

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ТЭС НА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДАХ

**А.А. Дудолин, А.Н. Ефремов**

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия*

В данной статье рассмотрены основные этапы в выборе экологически безопасной структурной схемы термической и энергетической утилизации твердых коммунальных отходов на этапе выполнения технико-экономического обоснования. Проведен анализ оценки влияния топливной составляющей на структуру объекта. Разработаны рекомендации к выбору оптимальной энергетической структуры ТЭС на твердых коммунальных отходах (ТЭС на ТКО), исследован подход по анализу схемы обращения с золой и шлаком. Определен подход к выбору структуры системы газоочистки ТЭС на ТКО. Выявлены значительные отличия в подходе к определению структуры энергетической ТЭС и ТЭС на ТКО. Сформированы рекомендации для снижения капитальных затрат при максимизации извлечения вторичных ресурсов. Методология выполнения исследования заключается в анализе зарубежного опыта эксплуатации ТЭС на ТКО с различными структурными схемами, представленного в литературе, отчетах об эксплуатации энергетических комплексов, паспортах на установки. В результате проведенной работы сформированы этапы для разработки методики выполнения многофакторного анализа, которая позволит на основании внешних факторов и критериев оптимальности для конкретного проекта определить структурную схему ТЭС на ТКО, наилучшим образом подходящую к реализации.

*Ключевые слова:* тепловая электростанция на твердых коммунальных отходах (ТЭС на ТКО), термическая утилизация отходов, система газоочистки, технико-экономические обоснования в энергетике, сортировка отходов.

### Введение

Использование твердых коммунальных отходов (ТКО) в качестве ресурса для получения вторичного сырья и энергии давно стало привлекательным вариантом для коммерческих структур и местных органов власти во многих странах (к сожалению, кроме России). Термическое обезвреживание способствует сокращению захоронения несортированных ТКО на полигонах, позволяет переработать отходы, которые не могут быть эффективно использованы для получения вторичного сырья или рекуперации путем биологической очистки.

Россия в вопросе энергетической утилизации ТКО пока делает первые шаги. В 2001 году после реконструкции введен в эксплуатацию московский спецзавод № 2, на котором установлены три турбоагрегата электрической мощностью 1,2 МВт – первая в России теплоэлектростанция, основным топливом которой является ТКО. Позднее были введены ещё несколько объектов в Москве. В настоящее время ведется строительство ТЭС на ТКО большой мощности в Москве и Казани [1].

Выполнением инжиниринговых и проектных работ для предприятий по термической утилизации отходов за рубежом и в России занимаются энергетические компании. Интерес энергетиков к этому источнику энергии продолжает возрастать, появляются заказы на выполнение ТЭО и ОИС по

строительству энергетических комплексов (ЭК) на ТКО от крупных энергетических компаний (ПАО «Мосэнерго», ООО «АГК-1»).

Методика выбора наилучшей доступной технологии, приведенная в ИТС 9-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическим способом», зачастую оказывается не применима на реальных объектах, что приводит к необходимости для каждого проекта искать новые методики, подбирать критерии выбора наилучшей технологии. Создание методологии и определение критериев оценки различных технологий термической переработки ТКО является актуальной задачей в условиях развития отрасли. Как было отмечено ранее, в России на сегодняшний день имеется всего несколько крупных ТЭС на ТКО, а значит, выполнение анализа влияния элементов структуры ТЭС на ТКО только на основе отечественного опыта эксплуатации подобных установок невозможно. Выполнение сравнительного анализа различных структурных схем ТЭС на ТКО, распространенных в странах ЕС и Японии, позволит выявить их основные достоинства и недостатки, определить области применения.

В данной статье приводится предлагаемая авторами последовательность этапов выбора структуры ТЭС на ТКО, описываются основные проблемы, возникающие на каждом этапе.

### Описание общего подхода к выбору структуры ТЭС на ТКО

Критериальный анализ для выбора оптимальной технологии термической переработки ТКО, приведенный в [2], не применим для комплексного анализа схемы и для обоснования принятой схемы. Опыт применения различных структурных схем ТЭС на ТКО в энергетике описан в [3]. В открытом доступе представлен ряд литературных источников, в которых освещается информация о структурных схемах различных ТЭС на ТКО в странах

Европейского Союза (ЕС), Японии, США [4–7]. Исследование различных структурных схем ТЭС на ТКО приведено в работе [8].

Методика выполнения анализа структуры технологической схемы ТЭС на ТКО по своему составу сходна с анализом структуры схемы энергетической ТЭС на твердом топливе (общий вид схемы приведен на рис. 1, в скобках приведены аналогичные этапы для энергетической ТЭС на твердом топливе).

Несмотря на то, что в структуру ТЭС на ТКО и энергетической ТЭС на твердом топливе входят

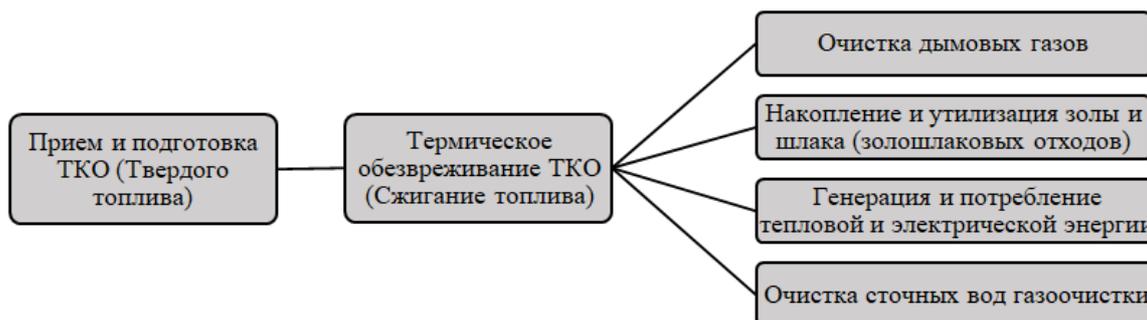


Рис. 1. Общий вид структуры ТЭС на ТКО

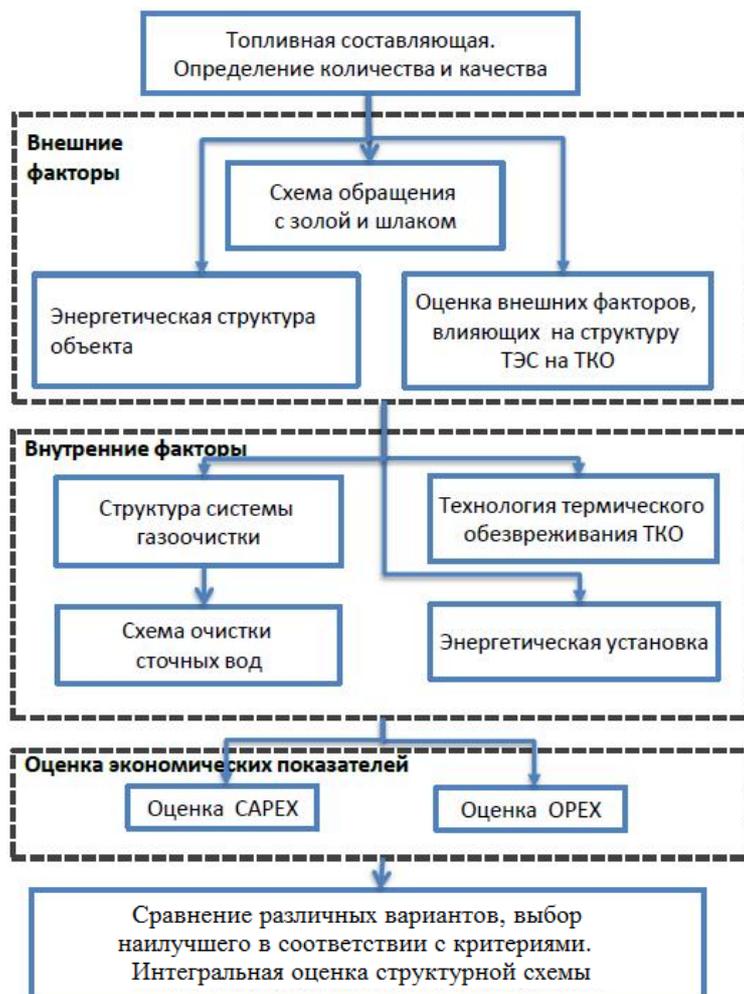


Рис. 2. Порядок выбора структуры ТЭС на ТКО

одни и те же элементы, имеются значительные отличия, которые определяют различие в подходах к анализу и выбору характеристик основных элементов структуры. Выбор структуры ТЭС на ТКО должен производиться по иным критериям, а критерии выбора оптимальной технологии ТЭС на твердом топливе не применимы для ТЭС на ТКО.

Авторами предложена методика декомпозиции структуры ТЭС на ТКО на отдельные элементы в соответствии с рис. 1 для выполнения анализа свойств каждого элемента в отдельности, а также изучения влияния элемента на ключевые показатели работы объекта: экологичность, экономичность. Порядок этапов выбора структуры ТЭС на ТКО приведен на рис. 2. Далее подробно будет рассмотрен каждый этап.

### Этап 1. Оценка топливной составляющей

Морфологический состав поступающих на термическую утилизацию ТКО изменяется в широком диапазоне в зависимости от сезона и географии и оказывает сильное влияние на экономические, экологические и показатели надежности [9].

На уровне субъектов Российской Федерации в соответствии с Рекомендациями по разработке региональной программы в области обращения с отходами утверждается схема обращения с ТКО. С 1 января 2017 года введены рекомендации по разработке территориальных схем по обращению с отходами [10], в которых предусматривается термическое обезвреживание только сортированных ТКО, с 1 января 2020 года термическое обезвреживание несортированных отходов запрещено законодательно. Рекомендации рассматривают пять схем обращения с ТКО, две из которых подразумевают термическую утилизацию отходов:

- смешанный сбор отходов с последующей сортировкой и термической утилизацией;
- раздельный сбор с последующей сортировкой и термической утилизацией.

При термической утилизации несортированных ТКО или отходов с низкой степенью обработки достижение цели снижения содержания вредных веществ в дымовых газах и золошлаковых отходах является сложным и дорогостоящим процессом, а сильное колебание морфологического состава ТКО приводит к риску возникновения нештатных режимов и превышению ПДК в выбросах [11]. Зарубежный опыт показывает, что достижение высоких экологических показателей ЭК на ТКО возможно только при проведении предварительной подготовки ТКО совместно с внедрением эффективной комплексной очистки дымовых газов, нейтрализации золошлаков и подходящей организации процесса сжигания.

Строительство энергетического комплекса по термической утилизации ТКО требует больших капитальных затрат: оценочная стоимость ЭК по выработке тепловой и электрической энергии может в 6–10 раз превышать стоимость энергетиче-

ского комплекса той же мощности, сжигающего органическое топливо [7]. Целесообразным является путь максимального сокращения количества отходов, поступающих на термическую утилизацию, и увеличение уровня подготовки. Термическое обезвреживание отходов сортировки, с одной стороны, требует устройства мусоросортировочного комплекса или внедрения системы предварительной подготовки отходов в регионе, что повышает удельную стоимость утилизации отходов, но в то же время позволяет применять менее сложные технологии термической утилизации и газоочистки для достижения высоких экологических показателей объекта, снижает размеры объекта. Удаление из потока отходов тяжелых металлов, хлора (ПВХ), отходов, содержащих ртуть (термометры, батарейки, лампы), позволит снизить нагрузку на систему газоочистки, сокращая операционные затраты процесса термической утилизации, выбросы вредных веществ в атмосферу.

При оценке мощности ТЭС на ТКО производится оценка предполагаемого количества отходов, которые могут поступить на предприятие от промышленных и коммунальных предприятий, с учетом транспортного плеча (которое, как правило, не должно превышать 25 км), графика возможного поступления отходов. Оценивается планируемый морфологический состав отходов. Основной проблемой на этом этапе является то, что статистика морфологического состава отходов у коммунальных предприятий зачастую отсутствует. На этапе выполнения технико-экономического обоснования для предварительной оценки могут быть приняты данные о морфологическом составе отходов в соответствии с данными [4], однако для оценки принятого результата должны быть проведены натурные исследования.

Немаловажным процессом на данном этапе является оценка низшей теплоты сгорания подготовленных отходов, которые планируется направлять на термическую утилизацию. В [12] приведена методика оценки низшей теплоты сгорания отходов, апробированная на спецзаводах г. Москвы. Данная методика может быть применена для предварительной оценки, но проведение лабораторных испытаний на данном этапе является обязательным. Отсутствие подтвержденных методических данных относительно морфологического состава ТКО коммунальных хозяйств, отсутствие данных о статистике работы промышленных мусоросортировочных комплексов приводит к необходимости выполнения лабораторных экспериментов на этапе выполнения технико-экономического обоснования.

### Этап 2. Определение энергетической структуры

Особенности выбора энергетической структуры ТЭС на ТКО подробно описаны в [13]. Дополнительно следует отметить, что при определении энергетической структуры предприятия следует

Возможные виды схем отпуска энергии от ТЭС на ТКО

№	Структура энергетического комплекса	Сфера применения / Особенности
1	Водогрейная котельная на ТКО (отдельная/в структуре котельной)	Замещение существующей котельной / Требуется учесть сезонные изменения в потреблении тепла
2	Паровая котельная, отпуск пара на ТЭС на органическом топливе (в структуре ТЭС)	Экономия из-за наличия необходимой инфраструктуры на ТЭС / Применимо при наличии потребителей пара с параметрами до 40 бар
3	Паровая котельная, отпуск пара на промышленное предприятие (отдельное предприятие)	В крупных городах редко имеются крупные потребители пара / При плановых остановках предприятия – останов линии
4	Конденсационная ТЭС на ТКО (в составе существующей ТЭС)	Экономия из-за наличия инфраструктуры на ТЭС / Наличие постоянной возможности отпуска электроэнергии
5	ТЭС на ТКО с теплофикацией (в составе существующей ТЭС)	Экономия из-за наличия инфраструктуры на ТЭС / Наличие постоянной возможности отпуска тепла/электроэнергии. Сокращение срока окупаемости из-за возможности отпуска тепла на теплофикацию
6	Конденсационная ТЭС на ТКО (отдельное предприятие)	Необходимость строительства новой инфраструктуры / Для объектов малой мощности применение не рационально
7	ТЭС на ТКО с теплофикацией (отдельное предприятие)	Необходимость строительства новой инфраструктуры / Для объектов малой мощности применение не рационально. Сложно организовать сбыт тепла в условиях существующего рынка тепловой энергии
8	ТЭС на ТКО с газификацией и применением тепловых двигателей	Высокая эффективность по выработке электрической энергии / Высокий CAPEX (не рассматриваются в статье)

рассматривать различные схемы применения энергии, получаемой на ТЭС на ТКО, описание которых приведено в табл. 1, варианты расположены в порядке возрастания CAPEX объекта.

Для каждого конкретного случая в зависимости от структуры потребления тепловой и электрической энергии выбор оптимального энергетического оборудования ТЭС на ТКО должен производиться при выполнении технико-экономического обоснования. Следует обратить внимание на то, что пар, производимый на ТЭС на ТКО, имеет достаточно низкие параметры, что связано с процессами хлорной коррозии металла пароперегревателей, и составляет обычно не более 40–60 бар, 400–420 °C [12]. На данном этапе производится выбор предполагаемой площадки размещения объекта и оценка внешних факторов, влияющих на структуру объекта.

### Этап 3. Определение схемы обращения с золой и шлаком

В процессе работы ТЭС на ТКО образуются твердые отходы в виде шлака и золы, а также продукты газоочистки, в зависимости от технологии термической утилизации, принятой на предприятии, соотношение количества золы и шлака может различаться. В соответствии с исследованиями, проведенными на Московских спецзаводах [14], шлак котла-утилизатора принадлежит к 4-му классу опасности (малоопасные), а продукты газоочистки, отобранные с рукавного фильтра, – к 3-му

классу (умеренно опасные). Как правило, отходы 4-го класса опасности могут захораниваться на полигонах ТБО, в то время как отходы 3-го класса опасности должны захораниваться на специально оборудованных полигонах, требуют нейтрализации.

В зависимости от принятой в регионе схемы обращения с отходами на этапе выбора структуры ТЭС на ТКО могут быть рассмотрены три основных сценария по обращению с золошлаковыми отходами.

1. Полигоны по утилизации отходов 3-го и 4-го класса опасности находятся в пределах транспортной доступности в регионе размещения ЭК.

2. Полигон по утилизации отходов 4-го класса опасности находится в пределах региона строительства, отходы 3-го класса опасности требуется вывозить на большое расстояние.

3. В регионе строительства ЭК и в близлежащих регионах есть только полигоны, принимающие отходы 4-го класса опасности.

### Этап 4. Определение технологии термической утилизации ТКО

Процессы термической утилизации можно разделить на три категории (сжигание, газификация и пиролиз). В табл. 2 приведены сравнения характеристик технологий термической утилизации ТКО, основанные на данных [9–15].

Ключевым фактором в выборе технологии термической утилизации являются свойства ТКО, поступающих на утилизацию, их состав и наличие системы предварительной сортировки отходов.

Таблица 2

Сравнение технологий термической утилизации ТКО

Показатель	Сжигание на колосниковой решетке	Сжигание в кипящем слое	Газификация с плавлением остатка	Плазменная газификация	Пиролиз
Содержание вредных веществ в ДГ, направляемых на газоочистку	Высокое	Среднее	Низкое	Низкое	Низкое
Мощность завода по переработке ТКО	До 1000 тыс. т/год	До 500 тыс. т/год	До 216 тыс. т/год	До 100 тыс. т/год	До 135 тыс. т/год
Наименьший выход отходов III класса опасности	~ 5 %	~ 8 %	~ 2 %	~ 2 %	~ 3 %
Требования к предварительной подготовке ТКО	Не требуется	Требуется подготовка	Требуется RDF	Требуется RDF	Требуется RDF
Относительный уровень капитальных затрат	Низкие	Средние	Высокие	Очень высокие	Высокие

### Этап 5. Выбор системы газоочистки

После выбора технологии термической утилизации, определения состава топлива и оценочного состава дымовых газов, учитывая внешние факторы размещения объекта, производят выбор системы очистки дымовых газов. Методы по очистке дымовых газов разделяются на первичные и вторичные. Первичные методы включают в себя ряд мероприятий, направленных на снижение образования вредных веществ в объеме ДГ, вторичные методы направлены непосредственно на удаление загрязнителей из потока ДГ [16].

В зависимости от выбранной структуры технология очистки дымовых газов может включать в себя различные методы первичного и вторичного удаления вредных веществ, каждый из которых выполняет функцию по удалению конкретного вещества или группы веществ [17, 18]. В общем

виде перечень основных вредных веществ в ДГ и технологий очистки приведен в табл. 3.

Существует большое количество комбинаций агрегатов системы газоочистки, позволяющих достичь нормируемых концентраций загрязнителей, в соответствии с [4, 7, 16] можно выделить наиболее часто применяемые технологии, перечень приведен в табл. 4 в порядке увеличения CAPEX.

Увеличение требований к степени очистки дымовых газов, снижение уровня подготовки топлива приводят к удорожанию технологической линии системы газоочистки. Выполнение сравнительного анализа наиболее распространенных в мировой практике строительства ТЭС на ТКО структурных схем газоочистки, который будет проведен в последующем, позволит определить оптимальную структуру с точки зрения миними-

Таблица 3

Перечень основных загрязнителей ДГ и технологий газоочистки

№	Наименование загрязнителя	Технология газоочистки
1	Твердые частицы	Рукавные фильтры, электрофильтры, циклоны
2	Оксиды азота (NO <sub>x</sub> )	Первичные методы по снижению, SNCR и SCR
3	Кислые газы (SO <sub>x</sub> , HCl, HF)	Мокрые, полусухие или сухие скрубберы, рукавные фильтры
4	Тяжелые металлы	Первичные методы по снижению, впрыск активированного угля, удаление твердых частиц
5	Диоксины и фураны	Первичные методы по снижению, впрыск активированного угля, SCR, удаление твердых частиц

Таблица 4

Сравнение наиболее распространенных технологий газоочистки

№	Состав системы газоочистки	Применимость
1	SNCR + сухой реактор + рукавный фильтр (РФ)	RDF, отходы промышленных предприятий (древесина, бумажное производство)
2	SNCR + полусухой реактор + рукавный фильтр	RDF, подготовленные муниципальные отходы, несортированные отходы
3	Мокрая газоочистка + рукавный фильтр + SCR	RDF, подготовленные муниципальные отходы, несортированные отходы
4	ЭФ + мокрая газоочистка + рукавный фильтр + SCR	RDF, подготовленные муниципальные отходы, несортированные отходы

зации негативного воздействия на окружающую среду с учетом сокращения операционных затрат.

### Результаты

В результате проведенной работы сформированы этапы для разработки методики выполнения многофакторного анализа, которая позволит на основании внешних факторов и критериев оптимальности для конкретного проекта определить структурную схему ТЭС на ТКО, наилучшим образом подходящую к реализации.

Впервые разработан комплексный алгоритм исследования структурной схемы ТЭС на ТКО, составлена методика анализа и выделены наиболее значимые факторы и параметры, влияющие на выбор технологии, среди которых анализируются внешние факторы размещения объекта (схема обращения с ТКО, условия размещения объекта и т. д.) и внутренние факторы (технология термического обезвреживания, газоочистки, энергетического комплекса, экономические показатели). В ходе работы впервые сформулированы рекомендации по выбору структурной схемы объекта в зависимости от исходных условий проектов.

### Заключение

В сфере термического обезвреживания отходов показатель работы «экологическая безопасность объекта» напрямую зависит от правильности выбора структурной схемы объекта на этапе предпроектной подготовки. В данной статье приведен порядок рассмотрения различных элементов структурной схемы ТЭС на ТКО, приведены основные особенности каждого из элементов. Полученная декомпозиция в дальнейшем будет учтена при разработке комплексного подхода – многофакторного анализа при выборе экологически безопасной ТЭС на ТКО.

Следует отметить, что решение о структурной схеме ТЭС на ТКО для каждого отдельного случая должно приниматься по результатам выполнения технико-экономического обоснования. Сформированные авторами рекомендации, основанные на зарубежном опыте эксплуатации ТЭС на ТКО, позволят инжиниринговым компаниям сократить количество вариантов проработки схем на этапе ТЭО.

**Работа поддержана Минобрнауки России (шифр научной темы FSWF-2020-0021). 111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., д. 14. НИУ «МЭИ».**

### Литература

1. Уласевич, С.В. Разработка и реализация пилотного проекта по строительству генерирующих объектов по термической переработке твердых коммунальных отходов на территории Московской области и в городе Казани. Заключение о технологическом и ценовом аудите инвестиционного проекта / С.В. Уласевич. – М.: ЗАО «СВЕКО Союз Инжиниринг» / С.В. Уласевич. – М., 2017. – 138 с.
2. Росляков, П.В. О выборе оптимальной технологии термической переработки твердых бытовых отходов / П.В. Росляков, М.А. Изюмов, А.Н. Тугов // Энергетик. – 1996. – № 9. – С. 6–10.
3. Тугов, А.Н. Опыт использования твердых коммунальных отходов в энергетике (обзор) / А.Н. Тугов // Теплоэнергетика. – 2015. – № 12. – С. 13–22. DOI: 10.1134/S0040363615120127
4. Neuwahl, F. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration / F. Neuwahl, G. Cusano. – JOINT RESEARCH CENTRE, Industrial Emissions Directive, 2019. – 608 p. DOI: 10.2760/761437
5. Kushiro Association of waste incineration facilities h28, Mitsubishi HI. Kushiro, 2017. – 184 p.
6. Waste to Energy facility worldwide. – <http://www.coenrady.com> (дата обращения: 07.10.2020).
7. Review of State-of-the-Art Waste-to-Energy Technologies. Stage Two – Case Studies / S. Wood, M. Fanning, M. Venn, K. Whiting. – Perth: Waste Management Branch, 2013. – 195 p.
8. Тугов, А.Н. Современные технологии термической переработки твердых коммунальных отходов и перспективы их реализации в России (обзор) / А.Н. Тугов // Теплоэнергетика. – 2021. – № 1. – С. 3–20. DOI: 10.1134/S0040363621010185
9. Ефремов, А.Н. Влияние предварительной обработки на теплотехнические характеристики твердых коммунальных отходов (ТКО) и экологические показатели тепловой электростанции на ТКО / А.Н. Ефремов, А.А. Дудолин // Вестник МЭИ. – 2019. – № 6. – С. 11–20. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-11-20
10. Рекомендации по разработке территориальной схемы и региональной программы в области обращения с отходами, в том числе с ТКО субъекта РФ. – М., 2016. – 86 с.
11. Дыган, М.М. Экологическая безопасность мусоросжигательных заводов при переменной мощности по сжиганию твердых бытовых отходов: дис. ... канд. техн. наук / М.М. Дыган. – М., 2012. – 190 с.
12. Тугов, А.Н. Исследование процессов и технологий энергетической утилизации бытовых отходов для разработки отечественной ТЭС на ТБО: дис. ... д-ра техн. наук / А.Н. Тугов. – М., 2012. – 349 с.
13. Ефремов, А.Н. Анализ зарубежного опыта в части построения энергетической структуры ТЭС на твердых коммунальных отходах / А.Н. Ефремов, А.А. Дудолин // Вестник КГЭУ. – 2021. – Т. 13, № 2 (50). – С. 3–14.
14. Тугов, А.Н. Опыт ВТИ по сжиганию твердых бытовых отходов в слоевых топках / А.Н. Тугов, А.Г. Тумановский, В.Ф. Москвичев // VIII Всероссийская конференция с международным участием «Горение твердого топлива». Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 13–16 ноября 2012 г. – 2012. – С. 98.1–98.8.

15. Eurostat. *Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations*. – [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/env\\_wastrt](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/env_wastrt) (дата обращения: 24.02.2020).

16. Ефремов, А.Н. Анализ зарубежного опыта применения систем газоочистки тепловых электрических станций на твердых коммунальных отходах / А.Н. Ефремов, А.А. Дудолин // *Вестник МЭИ*. – 2021. – № 2. – С. 11–19. DOI: 10.24160/1993-6982-2021-2-11-19

17. Ефремов, А.Н. Сравнительный анализ технологий газоочистки для тепловой схемы экологически чистой ТЭС на ТКО / А.Н. Ефремов, А.А. Дудолин // *Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019»*. – 2019. – С. 420–432.

18. Тугов, А.Г. *Предварительная оценка содержания серы и хлора в исходном ТБО (ТЛ-1 спецзавод № 4 «Руднево»)* / А.Г. Тугов. – М.: ОАО «ВТИ», 2004. – 125 с.

Дудолин Алексей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, заместитель заведующего кафедры тепловых электрических станций, Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва; dudolinaa@mpei.ru.

Ефремов Антон Николаевич, аспирант кафедры тепловых электрических станций, Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва; anefremow@mail.ru.

Поступила в редакцию 3 октября 2021 г.

DOI: 10.14529/power210401

## PROBLEMS AND PROSPECTS OF CREATING AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY WASTE-TO-ENERGY PLANT

A.A. Dudolin, dudolinaa@mpei.ru,

A.N. Efremov, anefremow@mail.ru

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russian Federation

The article considers the main stages in the selection of an environmentally safe structure of thermal and energy solid municipal waste utilization as part of the feasibility study. The article analyses the assessed influence of the fuel component on the structure of a waste-to-energy plant (WTE plant). Recommendations on how to select the optimal energy structure of WTE plant have been developed, an approach to the analysis of the ash and slag management scheme has been investigated. The approach to the choice of the structure of the WTE plant gas purification system is selected. The article reveals significant differences in the approach to determining the structure of the energy TPP and WTE plant and provides recommendations on the ways to reduce capital costs while maximizing the extraction of secondary resources. The methodology of the study consists in the analysis of foreign experience in the operation of thermal power plants on MSW with various structural schemes, presented in the literature, reports on the operation of energy complexes, passports for installations. The purpose of creating the methodology is to determine the projected environmental and energy indicators of the projected WTE plant and, taking into account external and internal factors of the project, identify possible risks of the project at the stage of feasibility study.

*Keywords:* waste to energy plant (WTE plant), thermal waste disposal, gas treatment system, feasibility studies in the energy sector, waste sorting.

The article was supported by the Ministry of Education and Science of Russia (code of the scientific topic SWF-2020-0021). 111250, Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya str. 14, National research university "MPEI".

### References

1. Ulasevich S.V. *Razrabotka i realizatsiya pilotnogo proyekta po stroitel'stvu generiruyushchikh ob'yektov po termicheskoy pererabotke tverdykh kommunal'nykh otkhodov na territorii Moskovskoy oblasti i v gorode Kazani. Zaklyucheniye o tekhnologicheskoy i tsenovom audite investitsionnogo proyekta* [Development and implementation of a pilot project for the construction of generating facilities for the thermal processing of solid municipal waste in the Moscow region and in the city of Kazan, Conclusion on the technological and price audit of the investment project]. Moscow, CJSC SWEKO Soyuz Engineering, 2017. 138 p.

## Обзорные статьи

---

2. Roslyakov P.V., Izyumov M.A., Tugov A.N. [On choosing the optimal technology for thermal processing of solid household waste]. *Energetik*, 1996, no. 9, pp. 6–10. (in Russ.)
3. Tugov A.N. Experience of using municipal solid waste in the energy industry (an overview). *Thermal Engineering*, 2015, vol 62, no. 12, pp. 853–861. DOI: 10.1134/S0040601515120125
4. Neuwahl F., Cusano G. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration*. JOINT RESEARCH CENTRE, Industrial Emissions Directive, 2019. 608 p. DOI: 10.2760/761437
5. *Kushiro Association of waste incineration facilities h28, Mitsubishi HI. Kushiro*, 2017. 184 p.
6. *Waste to Energy facility worldwide*. Available at: <http://www.coenrady.com> (accessed 07.10.2020).
7. Wood S., Fanning M., Venn M., Whiting K. Review of State-of-the-Art Waste-to-Energy Technologies. Stage Two – Case Studies. Perth: Waste Management Branch, 2013. 195 p.
8. Tugov A.N. Modern technologies for the thermal treatment of municipal solid waste, and prospects for their implementation in russia (review). *Thermal Engineering*, 2021, vol. 68, no. 1. DOI: 10.1134/S0040601521010183
9. Efremov A.N., Dudolin A.A. Influence of recovery method of secondary raw materials on MSW thermal features and environmental characteristics of MSW WTE factory. *Bulletin of MPEI*, 2019, no. 6, pp. 11–20. (in Russ.) DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-11-20
10. *Rekomendatsii po razrabotke territorial'noy skhemy i regional'noy programmy v oblasti obrashcheniya s otkhodami, v tom chisle s TKO sub'yekta RF* [Recommendations for the development of a territorial scheme and a regional program in the field of waste management, including with MSW of the subject of the Russian Federation]. Moscow, 2016. 86 p.
11. Dygan M.M. *Ekologicheskaya bezopasnost' musoroszhigatel'nykh zavodov pri peremennoy moshchnosti po szhiganiyu tverdykh bytovykh otkhodov: dis. kand. tekhn. nauk* [Environmental safety of waste incineration plants with variable capacity for solid waste incineration. Cand. sci. diss.], Moscow, 2012. 190 p.
12. Tugov A.N. *Issledovaniye protsessov i tekhnologiy energeticheskoy utilizatsii bytovykh otkhodov dlya razrabotki otechestvennoy TES na TBO: dis. d-ra tekhn. nauk* [Research of processes and technologies of energy utilization of household waste for the development of domestic thermal power plants on solid waste. Doct. sci. diss.]. Moscow, 2012. 349 p.
13. Efremov A.N., Dudolin A.A. Ananysis of foreign experience in the energy structure of WTE plant. *Vestnik KSEU*, 2021, vol. 13, no. 2 (50), pp. 3–14. (in Russ.)
14. Tugov A.N., Tumanovsky A.G., Moskvichev V.F. [The experience of VTI on burning solid household waste in layer furnaces]. *VIII All-Russian Conference "Solid fuels burning"*. Institute of Thermophysics SB RAS, 2012, pp. 98.1–98.8. (in Russ.)
15. *Eurostat. Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations*. Available at: [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/env\\_wastrt](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/env_wastrt) (accessed 24.02.2020).
16. Efremov A.N., Dudolin A.A. Analysis of foreign experience in using flue gas purification systems at waste-to-energy plants. *Vestnik MEI*, 2021, no. 2, pp. 11–19. (in Russ.) DOI: 10.24160/1993-6982-2021-2-11-19
17. Efremov A.N., Dudolin A.A. [Comparative analysis of gas purification technologies for the thermal scheme of environmentally friendly TPP on MSW]. *Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference "Environmental, Industrial and Energy Security – 2019"*, 2019, pp. 420–432. (in Russ.)
18. Tugov A.G. *Predvaritel'naya otsenka sodержaniya sery i khloro v iskhodnom TBO (TL-1 spetszavod № 4 "Rudnevo")* [Preliminary assessment of the content of sulfur and chlorine in the initial solid waste (TL-1 special plant No. 4 "Rudnevo")]. Moscow, 2004. 125 p.

Received 3 October 2021

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Дудолин, А.А. Проблемы и перспективы создания экологически безопасной ТЭС на твердых коммунальных отходах / А.А. Дудолин, А.Н. Ефремов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 5–12. DOI: 10.14529/power210401

### FOR CITATION

Dudolin A.A., Efremov A.N. Problems and Prospects of Creating an Environmentally Friendly Waste-to-Energy Plant. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 5–12. (in Russ.) DOI: 10.14529/power210401