных коммерческих проектах установок по переработке значительного количества ТБО с использованием плазменного нагрева отсутствует.

Основные причины, препятствующие широкому промышленному использованию плазменных технологий для переработки отходов, носят как технический, так и экономический характер. В [2] отмечается недостаточно большой ресурс работы генераторов низкотемпературной плазмы – плазматронов, а также тот факт, что плазменный дуговой разряд является относительно локальным источником нагрева. Радиальные градиенты температуры могут достигать $5 \cdot 10^4$ К/мм, осевые – около $1 \cdot 10^3$ К/мм при осевых осредненных температурах до $1,5 \cdot 10^4$ К и скоростях потока до $1 \cdot 10^3$ м/с. Для обеспечения удовлетворительного теплопереноса перерабатываемый материал должен быть тщательно измельчен.

Эрозия электродов существенно ограничивает продолжительность непрерывной работы плазматрона (ресурс работы электродугового плазматрона порядка 250 ч) и возможность использования в качестве плазмообразующих химически активных газов, которые интенсифицируют процесс эрозии. Например,

водяной пар является привлекательным с технологической точки зрения плазмообразующим газом, но его использование существенно сокращает срок службы электродов.

С уверенностью можно прогнозировать, что промышленные установки, реализованные по технологиям с использованием плазменного нагрева, будут существенно уступать по удельным капитальным и эксплуатационным затратам традиционному сжиганию. По оценкам экспертов их практическая реализация для переработки ТБО в промышленном масштабе будет стоить 700-970 долл. в пересчете на 1 т годовой производительности. В то же время капитальные затраты на завод для сжигания отходов с подвижными колосниковыми решетками составляют 500-600 долл. на 1 т/год [3].

Вызывают сомнения и экологические преимущества (существенно меньшее воздействие на окружающую среду и упрощенная схема газоочистки), о которых заявляют разработчики. Получаемый синтез-газ необходимо подвергать глубокой очистке от вредных примесей, которые образуются в восстановительной среде при высоких температурах: сероводорода, аммиака, фосфина, арсина, хлористого водорода и др.

В [4] сравнивается энергетическая эффективность (в пересчете на суммарную энергию горючих компонентов получаемого синтез-газа) процессов плазменной и автотермической газификации при температуре 1400 К для одного и того же вида топлива (отхода). Показано, что дополнительный энергетический выход по синтез-газу, достигаемый за счет «плазмы», при существующих методах преобразования энергии, даже без учета потерь с охлаждением, балластирования рабочей смеси в реакторе и т.д., не может покрыть затрат электроэнергии. Установлено также, что дальнейшее повышение температуры сопровождается лишь незначительным увеличением химической энергии синтез-газа, т.е. с энергетической точки зрения не эффективно. Кроме того, использование плазменных технологий вызывает дополнительные проблемы, снижающие надежность и экономичность установки в целом.

В [5] делается вывод о том, что переработка отходов с использованием плазменного нагрева выгодна в том случае, если технология уничтожения отходов является экономически целесообразной даже без учета возможности

утилизации образующегося синтез-газа, то есть когда надо перерабатывать токсичные, медицинские или биологические отходы, содержащие радионуклиды и токсичные компоненты и т.д.

Плазменные технологии целесообразны также, если необходимо осуществлять процессы испарения, концентрирования или термического разложения соединений, входящих в состав отходов, при абсолютном исключении присутствия окислительных или восстановительных газов. В этом случае нагрев системы должен происходить не в результате сжигания, а с использованием высокотемпературной плазмы, что позволяет проводить технологический процесс в атмосфере инертного газа. Например, в [6] приводится описание процесса переработки многослойной упаковки «Тетра Пак», основанный на использовании термической нейтральной плазмы, который позволяет восстанавливать алюминий и одновременно извлекать пластик, содержащиеся в исходном

продукте (упаковке). Температура процесса в данном случае составляет 650-700 °С.

Наконец, плазменные технологии имеет смысл применять при создании мобильных систем небольшой производительности для переработки широкого спектра отходов, при необходимости и включая бытовые.

Для термической переработки ТБО сферу использования плазматронов, как уже говорилось, целесообразно ограничить переработкой твердых остатков от сжигания и, при отсутствии природного газа, в качестве альтернативы вспомогательным горелкам в режимах пуска, останова и для стабилизации горения при сжигании отходов с низкой теплотой сгорания. Опыт в этом вопросе имеется. Например, отдельным направлением компании Europlasma является плазменный переплав твердых остатков, образующихся при сжигании ТБО в слоевых колосниковых топках [7], (рисунок 4).

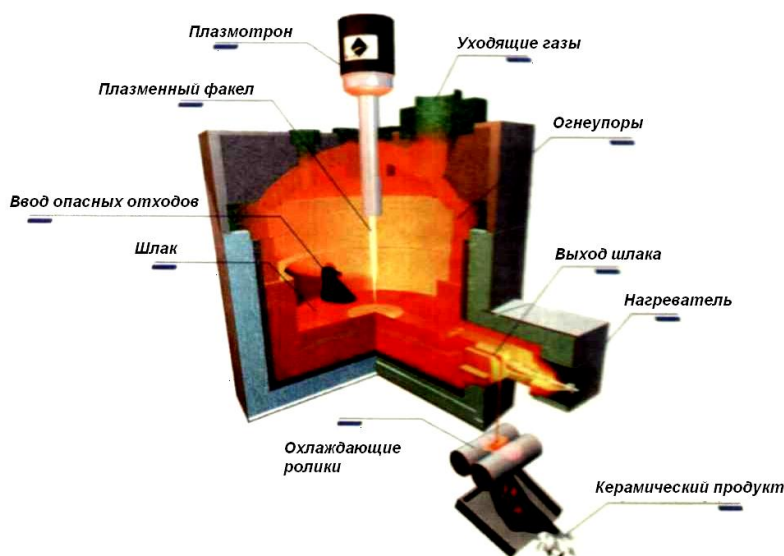


Рис. 4 – Плазменная печь фирмы Europlasma для переработки твердых остатков от сжигания ТБО

Мощность внедренных этой фирмой установок для переработки твердых остатков (во Франции, Японии и Ю.Корее) составляет от 6 до 41 т/сут. (таблица 2).

Заключение

Современная ТЭС на ТБО является наиболее доступным, экономически целесообразным и экологически безопасным возобновляемым источником энергии в крупных городах.

Электрическую мощность типовой ТЭС на ТБО для стран Таможенного союза предлагается установить на уровне 24 МВт.

ТЭС в этом случае будет состоять из двух энерготехнологических установок, единичной производительностью по сжигаемым отходам около 180 тыс. тонн ТБО в год (примерное годовое количество отходов, образующихся в городах с населением 350...400 тыс. чел.).

Для термической утилизации ТБО выбрано сжигание в слоевых топках практически несортированных ТБО с минимальной их под-

готовкой как наиболее оптимальный способ по техническим, технологическим, экологическим и социально-экономическим критериям.

Таблица 2 – Предприятия по производству строительных материалов путем высокотемпературной обработки отходов с использованием плазменного нагрева

<i>Расположение</i>	<i>Производственная мощность по сырью, т/сут.</i>	<i>Сырье (вид отходов)</i>	<i>Ввод в эксплуатацию</i>
г. Сепон, Франция	7	Летучая зола от сжигания ТБО (120,0 тыс. т/год) и шламов (18,0 тыс. т/год)	С 1998г.
г. Kakogava, Япония	30	Зола от сжигания ТБО в псевдоожиженном слое (150,0 тыс. т/год)	С февраля 2003г.
г. Simonoseki, Япония	41	Летучая и колосниковая зола от колосникового сжигания ТБО (140,0 тыс. т/год)	С сентября 2002г.
г. Imizu, Япония	12	Зола от сжигания ТБО в псевдоожиженном слое (50,0 тыс. т/год)	С сентября 2002г.
г. Maizuru, Япония	6	Летучая и колосниковая зола от колосникового сжигания ТБО (80,0 тыс. т/год)	С марта 2003г.
г. Yongih City, Ю. Корея	15	Летучая зола от сжигания шламов	С 2008г.

Другие методы, как правило, не могут обеспечить для ТЭС на ТБО соответствующую мировым требованиям энергоэффективность (более 60 %).

В частности использование технологий так называемой «плазменной газификации» (термической переработки ТБО с применением плазматронов), снижает отпуск электроэнергии потребителю примерно в 1,3 раза по сравнению с прямым сжиганием.

Тем не менее, плазматроны в ряде случаев могут быть использованы в общей структуре ТЭС на ТБО.

С их помощью можно решить проблему с образующимися твердыми остатками, а при отсутствии природного газа - применить плазматроны для экологически безопасной растопки и останова энерготехнологической установки.

Литература

1. Бернадинер М.Н., Бернадинер И.М. Высокотемпературная обработка отходов. Плазменные источники энергии//Твердые бы-

товые отходы.- 2011.- №4.- С.16-19.

2. Артемов А.В., Переславцев А.В., Крутяков Ю.А. и др. Экологический аспект плазменной переработки твердых отходов// Экология и промышленность России.- 2011.- №9.- С. 20-23.

3. Михайлова Н. В. Термическое обезвреживание отходов. В поисках осуществимых решений//Твердые бытовые отходы. - 2009.- №3.- С.14-20.

4 Батенин В.М., Ковбасюк В.И., Кретьова Л.Г., Медведев Ю.В. Термическая утилизация твердых бытовых отходов // Теплоэнергетика. - 2011. -№ 3. - С. 62-66.

5. Моссэ А.Л., Савченко Г.Э. Плазменные методы в технологии переработки бытовых отходов//Твердые бытовые отходы. – 2012. - №2. - С. 16-20.

6. Моссэ А.Л., Савчин В.В., Ложечник А.В. Переработка упаковки с помощью термической плазмы//Твердые бытовые отходы .- 2008.- №1.- С.36-38.

7. Падалко О.В. Плазменная газификация отходов - правильный выбор// Твердые бытовые отходы .- 2009.- №5. - С.70-77.

POWER PLANT ON MUNICIPAL SOLID WASTE AS THE MOST AFFORDABLE ALTERNATIVE ENERGY SOURCE IN BIG CITIES**Andrey N. Tugov, All-Russia Thermal Engineering Institute (VTI)****Abstract**

World experience shows that in big cities most affordable and economically viable alternative sources of energy are thermal power plants, which burn municipal solid waste - MSW TPP. Electric power output of such TPP abroad varies from 5 MW_e and lower to 60 MW_e and higher. For the countries of the Customs Union (Belarus, Kazakhstan, Russia), as shown by assessment calculations, electricity generation by thermal utilization of MSW is economically viable if the power output of TPP on MSW is more than 15 MW. As a result of the analysis carried out using the developed technical, technological, environmental and socio-economic criteria, it was established that for Russia as well as for other countries of the Customs Union incineration of almost unsorted MSW in grate furnaces with minimal fuel preparation measures is the most preferable method for utilization of MSW. The basis of the developed typical TPP on MSW is an energotechnological set-up with a unit capacity of about 180 thousand tons of incinerated MSW per year (which roughly corresponds to the annual amount of wastes generated in cities with a population of 350 ... 400 thousand people). For a typical TPP on MSW with a capacity of 24 MW_e deployment of two such energotechnological units is assumed. Application of plasma technologies within the TPP is restricted to application of plasmatrons as an alternative to gas burning devices during start-up, shutdown, and while firing MSW with low calorific value as well as for the processing of the solid residues. The thermal circuit of TPP on MSW is realized as cross-linked with two condensing turbines which have adjusted steam extractions for district heating. Depending on the season and energy demands, the TPP provides from 10 to 24 MW of electricity and from 2.4 to 8 GJ/h of heat. The results of the calculation of material and heat balances of developed TPP on MSW that was conducted for wastes with various characteristics throughout the whole range of operating loads, justify energy efficiency and environmental safety of the proposed power plant.

ҮЛКЕН ҚАЛАЛАРДАҒЫ АЛЬТЕРНАТИВТІ КӨЗІ РЕТІНДЕ ТҰРМЫСТЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАНАТЫН ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ**А. Н. Тугов**ААҚ «ВТИ», Москва қ., e-mail: vti-boiler@mail.ru**Аннотация**

Әлемдік тәжірбие көрсеткендей, ірі қалаларда тұрмыстық қалдықтардың альтернативті көзі ретінде энергия алу – ЖЭС ҚТҚ(қатты тұрмыстық қалдықтар) пайдалану. Мұндай электростанциялардағы электр күші 5МВттан 60 МВтқа дейін барады. Кедендің одақтағы мемлекеттерде болжам бойынша мұндай ЖЭС шамамен 15 МВт құрайды. Тұрмыстық қалдықтарды жағудағы технологиялық, әлеуметтік-эконмикалық және экологиялық критериялары бойынша Ресей және басқа да кеден одақтас мемлекеттер үшін мұндай ҚТҚ пайдалану өте тиімді болатыны зерттеулер көрсетіп отыр. ЖЭС ҚТҚ пайдалану кезінде жылына 180 мың тонна қалдық жағылады (үлкен қалаларда адам саны 350.... 400 мың адам). Бұл технология бойынша эенергетикалық баланс, қайтарымдығы және тағы да басқа есептеулер шығарылды.