

УДК 62:665.3

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-11-20

Влияние предварительной обработки на теплотехнические характеристики твердых коммунальных отходов (ТКО) и экологические показатели тепловой электростанции на ТКО

А.Н. Ефремов, А.А. Дудолин

В настоящее время в России реализуется комплексная Стратегия в области обработки, утилизации и обезвреживания отходов. В число ее основных целей входят внедрение системы раздельного сбора коммунальных отходов и обеспечение максимального вовлечения отходов в производство.

Введение в действие нормативных документов в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) ведет к запрету термической утилизации несортированных ТКО, обязывает региональных операторов к максимизации извлечения вторичных ресурсов и составлению региональной схемы обращения с отходами.

Приведена оценка специфики различных региональных схем обращения с отходами и их влияния на текущий и перспективный морфологические составы ТКО, что должно учитываться при выполнении предпроектных проработок для строительства энергетических комплексов по термической утилизации отходов (ТЭС на ТКО).

Рассмотрено изменение морфологического состава ТКО в зависимости от применяемого метода раздельного сбора и доли извлечения вторичного сырья. Проведены расчетно-аналитические исследования теплотехнических характеристик ТКО и доли ТКО, поступающей на термическую утилизацию при применении мусоросортировочного комплекса в составе ТЭС на ТКО. Изучено положительное влияние применения мусоросортировочного комплекса в составе энергетического комплекса на экологические показатели, выполнен анализ схемы успешно реализованного проекта Busan WtE (Южная Корея).

Создан алгоритм определения количества и теплотехнических характеристик ТКО, поступающих на термическую утилизацию, в зависимости от принятой схемы обращения с ТКО в регионе.

Ключевые слова: ТЭС на ТКО, термическая утилизация ТКО, теплота сгорания отходов, мусоросортировочный комплекс.

Для цитирования: Ефремов А.Н., Дудолин А.А. Влияние предварительной обработки на теплотехнические характеристики твердых коммунальных отходов (ТКО) и экологические показатели тепловой электростанции на ТКО // Вестник МЭИ. 2019. № 6. С. 11—20. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-11-20.

Influence of Recovery Method of Secondary Raw Materials on MSW Thermal Features and Environmental Characteristics of MSW WTE Factory

A.N. Efremov, A.A. Dudolin

An integrated strategy for municipal solid waste (MSW) reuse, recycling and treatment is currently being implemented in Russia. The main strategic objectives are introduction of separate collection of municipal waste and maximum utilization of waste in national economy. Introduction of regulatory documents related to MSW management assumes banning of thermal treatment of unsorted MSW and obliges

regional operators to maximize recovery of secondary raw materials, also develop regional waste management programs. The article provides analysis of various regional waste management programs and their impact on current and future MSW morphology, which should be taken into account at basic design stage when constructing WtE plants for thermal waste treatment.

The article focuses on alterations of MSW morphology depending on waste collection method used and share of secondary raw materials recovered. The author carries out calculations and analytical studies of MSW thermal characteristics and incoming MSW share for thermal treatment when implementing waste recovery technologies as part of WtE plant. Such implementations having positive impact on environmental indicators, the author analyzes success story of Busan WtE project (South Korea).

An algorithm for measuring MSW quantity and thermal characteristics is suggested depending on MSW management program adopted in the region..

Key words: WTE power plant, resource recovery plant, waste thermal utilization, waste lower heating value.

For citation: 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;6:11—20. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-11-20.

Введение

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

Морфологический состав поступающих на термическую утилизацию ТКО меняется в широком диапазоне в зависимости от сезона и географии и оказывает сильное влияние на экономические, экологические и надежность показатели энергетического комплекса (ЭК), так как напрямую воздействуют на первое звено его структуры. В общем виде структура ЭК по термической утилизации ТКО представлена на рис. 1.

Таким образом, достоверность оценки прогнозируемого состава отходов, поступающих на термическую утилизацию, приобретает особую важность на этапе предпроектной проработки.

Цель работы — анализ влияния метода извлечения вторичного сырья на морфологический состав ТКО, теплотехнические характеристики, экологические показатели работы ТЭС на ТКО, составление методических рекомендаций по определению теплотехнических характеристик ТКО, поступающих на термическую утилизацию.

В настоящее время в России реализуется комплексная Стратегия в области обработки, утилизации и обезвреживания отходов, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от

25 января 2018 г. № 84-р [1]. В числе ее основных целей определены внедрение системы отдельного сбора коммунальных отходов по фракциям (биомасса, макулатура, стекло, металлы и пластмассы) и обеспечение максимального вовлечения отходов в производство с применением мирового принципа 3R (предотвращения образования отходов, повторного использования и переработки во вторичные ресурсы) [1]. Основным целевым показателем стратегии, а именно доля утилизированных отходов в общем объеме образовавшихся отходов, должен быть достигнут к 2030 г. и прогнозируемо составит 86%.

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 г. термическая утилизация несортированных ТКО запрещена российским законодательством [2]. Рекомендации рассматривают пять схем обращения с ТКО, две из которых подразумевают термическую утилизацию отходов и являются объектом исследования настоящей работы:

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

Обе схемы включают в себя использование сортировочных комплексов, на которых происходит извлечение вторичных материальных ресурсов (ВМР), и последующую термическую утилизацию хвостов сортировки. При этом доля извлекаемых ВМР различается в зависимости от наличия или отсутствия этапа отдельного сбора в регионе и уровня извлечения. Теплотехнические характеристики ТКО, направляемых на термическую утилизацию, также различны, что, в свою очередь, необходимо учитывать при проектировании ТЭС на ТКО.

Нормативный срок службы оборудования ЭК — не менее 25 лет, обозначенные факторы (наличие комплексов предварительной сортировки ТКО в регионе, уровень предварительной сортировки, присутствие системы отдельного сбора и ее тип) следует принимать



Рис. 1. Общий вид структуры ТЭС на ТКО

во внимание для ТЭС на ТКО, которые будут вводиться в эксплуатацию в ближайшие годы. При отсутствии системы раздельного сбора и предварительной сортировки, для соблюдения законодательства РФ появляется необходимость в строительстве мусоросортировочного комплекса, который может быть реализован в составе ТЭС на ТКО.

Рассмотрим подробнее влияние каждого из перечисленных факторов на энергетический потенциал ТКО.

Раздельный сбор твердых коммунальных отходов

Внедрение раздельного сбора позволяет направить основную часть отходов на вторичную переработку и существенно сократить объемы утилизации. В России нет регионов, где система раздельного сбора имела бы устоявшийся характер, для оценки долей, извлекаемых при раздельном сборе, следует основываться на результатах исследований, проведенных в Санкт-Петербурге [3]. Динамику внедрения системы раздельного сбора и изменения уровня извлечения ВМР в России можно прогнозировать на основании опыта стран с развитой системой обращения с ТКО. Морфологический состав ТКО зависит от организации системы раздельного сбора (РС), в качестве наиболее широко распространенных проанализированы следующие варианты:

- РС биомассы (био), макулатуры, стекла, металлов и пластмассы (применяется в Германии) (вариант 1);
- РС макулатуры, стекла, металлов и пластмассы (применяется в Японии) (вариант 2).

В западных странах внедрение системы раздельного сбора с уровнем извлечения ВМР 20..48% заняло 15 — 25 лет [4, 5], что коррелирует с официальным прогнозом Рекомендации [2] с учетом развития технологий переработки: прогнозный срок внедрения системы раздельного сбора в регионах России составляет 10 — 15 лет.

Сортировка твердых коммунальных отходов на мусоросортировочных комплексах

Современные комплексы по переработке и сортировке отходов разделяют на механизированные и комплексы с ручной сортировкой. В первом случае ВМР отбираются с конвейера без участия персонала (или с частичным привлечением), во втором выборка материалов происходит на сортировочных линиях персоналом. Ручная сортировка менее эффективна, и в рамках исследования не рассматривается.

Автоматическую сортировку осуществляют с использованием системы визуальной спектрометрии, которая обеспечивает извлечение различных материалов из смешанного или однородного потоков отходов, учитывая физические и химические характеристики материала. В зависимости от требований, предъявляемых установкой термической утилизации, после прохождения всех этапов сортировки отходы могут быть измельчены в шредере для получения RDF (Refuse Derived Fuel — топливо на основе мусора) или направлены в бункер сбора отходов ТЭС на ТКО в исходном виде [6]. Мелкие отходы размером от 50 мм и менее, выбранные в сортировочном барабане, отводят в отдельный бункер для направления на термическую утилизацию без сортировки. Схема механизированного сортировочного комплекса, входящего в состав ТЭС на ТКО Busan Южной Кореи по производству RDF, изображена на рис. 2.

Доля отсортированных ВМР при совместных механической и ручной сортировках представлена в табл. 1 [6].

Доля отбора вторичного сырья зависит и от технологических особенностей самой сортировки: скорости конвейера, его загрузки и т. п. При ручной сортировке ТБО общее число извлекаемых компонентов ограничивается числом постов для отбора вторсырья (на практике используются от 6 до 12). Количество

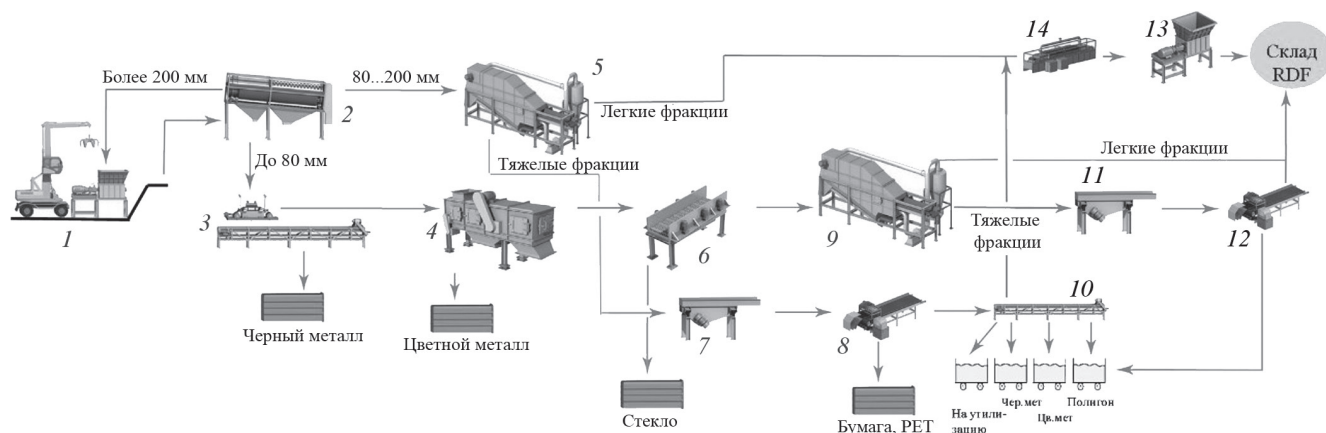


Рис. 2. Схема мусоросортировочного комплекса:

1 — отделение приемки, первичное измельчение; 2 — сортировочный барабан; 3 — магнитный сепаратор; 4 — сепаратор цветных металлов; 5, 9 — воздушные сепараторы; 6 — дисковый сепаратор стекла; 7, 11 — вибрационные питатели; 8, 12 — оптические сортировщики ПЭТ; 10 — ручная сортировка; 13 — измельчитель RDF; 14 — сушка

Таблица 1

Степень извлечения ВМР мусоросортировочной линией [6]

Наименование	Доля извлечения, %
Бумага, картон	40...60
Полимеры (кроме ПЭТФ)	10...20
ПЭТФ	55...70
Стекло	75...85
Черные металлы	90...95
Цветные металлы	90...95
Камни, инертная фр.	40...60
Лампа ртутная	75...85
Батарейки	75...85

извлекаемых компонентов выбирают, исходя из производительности линии (чем выше производительность, тем больше компонентов отбирается) и спроса на отдельные материалы на рынке вторичного сырья. Суммарный процент отбора вторичного сырья на мусоросортировочных комплексах, перерабатывающих отходы различного морфологического состава, сильно варьируется и составляет от 5 до 40 % [7].

Влияние предварительной подготовки (раздельного сбора и сортировки) на морфологический состав твердых коммунальных отходов

Выполнены расчеты морфологического состава ТКО для схем со смешанным и раздельным сбором и предварительной сортировкой (табл. 2).

Таблица 2

Морфология ТКО на термическую утилизацию

Наименование компонентов	Исходные ТКО, %	Сортировка* + РС 0%, %	Сортировка* + РС 10%, %	Сортировка* + РС 30%, %
	2019 г.		2025 г.	2035 г.
Вариант 1				
Бумага, картон	20,59	14,1	10,9	2,9
Пищевые отходы	23,86	32,6	34,8	39,3
Дерево	1,97	2,7	2,9	3,2
Полимеры (кроме ПЭТФ)	13,31	15,0	15,2	15,6
ПЭТФ (полиэтилентерефталат)	4,15	1,8	1,6	1,2
Кожа, резина	0,99	1,4	1,4	1,6
Текстиль	2,05	2,8	3,0	3,4
Памперсы, композитная упаковка	2,01	2,7	2,9	3,3
Черный металл	0,81	0,2	0,1	0,1
Цветной металл	0,30	0,0	0,0	0,0
Стекло	12,55	3,1	2,1	0,8
Камни, керамика	0,31	0,2	0,2	0,2
Отсев (менее 15 мм)	11,16	15,3	16,3	18,4
Прочее	5,94	8,1	8,7	9,8
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00
Вариант 2				
Бумага, картон	20,59	14,1	12,1	6,6
Пищевые отходы	23,86	32,6	32,0	30,0
Дерево	1,97	2,7	2,9	3,5
Полимеры (кроме ПЭТФ)	13,31	15,0	15,7	17,4
ПЭТФ (полиэтилентерефталат)	4,15	1,8	1,7	1,5
Кожа, резина	0,99	1,4	1,5	1,8
Текстиль	2,05	2,8	3,0	3,6
Памперсы, композитная упаковка	2,01	2,7	3,0	3,6
Черный металл	0,81	0,2	0,1	0,1
Цветной металл	0,30	0,0	0,0	0,1
Стекло	12,55	3,1	2,3	1,4
Камни, керамика	0,31	0,2	0,2	0,2
Отсев (менее 15 мм)	11,16	15,3	16,6	19,7
Прочее	5,94	8,1	8,8	10,5
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00

Примечание: * — при организации мусоросортировочной линии часть исходного сырья извлекается для получения ВМР.

Расчет морфологического состава отходов после прохождения мусоросортировочного комплекса сделан на основании коэффициентов извлечения вторичного сырья, полученных от поставщиков оборудования [6].

В качестве исходного морфологического состава ТКО принят состав муниципальных отходов г. Москвы [6]. При проведении предпроектных работ для каждого региона размещения ЭК необходим анализ морфологического состава в ходе выполнения натуральных исследований с соблюдением всех требований по обеспечению их статистической достоверности.

На основании данных о морфологическом составе ТКО можно оценить теплотехнические характеристики ТКО как топлива при введении системы раздельного сбора с разной степенью извлечения ВМР и после мусоросортировочной линии.

Теплотехнические характеристики твердых коммунальных отходов как топлива

Расчет теплотехнических характеристик ТКО выполнен по методике [8], апробированной на действующих заводах по термической утилизации ТКО г. Москвы, и наиболее точно отражает теплотворную способность и зольность ТКО.

Теплотворная способность рассчитывается для двух предельных значений влажности [8], при этом становятся известны максимальные и минимальные значения теплотворной способности, а также зольности ТКО, необходимые для определения граничных условий при работе топочного устройства и построения энергетических диаграмм работы ТЭС на ТКО. Результаты расчетов теплотехнических характеристик ТКО по вариантам 1 и 2 показаны в табл. 3.

Таблица 3

Теплотехнические характеристики ТКО

Наименование параметра	Исходные ТКО	Сортировка + РС 0%	Сортировка + РС 10%	Сортировка + РС 30%
Вариант 1				
Расчетные значения при минимальной влажности				
Влажность W_r' , %	32,70	39,40	40,70	43,10
Зольность на рабочую массу A_r , %	24,60	16,00	15,20	14,50
Низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	8,100	8,400	8,300	8,000
Расчетные значения при максимальной влажности				
Влажность W_r' , %	45,40	54,65	56,40	59,70
Зольность на рабочую массу A_r , %	21,70	12,30	11,30	10,20
Низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	5,800	5,700	5,600	5,200
Общие характеристики ЭК				
Доля ТКО, поступающих на термическую утилизацию от поступивших на ЭК, %	100,0	73,10	78,40	89,80
Общий уровень извлечения ВМР (включая долю раздельного сбора), %	0,000	26,89	31,35	39,31
Вариант 2				
Расчетные значения при минимальной влажности				
Влажность W_r' , %	32,70	39,40	39,80	40,00
Зольность на рабочую массу A_r , %	24,60	16,00	15,60	15,90
Низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	8,100	8,400	8,400	8,500
Расчетные значения при максимальной влажности				
Влажность W_r' , %	45,40	54,65	55,20	55,90
Зольность на рабочую массу A_r , %	21,70	12,30	11,70	11,60
Низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	5,800	5,700	5,800	5,800
Общие характеристики ЭК				
Доля ТКО, поступающих на термическую утилизацию от поступивших на ЭК, %	100,0	73,10	77,30	86,50
Общий уровень извлечения ВМР (включая долю раздельного сбора), %	0,000	26,89	32,74	43,48

В соответствии с исследованиями [8], проведенными на мусоросжигательных заводах г. Москвы, морфологический состав несортированных ТКО варьируется в широком диапазоне, влажность зависит от атмосферных условий и особенностей сбора отходов (от 32 до 44%), значение зольности (на сухую массу) колеблется в пределах 40...50%, а теплота сгорания на рабочую массу — в пределах 5,8...7,6 МДж/кг (максимум до 8,4 МДж/кг). Результаты расчетов теплотехнических характеристик для исходных ТКО соответствуют результатам, приведенным в [8].

Оценка достоверности расчетных теплотехнических характеристик ТКО при организации раздельного сбора по варианту 2 проведена, исходя из данных о работе мусоросжигательного завода Кусиро (Mitsubishi HI, Япония) [9]. На заводе применена технология Mitsubishi HI- MSW Gasification & Ash Melting System и проходит термическая утилизация RDF. Среднегодовая теплотворная способность RDF находится в пределах 6,6...8,1 МДж/кг, среднегодовое значение за 2016 г. составляет 7,25 МДж/кг. Зольность ТКО на рабочую массу располагается в пределах 8,1...14,9%. Расчетные данные и данные, полученные на основании результатов работ действующей установки, сопоставимы.

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод относительно того, что при извлечении ВМР из ТКО изменение низшей теплоты сгорания происходит в зависимости от типа системы РС. При извлечении биологических отходов влажность снижается, что положительно влияет на низшую теплоту сгорания. Применение сортировочной линии позволяет дополнительно извлекать ВМР, а также удалять фракции, содержащие вредные компоненты, которые затем направляются на специализированные предприятия для безопасной утилизации. При определении проектной производительности ТЭС на ТКО важно учитывать долю отходов от общего объема, поступающего на термическую утилизацию, как при текущем уровне РС, так и с учетом его перспективных изменений.

Методы увеличения теплотворной способности твердых коммунальных отходов

Низшая теплота сгорания зависит от морфологического состава и влажности, применение системы предварительной сушки отходов позволит сократить уровень колебания значения влажности и теплотворной способности отходов в процессе эксплуатации ТЭС на ТКО. На установку сушки направляются предварительно отсортированные отходы. В общем виде устройства по просушке ТКО различных производителей устроены сходным образом: ТКО загружаются в приемный бункер, из которого подвижными скребками распределяются по перфорированной решетке, под которую подается поток нагретого воздуха.

Применение системы просушки увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты на систему подготовки и операционные затраты из-за большого потребления тепловой энергии. При расчете теплотехнических характеристик ТКО при применении предварительной просушки в качестве исходных данных принимали отсортированные ТКО при доле раздельного сбора 0%. Зависимость низшей теплоты сгорания ТКО от уровня влажности, а также расход тепла на просушку представлены на рис. 3.

Несмотря на высокий расход тепловой энергии на просушку и повышение капитальных затрат, схема предварительной просушки RDF применяется в мировой практике строительства мусороперерабатывающих комплексов, входящих в состав ТЭС на ТКО. В рассмотренном примере сортировочной линии завода Busan в схему включена система просушки RDF [10].

Влияние предварительной подготовки твердых коммунальных отходов на экологические показатели энергетического комплекса

В России сложилось негативное общественное мнение на тему строительства заводов по термической утилизации ТКО. Основные причины тому — беспочвенность относительно высокого негативного воздей-

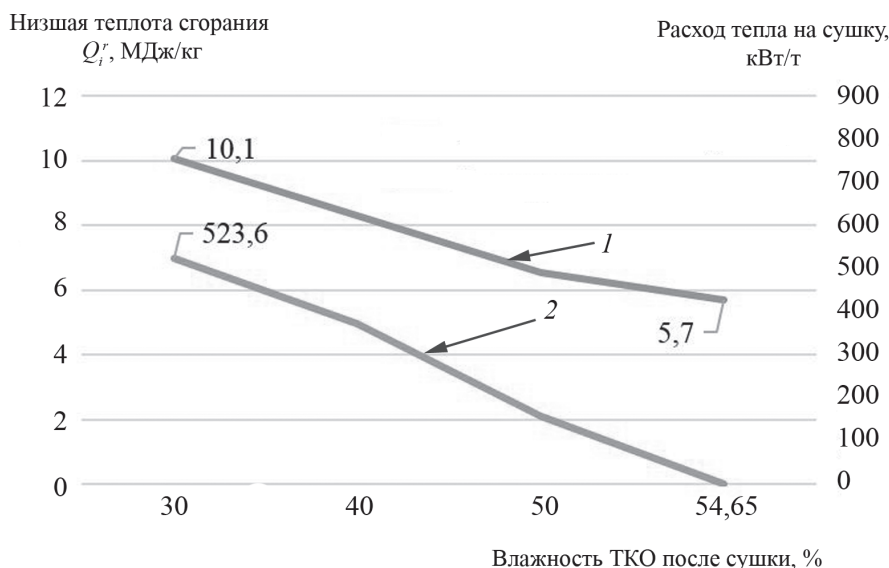


Рис. 3. Низшая теплота сгорания (1) и расход тепла (2) сортированных ТКО при просушке

вия на окружающую среду и выделение тяжелых металлов, диоксинов в составе дымовых газов.

При введении систем раздельного сбора и сортировки на мусоросортировочных комплексах сокращается количество ТКО, поступающих на термическую утилизацию до 73 и 52% от общей массы, что, соответственно, сокращает удельную экологическую нагрузку на окружающую среду от термической утилизации. Снижение зольности ТКО, поступающих на термическую утилизацию после сортировки, приводит к сокращению образования шлака IV класса опасности и золы III класса опасности, сокращая объемы полигонного захоронения золошлаковых отходов на 35...45%.

Исходя из анализа вклада тяжелых металлов (ТМ) в экологическую опасность зол мусоросжигательных заводов, проведенного в [11], доминирующими являются ТМ гальванических производств Cu, Zn и производств источников тока — Pb, Zn, Cu. Удаление фракций, содержащих тяжелые металлы, на этапе сортировки, позволит снизить их содержание в дымовых газах, золе и шлаке, таким образом, уменьшится количество выбросов и снизятся экологические платежи предприятия.

Особенностью процесса термического обезвреживания ТКО является переменный морфологический состав отходов и непрерывное изменение параметров горения. Наличие переменных режимов работы топочного устройства в соответствии с [12] — причина значительных колебаний концентрации токсичных компонентов в дымовых газах (ДГ) и, как следствие, недостаточно стабильная работа системы газоочистки в целом.

При термической утилизации несортированных ТКО достижение снижения содержания вредных ве-

ществ в дымовых газах и золошлаковых отходах является сложным и дорогостоящим процессом, сильное колебание морфологического состава ТКО приводит к риску возникновения непроежных режимов и превышению ПДК в выбросах. Зарубежный опыт показывает, что достижение высоких экологических показателей ТЭС на ТКО возможно только при проведении предварительной подготовки ТКО совместно с внедрением эффективной комплексной очистки дымовых газов и правильной организации процесса сжигания.

В России принят нормативный документ [13], регламентирующий содержание ртути и хлора в ТКО, поступающих на термическую утилизацию, таким образом, удаление фракций, содержащих ртуть (термометры, батарейки, лампы) и хлор (ПВХ), на этапе подготовки топлива становится обязательным.

В соответствии с данными [14], удельные экологические платежи при сжигании несортированных ТКО составляют 78 руб./т ТКО, при термической утилизации сортированных ТКО (на примере газификации) — 20 руб./т ТКО.

Алгоритм определения характеристик твердых коммунальных отходов

Благодаря проведенным расчетам и анализу изменения топливной базы ТЭС в зависимости от степени извлечения ВМР, а также уровня РС, предложен алгоритм определения количества ТКО и теплотехнических характеристик ТКО, поступавших на термическую утилизацию, в зависимости от принятой схемы обращения с ТКО в регионе. Укрупненно алгоритм представлен на рис. 4.



Рис. 4. Алгоритм определения характеристик ТКО на термическую утилизацию.

Пример тепловой электростанции на твердых коммунальных отходах с сортировочным комплексом

В мировой практике достаточно много примеров строительства заводов по термической переработке ТКО, включающих в свой состав мусоросортировочные комплексы. Одним из новейших является завод Busan WtE, расположенный в г. Пусан (Южная Корея). Производительность завода 300 000 т ТКО в год. На заводе проходит механическая сортировка ТКО с извлечением ВМР и получением RDF, который сжигается в котле с циркулирующим кипящим слоем. Установленная электрическая мощность турбогенератора 25 МВт. Завод запущен в сентябре 2013 г., поставщик топки и котла — АЕ&Е. Внешний вид завода дан на рис. 5.

Пример завода по термической переработке ТКО Busan WTE подтверждает возможность практической реализации проекта создания мусоросортировочного комплекса, осуществляющего переработку ТКО с производством RDF, и последующим его использованием на ТЭС для производства электрической и тепловой энергии. В общем виде технологическая схема завода Busan WTE изображена на рис. 6 (схема сортировочной линии дана на рис. 2)

Заключение

Введение в действие нормативных актов [2, 13, 15] приводит к запрету термической утилизации несортированных ТКО, обязывает региональных операторов к максимизации извлечения ВМР и составлению региональной схемы обращения с отходами. При проведении предпроектных проработок ТЭС на ТКО требуется учитывать специфику принятой схемы раздельного сбора и ее влияние на текущий и перспективный мор-



Рис. 5. Завод по термической переработке ТКО Busan WTE: 1 — сортировочная линия; 2 — бункер RDF; 3 — котлотурбинный цех; 4 — цех газоочистки

фологические составы отходов. Длительный срок внедрения системы раздельного сбора и законодательный запрет на термическую утилизацию несортированных ТКО делают необходимым включение мусоросортировочного комплекса в состав ЭК при отсутствии системы подготовки ТКО в регионе.

Применение в структуре ЭК мусоросортировочного комплекса позволит, с одной стороны, обеспечить целевые показатели Стратегии по извлечению вторичного сырья, а с другой — улучшить экологические и экономические показатели работы ТЭС на ТКО. Предварительная сортировка поступающих на предприятие по термической утилизации ТКО предназначена для извлечения вторичного сырья, снижения негативного воздействия на экологию и увеличения теплотворной способности.

Результаты проведенного анализа влияния морфологического состава ТКО на теплотехнические характеристики могут быть использованы при многофакторном анализе структуры тепловой схемы экологически чистой и экономичной ТЭС на ТКО.

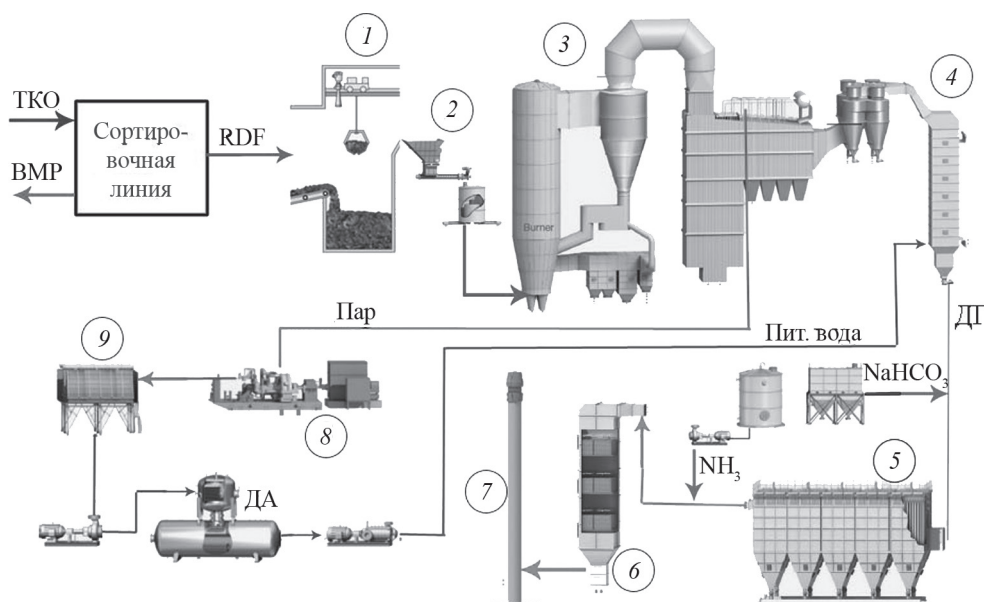


Рис. 6. Общая технологическая схема завода Busan:

1 — бункер RDF; 2 — питатель; 3 — котельная установка с ЦКС; 4 — экономайзер; 5 — рукавный фильтр; 6 — катализатор; 7 — дымовая труба; 8 — паротурбинная установка; 9 — воздушный конденсатор

Литература

References

1. **Распоряжение** Правительства Российской Федерации № 84-р от 25 января 2018 г. «Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года».

2. **Рекомендации** по разработке территориальной схемы и региональной программы в области обращения с отходами, в том числе с ТКО субъекта РФ. М., 2016.

3. **Бабин И.** Оценка экономической эффективности раздельного сбора ТКО в Санкт-Петербурге. СПб.: Greenpeace, 2006.

4. **Fisher C.** Municipal Waste Management in Germany. European Environment Agency, 2013.

5. **History** and Current State of Waste Management in Japan. Ministry of the Environment, 2014.

6. **Техническая** документация на поставку сортировочной линии 300 тыс. тонн в год. М.: Blake Street Energy, 2015.

7. **Ильиных Г.В.** Процент отбора вторичного сырья при сортировке твердых бытовых отходов: расчетный и фактический // Вестник ПНИПУ. Серия «Прикладная экология. Урбанистика». 2014. № 4. С. 115—126.

8. **Тугов А.Н.** Исследование процессов и технологий энергетической утилизации бытовых отходов для разработки отечественной ТЭС на ТБО: автореф. дис. ... докт. техн. наук. М., 2012.

9. **Kushiro** Association of Waste Incineration Facilities. Mitsubishi HI, Kushiro, 2017.

10. **Waste to Energy.** Necessity and Expected Effects of Waste to Energy Business. Busan: Posco Energy, 2015.

11. **Щедрова Н.И.** Вклад тяжелых металлов в экологическую опасность зол мусоросжигательных заводов г. Москвы: автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 2004.

12. **Дыган М.М.** Экологическая безопасность мусоросжигательных заводов при переменной мощности по сжиганию твердых бытовых отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2012.

13. **ГОСТ 33516—2015 (EN15359:2011).** Топливо твердое из бытовых отходов. Технические характеристики и классы.

14. **Малышевский А.Ф.** Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания ТБО жилого фонда в городах России. М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, Общественный совет при Росприроднадзоре, Комиссия научного совета РАН по экологии и чрезвычайным ситуациям, 2012.

15. **Территориальная** схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами Московской области. Красногорск, 2016.

1. **Order** of the Government of the Russian Federation No. 84-R, January 25, 2018 on Approval of the Industrial Development Strategy for Processing, Utilization and Neutralization of Production and Consumption Waste for the Period up to 2030. (in Russian).

2. **Recommendations** on the Development of the Territorial Scheme and Regional Program in the Field of Waste Management, Including MSW of the Subject of the Russian Federation. Moscow, 2016. (in Russian).

3. **Babin I.** Assessment of Economic Efficiency of Separate Collection of TCO in St. Petersburg. SPb.: Greenpeace, 2006. (in Russian).

4. **Fisher C.** Municipal Waste Management in Germany. European Environment Agency, 2013.

5. **History** and Current State of Waste Management in Japan. Ministry of the Environment, 2014.

6. **Technical** Documentation for the Supply of Sorting Line 300 Thousand Tons per Year, Blake Street Energy. M.: Blake Street Energy, 2015. (in Russian).

7. **Il'nykh G.V.** Percentage of Selection of Secondary Raw Materials at Sorting of Solid Household Waste: Settlement and Actual. Bulletin of PNRPU. Applied Ecology. Urbanistics. 2014;4:115—126. (in Russian).

8. **Tugov A.N.** Research of Processes and Technologies of Energy Utilization of Household Waste for Development of Domestic Thermal Power Plant on MSW, Moscow, Dis. ... Doct. Tech. M., 2012. (in Russian).

9. **Kushiro** Association of Waste Incineration Facilities. Mitsubishi HI, Kushiro, 2017.

10. **Waste to Energy.** Necessity and Expected Effects of Waste to Energy Business. Busan: Posco Energy, 2015.

11. **Shchedrova N.I.** The Contribution of Heavy Metals to the Environmental Hazard of Ash Incineration Plants in Moscow, Dis. ... Cand. Chemical. M., 2004. (in Russian).

12. **Dygan M.M.** Ecological Safety of Incineration Plants at Variable Capacity for Solid Waste Incineration, Dis. ... Cand. Tech. M., 2012. (in Russian).

13. **GOST 33516—2015 (EN15359:2011).** Solid Fuel from Household Waste. Specifications and Classes. (in Russian).

14. **Malyshevskiy A.F.** Substantiation of the Choice of the Optimal Method of Solid Waste Disposal of Housing Stock in the Cities of Russia. M.: Commission of the Scientific Council of Ras on Ecology and Emergency Situations, 2012. (in Russian).

15. **Territorial** Scheme of Waste Management, Including Solid Municipal Waste of the Moscow region. Krasnogorsk: Annex to the Resolution of the Government of the Moscow Region, 2016. (in Russian).

Сведения об авторах:

Ефремов Антон Николаевич — аспирант кафедры тепловых электрических станций НИУ «МЭИ», e-mail: anefremow@mail.ru

Дудолин Алексей Анатольевич — кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой тепловых электрических станций НИУ «МЭИ», e-mail: DudolinAA@mpei.ru

Information about authors:

Efremov Anton N. — Ph.D.-student of Thermal Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: anefremow@mail.ru

Dudolin Aleksey A. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor, Deputy Head of Thermal Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: DudolinAA@mpei.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 28.05.2019

The article received to the editor: 28.05.2019