

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

(наименование кафедры)

18.04.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки)

Экобиотехнология

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Оптимизация состава топливных композиций на основе ТКО с целью повышения их энергосодержания

Студент

Е.В. Ангальдт

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

М.В. Кравцова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель
программы

к.х.н., д.т.н., доцент, С.В. Афанасьев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019г.

Допустить к защите
Заведующий
кафедрой

к.п.н., доцент, М.В. Кравцова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019г.

Тольятти 2019

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Теоретический анализ эффективности использования твердых коммунальных отходов для получения альтернативного топлива	9
1.1 Обоснование эффективности использования ТКО для получения альтернативного топлива	9
1.2 Оценка качественного и количественного состава твердых коммунальных отходов по Самарской области	13
1.3 Анализ теплотворной способности твердых коммунальных отходов	17
1.4 Анализ эффективности методов переработки ТКО	24
1.5 Экономическая оценка использования альтернативного топлива из ТКО	32
1.6 Характеристики и требования, применяемые к альтернативному топливу	36
1.7 Технология получения альтернативного топлива	40
1.8 Анализ патентов по переработке ТКО в альтернативное топливо	45
Выводы по главе 1	46
Глава 2. Составление математической модели и расчет теплового баланса для выбора эффективной технологии получения альтернативного топлива	48
2.1 Математическое моделирование процесса сушки ТКО	48
2.2 Утилизация твердых коммунальных отходов в шахтной печи	53
2.3 Составление теплового баланса реактора	55
Выводы по главе 2:	67

Заключение	68
Список используемых источников	71
Приложение А	79
Приложение Б	84
Приложение В	93
Приложение Г	96

Введение

Актуальность темы исследования. Ежегодно в Российской Федерации образуется более 7 миллиардов тонн коммунальных, сельскохозяйственных, промышленных и других видов отходов. Объем образования твердых коммунальных отходов (ТКО) в населенных пунктах Российской Федерации составляет 150 млн м³ (30 млн т) в год. На полигонах размещается около 85% отходов, 5% отходов проходит вторичную обработку и около 10% рассеивается при транспортировке.

В настоящее время в России существуют всего 7 мусоросжигательных заводов, 5 мусороперерабатывающих заводов, 35 сортировочных комплексов, мощностью около 180000 т отходов в год, соответственно сокращения накопления отходов на полигонах не происходит.

При исследованиях качественного состава ТКО, используется статистическая информация природоохранных служб, поэтому данные различаются, отсутствует единый и системный принцип их анализа. Разница составляет от 5 до 20%. На рисунке 1 представлены диаграммы, составленные по данным Росприроднадзора и согласно Концепции обращения с твердыми коммунальными отходами в Российской Федерации.

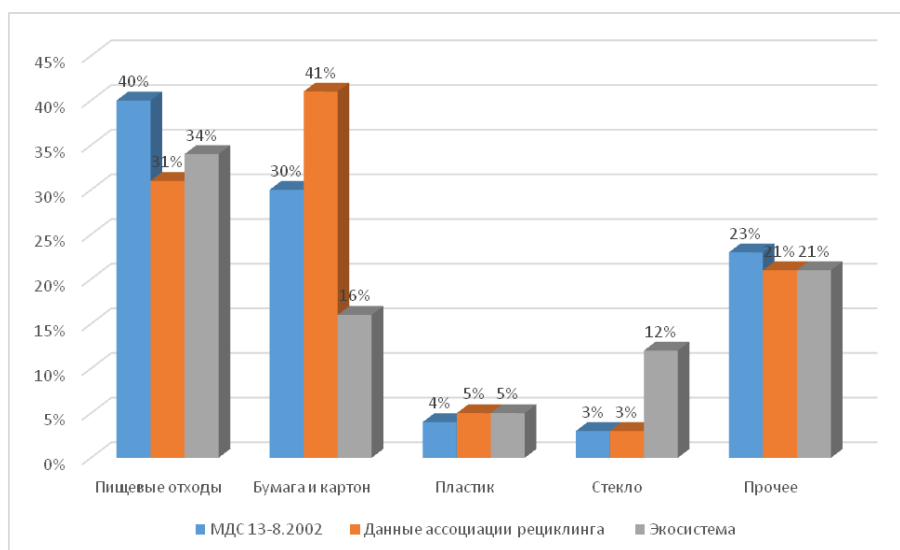


Рисунок 1 – Экспертная оценка структуры ТКО в России

Проблема заключается в низком уровне использования вторичных материальных ресурсов, извлекаемых из ТКО, в РФ, соответственно переработка составляет 5–7% от общих объемов их образования (рисунок 2). Для сравнения, в странах Евросоюза уровень переработки ТКО составляет – 60% (рисунки 2, 3).

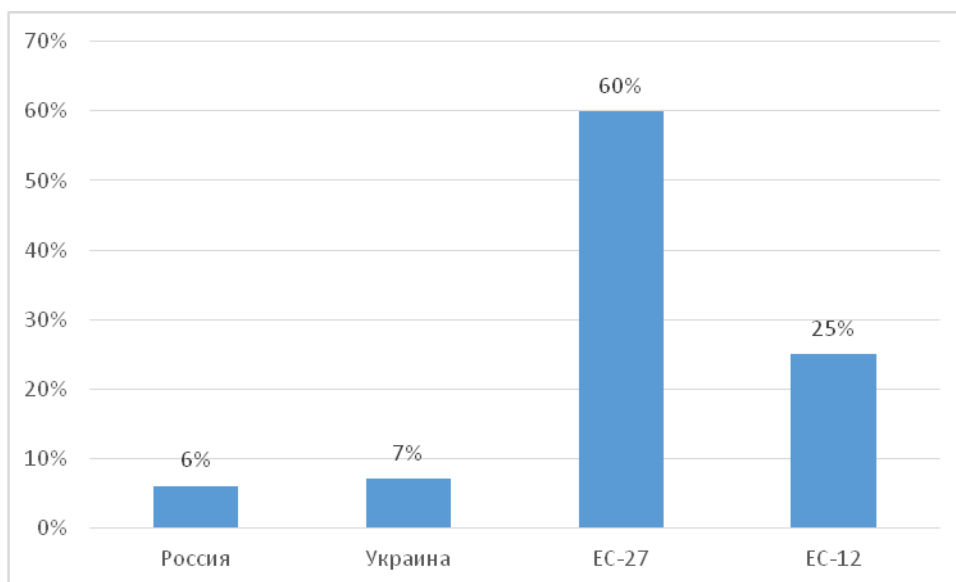


Рисунок 2 – Сравнительная характеристика степени переработки ТКО

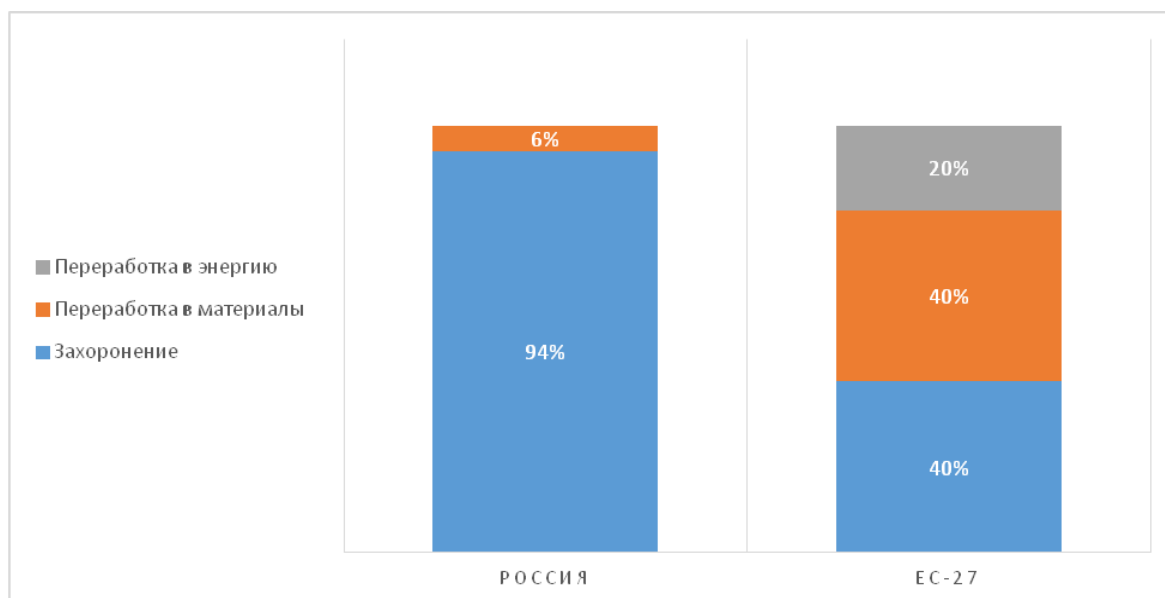


Рисунок 3 – Статистический анализ уровня переработки ТКО

Таким образом, можно сформировать **проблему исследования**: необходимость принятия оперативных решений для снижения поступления ТКО на полигоны с учетом имеющихся мощностей предприятий по переработке отходов при стабильном увеличении образования отходов и

слабого развития мусороперерабатывающей промышленности, а также необходимости использования ТКО как сырьевого ресурса для получения альтернативного топлива.

Цель исследования: снижение воздействия на окружающую среду за счет повышения эффективности технологий переработки ТКО для получения альтернативного топлива.

Объект исследования: технологии утилизации ТКО с целью получения альтернативного топлива.

Предмет исследования: качественные характеристики ТКО.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие **задачи:**

1) Проанализировать методы эффективного использования твердых коммунальных отходов для получения альтернативного топлива.

2) Провести анализ зависимости энергетических свойств (теплотворной способности) твердых коммунальных отходов от компонентного и фракционного составов топливных композиций на основе ТКО для выбора эффективной технологии получения альтернативного топлива.

3) Составить математическую модель и провести расчет теплового баланса реактора установки для получения альтернативного топлива.

Научная новизна исследования состоит в использовании нового подхода определения энергетических свойств ТКО с учетом их качественного состава для выбора эффективной технологии получения альтернативного топлива и вторичных продуктов.

Теоретической и методологической основой исследования являются научные труды отечественных ученых в области переработки твердых коммунальных отходов, таких как Бабака В.В., Богоявленский Р.Г., Рыжов В.А., Гречко А.В., Евтушенко Е.И., Ильиных Г.В., Кожевников Е.В., Кожевников А.Б., Лифшиц А.Б., Лямин В.Н., Охлопкин Ю.А., а также данные исследовательской лаборатории НИИ «Стромкомпозит».

Теоретическая значимость исследования заключается в детализированном анализе существующих технологий по получению альтернативного топлива из ТКО с учетом современных требований к данному виду топлива, представлению показателей для выбора оптимального метода утилизации ТКО для получения альтернативного топлива. Составлением математической модели и расчет теплового баланса реактора установки для получения альтернативного топлива с учетом получения высоких экономических показателей.

Практическая значимость исследования представлена практическими решениями, которые позволят снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду, за счет снижения поступления отходов на полигоны и экономии не возобновляемых источников энергии, а так же позволит наиболее эффективно использовать ТКО для получения альтернативного топлива.

Защищаемые положения:

1. Анализ теплотворной способности твердых коммунальных отходов для выбора оптимального состава их топливных композиций с целью повышения их энергосодержания для получения альтернативного топлива.
2. Математическая модель и расчет теплового баланса реактора установки для получения альтернативного топлива.

Состояние изученности выбранной темы:

В работах российских ученых проведено изучение проблемы утилизации твердых коммунальных отходов, а также изучен вопрос уровня их токсичности.

Мировая практика показывает, что альтернативное топливо из ТКО используется в основном в цементной промышленности, заменяя каменный уголь и природный газ, при этом технологические процессы проходят при высоких температурах, что способствует снижению воздействия на окружающую среду. Опыт стран Европейского союза свидетельствует, что

RDF-топливом (альтернативное топливо из ТКО) может быть замещено до 70% основного технологического топлива, расходуемого на обжиг клинкера цементными заводами. Также при совместном сжигании с каменным углем и другими видами топлива RDF-топливо используется на теплоэлектростанциях, на специализированном котельном оборудовании.

Структура диссертации: Диссертация состоит из введения, двух глав, заключения, списка используемых источников, включающего 64 наименования. Объем работы составляет 100 страницы машинописного текста, содержит 22 рисунка, 15 таблиц, 4 приложения.

Глава 1. Теоретический анализ эффективности использования твердых коммунальных отходов для получения альтернативного топлива

1.1 Обоснование эффективности использования ТКО для получения альтернативного топлива

Понятие «твердые коммунальные отходы» (ТКО) было установлено и определено в Федеральном законе от 29.12.2014 № 458-ФК (в редакции от 28.11.2015г). Аспекты данного закона регламентируют определенные требования к обращению с отходами. Согласно закону, к твердым коммунальным отходам (ТКО) относятся остатки веществ, материалов, предметов, изделий, товаров (продукции или изделий), частично или полностью утративших свои первоначальные потребительские свойства для использования по прямому или косвенному назначению в результате физического или морального износа в процессах общественного или личного потребления (жизнедеятельности), использования или эксплуатации [24].

Весь перечень отходов, составляющих ТКО, классифицирован в федеральном классификационном каталоге отходов (ФККО), согласно которому большее число разных групп ТКО относится к IV или V классу опасности отходов.

Научно-исследовательским институтом «Стромкомпозит» проводились наблюдения за количественной и качественной динамикой изменения ТКО в населенных пунктах. В результате определили более 1000 различных ингредиентов в составе ТКО, так например отходов текстиля в составе ТКО определено до 200 ингредиентов, бумаги и пищевых отходов суммарно - до 150 ингредиентов. Обобщенно качественный состав отходов состоит из смеси трех основных компонентов: органической субстанции, неорганической субстанции и воды. Вода определяет важное свойство ТКО –

влажность. Органическая субстанция является определяющим фактором при выборе технологии и расчете экономической эффективности, так как является нетрадиционным энергоносителем [16].

Органическая субстанция (горючая масса) ТКО состоит: 80% углеводы, белки, жиры, около 10% - полимеры. Неорганическая субстанция ТКО (без учета металлов): 40% –оксид кальция, 20% оксид кремния.

Таким образом, учитывая качественный состав органической субстанции, можно определить их элементный состав: до 46% от общей массы содержание углерода, около 40% - кислород, 8% – доля водорода и остальные. Динамика изменения содержания органической составляющих зависит от особенностей региона и соответственно разная для всех полигонов, разница составляет 4–10%, различие химического состава минеральной субстанции ТКО менее 4% (исключение – SiO_2). Пределы изменения элементного состава органической субстанции для разных полигонов составляет – 1,5–4,5%, что свидетельствует о его неизменности и однородности и позволяет в дальнейшем более эффективно проводить оценку энергетического потенциала ТКО. Однородность сохраняет и минеральная субстанция ТКО по химическому составу, но процент соотношения органической и неорганической субстанций в ТКО колеблется в больших диапазонах, что определяет ТКО как неоднородное сырье [18].

Одно из перспективных направлений использования ТКО – это его использование в качестве альтернативного топлива. Данный вид топлива получил применение в основном в цементной промышленности, заменяя каменный уголь и природный газ. Мировой опыт показывает, что RDF-топливом (альтернативное топливо из ТКО) может быть замещено до 70% основного технологического топлива, расходуемого на обжиг клинкера цементными заводами. Также при совместном сжигании с каменным углем и другими видами топлива RDF-топливо используется на теплоэлектростанциях, на специализированном котельном оборудовании [9, 13,31].

Сравнительная характеристика видов топлива по калорийности приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика видов топлива по калорийности

Характеристика	Природный газ	Каменный уголь	Торфобрикет	RDF-топлива
Калорийность, ккал/кг	≤8050	≤6200	≤3500	4200–5200
Коэффициент калорийности по отношению к каменному углю	1,29	1	0,56	0,76

В рамках теоретического исследования проведен анализ работ В.В. Бабака, в которых представлена проблема экологической опасности складирования бытовых отходов и анализ уровня их токсичности; в работах Р.Г. Богоявленского, В.А. Рыжова проанализированы современные и наиболее перспективные методы сжигания твердых коммунальных отходов. В трудах В.В. Бушихина представлены возможности использования различного видов оборудования, предназначенного для механической переработки ТКО, таких как оптический и магнитный сепараторы, барабанный и вибрационный грохот; А.В. Гречко представил анализ методов получения RDF-топлива, Е.И. Евтушенко в своих работах «Некоторые аспекты переработки твердых бытовых и промышленных отходов» провел анализ проблемы утилизации и захоронения отходов, неконтролируемого горения свалок. Использование твердого топлива (альтернативного топлива) из твердых коммунальных отходов представляет значение с позиции экономической и экологической эффективности с учетом роста цен на невозобновляемые источники энергии (энергонасосители). Преимуществом использования такого топлива является то, что оно неистощимо и непрерывно увеличивается. Г.В. Ильиных в работах «Топливо из ТКО в

цементных печах» представил возможные направления использования альтернативного топлива в цементной промышленности, подробно Л.Е.Казакова проанализировала возможности переработки ТКО как энергетического возобновляемого сырья, обосновала возможность получения топлива и эффективность его использования, уменьшая зависимость экономики от невозобновляемого источника энергии и снижая поступление ТКО на полигоны. Е.В. Кожевников, А.Б. Лифшиц, В.Н. Лямин, Ю.А.Охлопкин рассмотрели технологические этапы производства топлива RDF, повышение теплотворных и энергетических показателей, качество и калорийность топлива, цементную промышленность как основу для использования альтернативного топлива.

В настоящее время в странах ЕС Директивой по отходам законодательно утверждена следующая иерархия методов обращения с отходами: предотвращение образования, повторное использование, рециклинг (переработка), энергетическое использование, окончательное удаление (хранение, захоронение).

На рисунке 4 показана иерархия обращения с ТКО относительно структуры европейской системы.

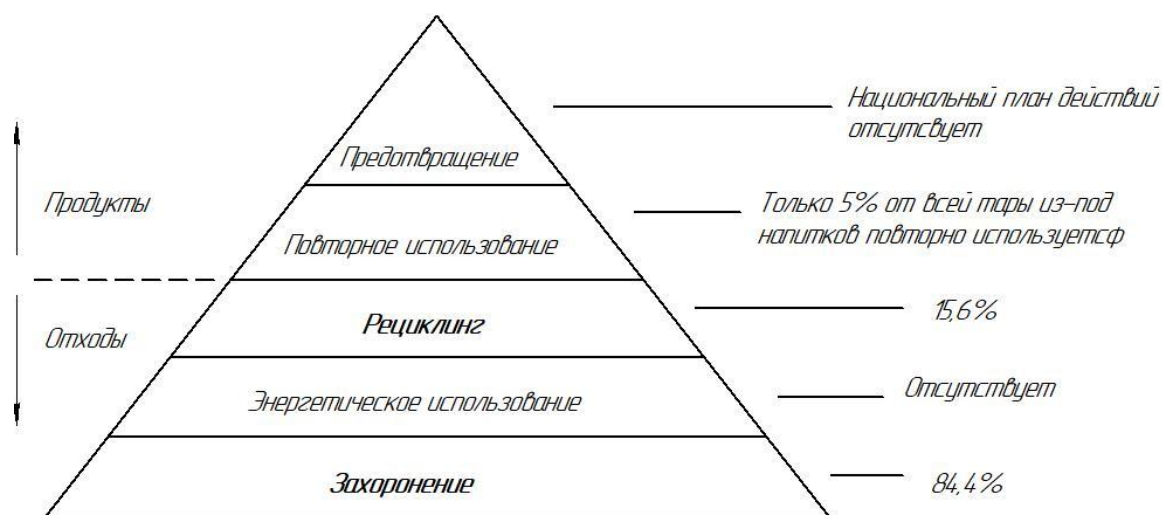


Рисунок 4 – Иерархия обращения с ТКО

Образовавшиеся коммунальные отходы используются согласно методам, которые можно условно разделить на следующие три группы:

- переработка (рециклинг) – возврат отдельных компонентов ТКО в хозяйственный оборот путем их выделения из общей массы и передачи на использование в качестве сырья и материалов для производства продукции;
- компостирование – использование органической части ТКО после ее биологической обработки (разложения органических субстанций) при помощи различных микроорганизмов;
- сжигание – использование смешанных ТКО или выделенных из них теплотворных фракций для получения тепловой и (или) электрической энергии.

1.2 Оценка качественного и количественного состава твердых коммунальных отходов по Самарской области

Проведение качественной оценки состава ТКО необходимо для определения способов их переработки, утилизации, обезвреживания, оценки возможного использования ТКО в качестве вторичного сырья. На рисунке 5 представлена схема для определения качественного состава ТКО.

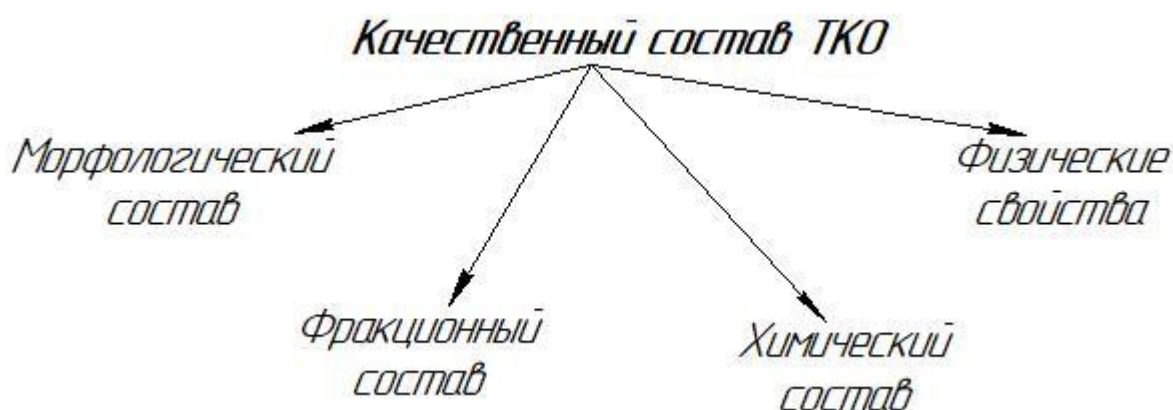


Рисунок 5 – Качественный состав ТКО

Исследование качественного состава ТКО, целесообразно начинать с исследования морфологического состава, так как достоверные данные о морфологическом составе ТКО позволяет провести объективную оценку эффективности любой технологии переработки [18].

«Морфологический состав твердых коммунальных отходов - это содержание их составных частей, выраженное в процентах к общей массе.

Основными составляющими ТКО являются бумага, пищевые отходы, полимерные материалы, стекло, отсев» [18].

В таблице 2 приведены данные по морфологическому составу ТКО, усредненные по Самарской области с учетом жилого фонда (многоквартирные дома и индивидуальные жилые дома), объектов общественного назначения, торговых и культурно-бытовых учреждений. Средние значения соответствуют морфологическому составу отходов, поступающих на полигон ТКО или станции сортировки.

Таблица 2- Морфологический состав ТКО Самарской области

«Компонент	Содержание, % масс.	
	диапазон	среднее значение
Бумага	10,3 – 62,5	38,6
Пищевые отходы	10,7 – 59,1	27,9
Дерево	0,0 – 7,2	2,1
Текстиль	0,3 – 17,5	1,5
Кожа, резина	0,0 – 9,5	1,2
Полимеры	11,5 – 32,0	15,1
Металлы	0,8 – 5,9	2,5
Стекло	0,0 – 7,6	2,9
Прочие (отсев менее 15 мм)	7,3 – 19,9	8,2»

Морфологический состав ТКО Самарской области представлен обычными компонентами для подобных отходов, их содержание соответствует как справочным данным, так и информации о составе ТКО в других регионах Российской Федерации. Основные составляющие это пищевые отходы и отходы бумаги, а также прочие компоненты. Необходимо отметить, что доля содержания компонентов, их перечень зависит от особенностей регионов, сезонности, климатических особенностей местности [2,6,7].

Сезонные изменения состава ТКО характеризуются увеличением содержания пищевых отходов с 20-25% весной до 40-55% осенью, что связано с большим употреблением овощей и фруктов в рационе питания [17].

Одной из характеристик ТКО, необходимо для выбора технологии их переработки является фракционный состав, который определяет процентное содержание массы компонентов, проходящих через сита с ячейками различного размера [2]. Фракционный состав ТКО может изменяться по сезонам года [2].

Усредненные данные по фракционному составу ТКО представлены на основе статистических данных перерабатывающих предприятий РФ (таблица 3).

Таблица 3 – Усредненные данные по фракционному составу ТКО, % по массе

«Компонент	Размер фракций, мм				
	Более 250	150-250	100-150	50-100	Менее 50
Пищевые отходы	–	«0...1	2...10	7...12,6	17...21
«Картон, бумага	3...8	8...10	9...11	7...8	2...5
Дерево	0,5	0...0,5	0...0,5	0,5	0...0,5
Металл	–	0...1	0,5...1	0,8...1,6	0,3...0,5
Текстиль	0,2...1,3	1...1,5	0,5...1	0,3...0,8	0...0,6
Кости	–	–	–	0,3...0,5	0,5...0,9
Стекло	–	0...0,3	0,3...1	1...2	1...1,6
Кожа, резина	–	0...1	0,5...2	0,5...1,5	–
Пластмасса	0...0,2	0,5...1	1..2,2	1...2,5	0,2...0,5
Камни, штукатурка»	–	–	0,2...1	0,5...1,8	0,5...2»

Анализ химического состава ТКО необходим при определении возможности их использования при выборе метода переработки [25, 39]. Химический и элементный составы неорганической субстанции (без учета металлов) Российских ТКО представлены на рисунках 6, 7.

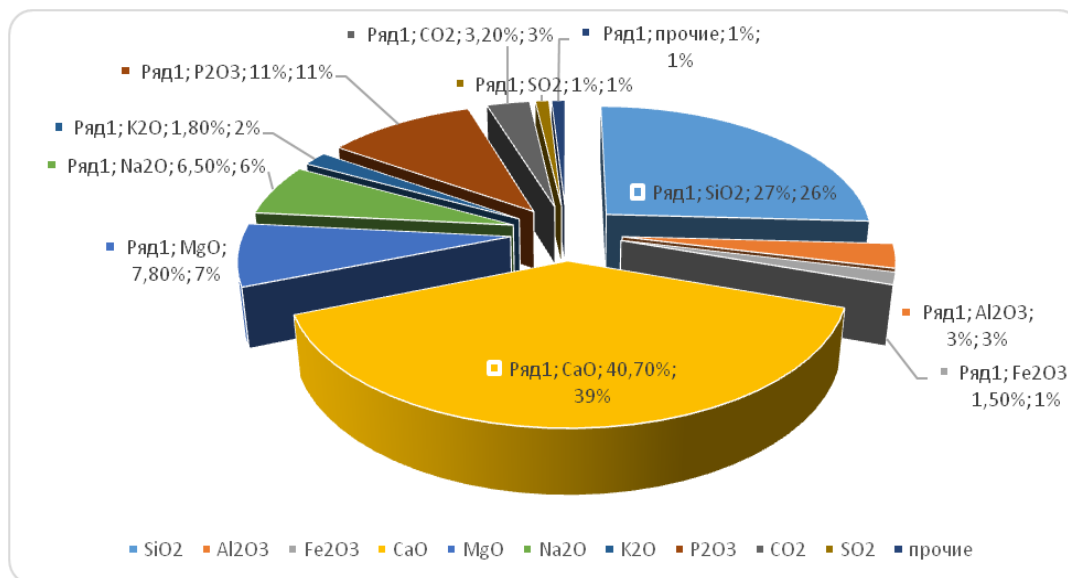


Рисунок 6 – Химический состав неорганической субстанции ТКО в РФ, (% масс.)

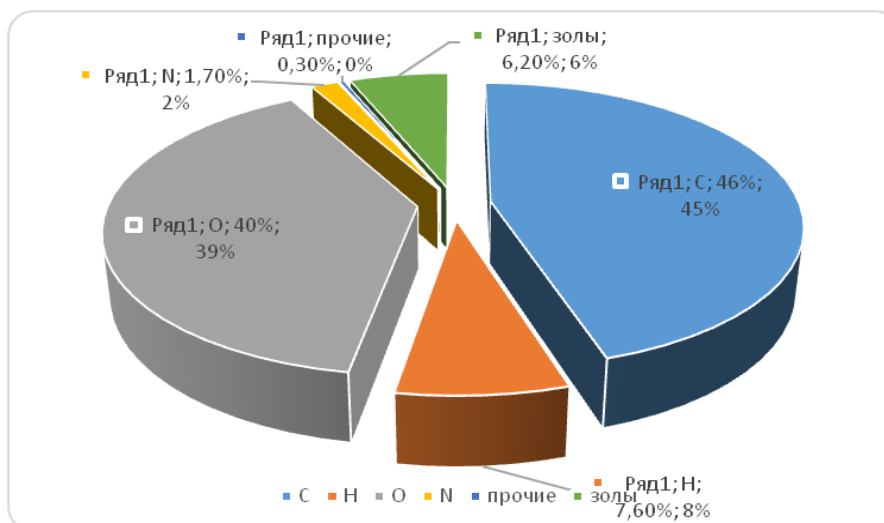


Рисунок – 7 Элементный состав органической субстанции ТКО в РФ (% масс.)

Усредненные данные химического состава ТКО позволяют сделать выводы о возможности и необходимости их использования в качестве удобрения для сельскохозяйственных нужд, так присутствуют такие компоненты как азот, фосфор, калий и кальций (таблица 4).

Таблица 4 – Химический состав твердых коммунальных отходов

«Показатели	Климатические зоны	
	средняя	южная
Органическое вещество	56,0 – 72,0	56,0– 80,0
Зольность	28,0– 44,0	20,0– 44,0
Общий азот	0,9– 1,9	1,2– 2,7
Кальций	2,0– 3,0	4,0– 5,7
Углерод	30,0– 35,0	28,0– 39,0
Фосфор	0,5– 0,8	0,5– 0,8
Общий калий	0,5– 1,0	0,5,– 1,1
Влажность (% от общей массы)»	40,0– 50,0	35,0– 70,0»

Физические свойства ТКО определяет показатель плотность, значение которого варьируется в зависимости от источника образования отходов и сезонности, так например в весенне-летний сезон плотность составляет 0,18-0,22 т/м³, в осенне-зимний сезон - 0,2-0,25 т/м³. Согласно Территориальной схеме обращения с отходами значение плотности ТКО в Самарской области составляет 0,15 т/м³ до сортировки и 0,09 т /м³ после технологического процесса сортировки с извлечением утильных фракций [17].

1.3 Анализ теплотворной способности твердых коммунальных отходов

Оценка возможности использования топлив, полученных из твердых коммунальных отходов, основывается на максимально допустимых концентрациях вредных веществ в них, характеристик теплотворной способности и зольности некоторых материалов, используемых в качестве альтернативного топлива. В таблице 5 приведены характеристики теплотворной способности и зольности видов топлива из опасных и не опасных ТКО [18].

Таблица 5 – Характеристики теплотворной способности и зольности видов топлива из опасных и не опасных отходов

«Виды топлива из отходов (опасных и неопасных)»	Значения теплотворной способности (МДж/кг)	Зольность, %
1	2	3
Древесина (отходы пилорам, ДСП, ж/д шпалы) при влажности 25%	приблизительно 16	до 1,5
Бумага, картон	3 – 16	до 8
Текстиль	до 40	не определен
Пластики (первичная переработка)	17 – 40	до 2
Топливо из ТКО (RDF)	18 – 20	10 – 22
Резина/шины	приблизительно 26	7
Промышленный шлам	8 – 14	до 30
Костная мука и жиры животных	14 – 18, 27 – 32	не определен
Мука туши животного	14 – 21,5	не определен
Сельскохозяйственные отходы	12 – 16	до 10
Растворители, масла, отходы ЛКМ и др.	20 – 36	не определен
Шлам сточных вод (влажность >10%)	3 – 8	до 40
Шлам сточных вод (влажность <10% до 0)	8 – 13	до 40»

Проанализировав количественный и качественный состав ТКО, следует сделать вывод, что в Самарской области ежегодно скапливается до 3000000 тонн бытовых отходов. Доля образования ТКО за последние три года увеличилась с 15% до 24 %. ТКО содержат высококалорийные компоненты (пластмасса, бумага, картон, кожа, резина, текстиль), поэтому обладают высоким ресурсным потенциалом, который необходимо максимально

использовать для извлечения максимального количества вторичного сырья и производства альтернативного топлива.

1.3.1 Определение энергетических характеристик ТКО

Для определения энергетических характеристик ТКО необходимо определить морфологический и химический состав согласно методикам:

— методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов (научно-производственное предприятие «Экопром» академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова научно-исследовательский институт экологии человека, 2004г) [37];

— ПНД Ф 16.3.55-08 (ФР.1.28.2015.19223) «Количественный анализ почв и отходов. Методика определения морфологического состава твердых отходов производства и потребления гравиметрическим методом» (2014г) [40].

Энергетические характеристики сгорания ТКО определяют расчётными способами согласно методики [18], при этом используют 12 категорий компонентов, сопоставляя их с другими свойствами отходов: не учитывается морфологический состав ТКО, а учитываются влажность и зольность отходов.

1.3.2 Определение влажности и зольности компонентов ТКО

Экспериментальное определение влажности ТКО проводилось согласно ГОСТ 33512.3-2015 (EN 15414-3:2011) Топливо твердое из бытовых отходов. Определение содержания влаги высушиванием. Часть 3. Влага аналитическая. Зольность компонентов ТКО определяли по ГОСТ 33511-2015 (EN 15403:2011) Топливо твердое из бытовых отходов. Определение зольности.

Общие показатели – влажность и зольность – формируются как средневзвешенные значения, основываясь на отдельные доли компонентов в составе твердых коммунальных отходов. Значения низшей теплоты сгорания отдельных компонентов ТКО берутся исходя из сухой беззольной массы. Для

таких компонентов, как металлы, стекло, неорганические отходы, теплота сгорания принимается равной нулю. Рассчитывая теплоту сгорания ТКО, учитывались зольность и влажность составных компонентов, так как происходят затраты тепла на содержащуюся в отходах влагу [17]. Указанный способ предоставляет возможность вывести достоверные и точные результаты при исследовании состава и теплотворной способности ТКО.

1.3.3 Компонентный и фракционный состав ТКО

Проводя анализ статистических данных по результатам исследований компонентного и фракционного составов ТКО в различных регионах РФ, получены следующие данные (2017–2018 гг.):

- 6 – 14% – крупная фракция (>250 мм),
- 55 – 53% – фракция 250–80 (50) мм,
- 33–39% – мелкая фракция (0–50 (80) мм).

Статистический анализ компонентного состава ТКО показал, что доля пищевых отходов в общей массе ТКО составляет – 21–25%, бумага – 11,2–12,2%, полимеры – 16–19%, отсев – 15–20%.

Анализ влажности отдельных компонентов ТКО отличается и имеет определенные закономерности в отличие от материалов, так, например, влажность отхода бумаги для фракции свыше 50мм составляет 29%, для фракции до 50 мм – 56%, необходимо учитывать и состав отхода бумаги (высокий показатель влажности имеют книги и тетради в обложке (влажность – 11%), которые входят в состав категории «отходы бумаги»), в целом влажность отхода данного вида будет определять влажность его компонентов. Необходимо так же учитывать способы хранения отходов, при попадании атмосферных осадков и непосредственный контакт с пищевыми отходами значительно увеличивает влажность отходов. Влажность компонентов отходов полимеров изменяется в диапазоне от 2,3% (полиэтиленовая бутылка) до 45,5% (полиэтиленовая пленка). Полимерные плёнки не гигроскопичны, кусочки пищевых отходов и капли влаги прилипают на поверхность. В сравнении с отходом бумаги, влажность

отходов полимеров не зависит от размера фракций отхода. Зольность отдельных компонентов бумаги и полимеров составляет 7-35% (зависит от размера фракции) и 0,5-8,0%, соответственно, в зависимости от состава отдельных компонентов.

На основе процентного содержания влаги и золы в отдельных компонентах рассчитывается влажность и зольность в целом ТКО, при этом учитывается сезонность (30–50% - диапазон изменения в зависимости от сезонности), и содержание доли пищевых отходов в общей массе ТКО. При увеличении процента содержания доли пищевых отходов будет выше показатель влажности ТКО.

Общая зольность ТКО (присутствуют в смеси отходов негорючие компоненты (инертных материалов, стекла и т.п.):

– сухая масса – 37-47%

– рабочая масса – 18-27% изменяется в диапазоне от 37 до 47% на сухую массу, от 18 до 27%.

Низшая теплота сгорания ТКО с учетом качественного состава отходов ТКО, влажности и зольности отдельных компонентов (расчетов общей влажности и зольности):

– горючая масса – 22 – 27 МДж/кг,

– сухая масса – 13 – 16 МДж/кг,

– рабочая масса – 6 – 8 МДж/кг.

1.3.4 Зависимость теплотворных свойств ТКО от компонентного и фракционного состава

В исследовании определены общие закономерности изменения теплоты сгорания ТКО в зависимости от компонентного и фракционного их состава.

1.3.4.1 Теплота сгорания ТКО разного компонентного и фракционного состава

Для проведения эксперимента использовали несколько партий ТКО, на первом этапе провели их сортировку с помощью сита на два вида по фракционному составу: мелкая фракция (0–50 мм) и крупная фракция (от 50

мм) (таблица 6). На втором этапе определили свойства различных фракций: компонентный состав, влажность, зольность, теплотворную способность – низшую теплоту сгорания, процент содержания органического вещества. Полученные экспериментальные данные после проведения исследования наложены на треугольник Таннера (рисунок 8) [17].

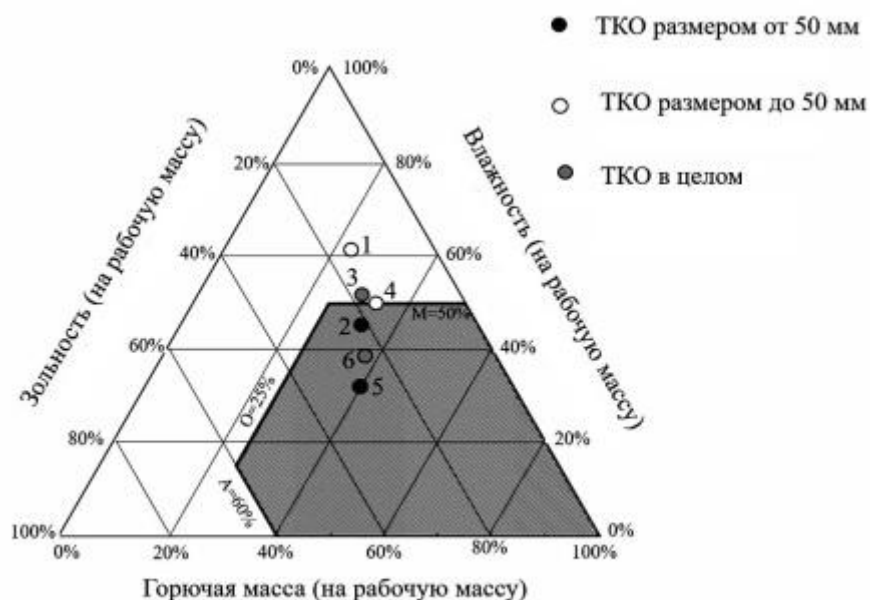


Рисунок 8 – Экспериментальные данные исследования

Заштрихованная область треугольника Таннера определяет оптимальные значения теплотворной способности отходов, хотя не все результаты (исследуемые образцы) находятся в этой области их теплотворная способность выше некоторых образцов, находящихся в этой зоне. Так, например, теплотворная способность образца №3 составляет 6,4 МДж/кг, а образца № 4 (на границе заштрихованной области) – 3,6 МДж/кг. Поэтому можно сделать вывод, что данный подход оценки теплотворной способности от горючей массы вещества, влажности и зольности не позволяет учесть теплотворную способность органического вещества отходов и как следствие не позволяет оценить теплоту сгорания отходов.

Таблица 6 – Характеристики образцов ТКО

Показатели ТКО	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Фракционный состав ТКО						
Размер фракции	0–50 мм	> 50 мм	ТКО в общем	0–50 мм	> 50 мм	ТКО в общем
Качественный состав ТКО, %						
Бумага	«7,8	11,6	10,3	7,6	13,1	11,0
Полимеры	4,9	22,3	16,1	4,0	22,2	15,2
Органические отходы	38,6	31,9	34,3	30,2	20,8	24,4
Дерево	0,0	1,2	0,8	0,0	1,5	1,0
Текстиль	0,0	3,5	2,3	0,0	4,3	2,7
Прочее	48,6	29,5	36,4	58,2	38,1	45,8
Расчетные данные на основе экспериментальных исследований						
Влажность, %	61,1	45,3	51,0	49,9	32,7	39,3
Зольность на рабочую массу, %	14,6	20,0	18,1	18,5	27,2	23,9
Органическое вещество на рабочую массу, %/	24,3	34,7	31,0	31,6	40,1	36,9
Теплота сгорания на рабочую массу, МДж/кг	3,5	8,1	6,4	3,6	9,5	7,2»

1.3.4.2 Сравнительный анализ теплотворной способности ТКО с учетом применения различных методик

Анализируя результаты полученных экспериментальных данных, можно сделать вывод, что методика по определению компонентного состава, влажности и зольности ТКО не дает адекватную оценку теплотворной способности ТКО и соответственно не может учитываться при выборе технологий производства альтернативного топлива. А вот результаты исследований и расчеты, которые учитывали, кроме указанных показателей данные о составе ТКО (содержание С, Н, О₂, N и S), а также других

составных компонентов, дают расхождение значений теплоты сгорания не более 20%.

Таким образом, методики, которые позволяют проводить расчет теплоты сгорания (теплотворной способности) ТКО только по компонентному составу, общей влажности, зольности, и не учитывают процент некоторых калорийных компонентов и влажность отдельных компонентов, не дают точного значения теплоты сгорания ТКО. Экспериментальные исследования компонентного и фракционного состава ТКО являются основной частью при формировании производственного экологического контроля на предприятии и формированию планов в области обращения с отходами. Потенциал ТКО зависит от компонентного состава и теплотворной способности и определяет выбор наиболее эффективных технологий для получения альтернативного топлива.

Рассматриваемый подход к анализу теплотворных характеристик твердых коммунальных отходов дает возможность получить точные сведения о фракционном и компонентном составе, провести расчет влажности, зольности и теплоты сгорания ТКО. В дальнейшем данный подход и результаты позволят проводить моделирование для подбора технологических режимов и конструкционных параметров оборудования для получения заданных параметров, как отходов, так и вторичного сырья из него.

Важным выводом методологического анализа является необходимость учета теплотворной способности отдельных компонентов отходов в каждой категории, так как их теплота сгорания отличается при одинаковых показателях влажности и зольности отдельных компонентов.

1.4 Анализ эффективности методов переработки ТКО

К основным методам энергетического использования твердых коммунальных отходов относят:

➤ Биоконверсию (в результате получают энергетический продукт – газообразное топливо).

- Прямое сжигание (тепловая энергия).
- Газификация (газообразное топливо и тепловая энергия).
- Пиролиз (твердое, жидкое, газообразное топливо).

Биогаз – это смесь метана и углекислого газа, образующаяся в процессе анаэробного сбраживания органических отходов различного вида в специальных реакторах – ферментерах. Преимущества биогазовых станций – обеззараживание органических отходов сельскохозяйственного производства, постоянство выработки и энергии и максимальное использование установленной мощности. Наибольший недостаток биогазовой энергетики – большие капитальные затраты в расчете на единицу мощности. Стоимость 1 кВт установленной электрической мощности биогазовой станции колеблется от €2000 для крупных станций мощностью свыше 10 МВт до €6000...7000 для станций мощностью менее 1 МВт, работающих на нерентабельном сырье с высокой влажностью и низкой калорийностью [4].

Сжигание отходов является доступным, надежным и универсальным способом обезвреживания, но процесс необходимо проводить при высоких температурах (1200 – 1300°C) для снижения или исключения образования вредных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. В основном используют два способа сжигания ТКО:

- 1) слоевой способ – сжигание проводят с подвижной и неподвижной цепной или колосниковой решеткой;
- 2) пылевидный способ – сжигание происходит в кипящем или взвешенном слое, практически не остается остатков.

Термическому разложению, окислению и различным химическим превращениям подвергают токсичные компоненты, содержащиеся в ТКО, и в результате образуются безвредные газы (CO_2 , H_2O , N_2) и твердые остатки (оксиды металлов, солей). Соответственно сжигание, как метод обезвреживания ТКО обусловлен высокой санитарно-гигиенической эффективностью. К недостатку можно отнести то факт, что при сжигании

ТКО происходит негативное воздействие на окружающую среду, но в сравнении с захоронением наносит меньший вред [34,35].

Газификация представляет процесс частичного окисления горючих низкокалорийных отходов в реакторе, которые преобразуются в высококалорийный синтез-газ. Процесс газификации реализуется в «механизированных шахтных газогенераторах с вращающимися колосниковыми решетками и твердым шлакоудалением; в газогенераторах с псевдоожиженным слоем; в шахтных газогенераторах с фурменной подачей дутья и жидким шлакоудалением (горновой метод)».

Преимущества газификации по сравнению с сжиганием ТКО заключается:

1) в возможности использования полученных горючих газов в качестве энергетического и технологического топлива, процесс сжигания предусматривает использование только энергетического ресурса, а именно теплоты отходов (получение водяного пара или горячей воды);

2) в сокращении выбросов золы и сернистых соединений в атмосферу [32,35].

Недостатком процесса газификации является тщательная предварительная сортировка отходов для исключения легкоплавких, неустойчивых к протеканию процесса компонентов.

Пиролиз – это термическое разложение горючих отходов в отсутствии или ограничении кислорода. Процесс включает в себя термическое разложение ТКО, при этом происходит частичное их сжигание, дожиг отходов, предварительно смешав их с газообразными продуктами разложения. В результате образуются следующие продукты: кокс (твердый углеродистый остаток), при газификации образуется твердый остаток в виде минеральных продуктов (зола и шлак) [46,48,49]. Конструктивное разделение зоны пиролиза ТКО и канала горения исключает поступление углеродных и пылевых частиц в поток отходящих газов, предотвращая повторный синтез диоксинов [35,52].

Метод сухого пиролиза (сухой перегонки) основан на термической обработке ТКО, исключая доступ кислорода. Продуктами являются пиролизный газ, который имеет высокую теплоту сгорания, твердый углеродистый остаток и жидкие продукты.

Следуя анализу научных исследований ряда ученых и практическому применению технологий утилизации ТКО, необходимо отметить, что большинство специалистов утверждает, что использование метода утилизации – пиролиз ТКО экономически и экологически наиболее эффективный по сравнению с другими методами [4,5,34,35].

Основное преимущество метода сжигания это сокращения в три раза количества отходов от общего объема, снижение или отсутствие органолептических показателей (запах), уменьшение выбросов токсичных компонентов, получение энергии, которую в дальнейшем можно использовать для получения электричества и отопления [4,12]. К недостаткам относят фактическое образование выбросов в 3 – 4 раза за счет синтеза веществ с азотом и кислородом. Продуктами горения являются зола, шлаки и дымовые газы, которые в последствие попадают в окружающую среду. В процессе суммации всех выбросов мусоросжигательных заводов, их масса в несколько раз будет превышать первоначальную массу ТКО. «Обычно не принимаемый в расчет CO_2 , полученный при взаимодействии кислорода с углеродом сжигаемых соединений, увеличивает реальный вес отходов после процесса сжигания. ТКО содержат до 25% углерода, который высвобождается в процессе сжигания. Из 1 т отходов образуется более 1 т CO_2 .» Выбросы диоксида углерода необходимо минимизировать, так как он является самым распространенным парниковым газом и оказывает влияние на изменение климата.

Недостатками метода сжигание ТКО является проблемы при осуществлении очистки выбросов от вредных примесей (в частности от диоксинов и оксидов азота), а так же образования шлаков и золы, что

негативно влияет на окружающую среду, получение электроэнергии является экономически не целесообразным [6, 7].

При сжигании несортированных ТКО на мусоросжигательных заводах образуется опасных металлов в тысячи раз больше, чем в атмосферном воздухе (таблица 7). Соли или окислы токсичных металлов находятся в устойчивом состоянии и соответственно накапливаются в течение длительного времени и постепенно с пылью попадают в организм человека, что определяет не эффективность использования метода с экологической точки зрения.

Таблица 7 – Содержание химических элементов в продуктах сжигания твердых бытовых отходов

«Элемент	Выбросы в воздух		Летучая зола	
	содержание, %%	коэффициент концентрации	Элемент	Содержание, %%
Висмут	0,0003-0,0013	300-1300	Висмут	0,0003-0,0013
Серебро	0,0006-0,0021	86-300	Серебро	0,0006-0,0021
Олово	0,02-0,18	80-720	Олово	0,02-0,18
Свинец	0,155-0,186	97-116	Свинец	0,155-0,186
Кадмий	0,0005-0,0012	38-923	Кадмий	0,0005-0,0012
Сурьма	0,003-0,009	60-180	Сурьма	0,003-0,009
Медь	0,15-0,4	32-85	Медь	0,15-0,4
Цинк	0,18-0,56	22-68	Цинк	0,18-0,56
Хром	0,06-0,16	7-20	Хром	0,06-0,16
Ртуть	0,00004-0,00009	5-10	Ртуть	0,00004-0,00009»

С целью получения сведений, которые характеризуют объемы накапливающихся твердых коммунальных отходов, а также взаимосвязь численности населения и энергетического потенциала ТКО, составлены таблицы 8 и 9.

Полученный в процессе утилизации теплоноситель используется в дальнейшем в различных тепловых процессах. Начальная расчетная температура теплоносителя составляет 1600–1700°C, конечная температура принимается, исходя из требований технологического процесса. «Количество

образования ТКО в городах с численностью населения от 30 до 200 тыс. человек достаточно, чтобы обеспечить эксплуатацию цементных заводов мощностью от 15 тыс. т до 130 тыс. т в год или кирпичный завод мощностью от 10 до 80 млн штук кирпича в год.»

Таблица 8 – Данные, полученные в результате пиролиза среднестатистических ТКО

«Показатель»	Единица измерения	Величина показателя в зависимости от температуры пиролиза		
		600 °С	800 °С	1000°С
1	2	3	4	5
Летучие из 1 кг отходов	кг	0,785	0,81	0,83
Твердый угольный остаток из 1 кг отходов	кг	0,215	0,19	0,17
Зола из 1 кг отходов (после сжигания твердой части угольного остатка)	кг	0,061	0,061	0,061
Вещественный состав летучих (по массе)				
CO ₂	%	22,0	22,1	22,3
CO	%	15,5	15,8	16,58
H ₂ O	%	25,2	25,0	24,4
Смолы	%	12,0	11,8	11,2
CH ₄	%	8,1	8,3	8,6
CnCm	%	14,6	14,37	14,3
H ₂	%	0,1	0,15	0,2
Прочие газы	%	2,5	2,48	2,42
Элементный состав твердого остатка (по массе)				
C	%	59,8	61,6	64,0

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5
H	%	4,54	3,0	–
O	%	7,58	2,7	–
N	%	0,1	–	–
Зола	%	28,7	32,5	36,0
Теплотворная способность				
Смеси органической субстанции отходов	ккал/кг	4440	4440	4440
Твердого остатка	ккал/кг	5690	5660	5190
Летучих	ккал/кг	4130	4150	4280»

Таблица 9 – Объемы твердых коммунальных отходов за год, энергетический потенциал ТКО

«Население, (тыс. чел.)»	Годовой выход ТКО, (тыс. т.)»	Средний энергетический потенциал, (Гкал/год)»	Производство энергии (тепловая + электрическая)»	
			Гкал/год»	млн. кВт/год»
30	9-10	23000	6000	2,7
50	15-18	39000	9800	4,5
100	32-34	83000	21400	9,9
200	66-68	170000	43500	20,1
300	90-92	235000	5900	27,3
500	170-175	440000	113500	53,3
1000	340-350	880000	227700	107,0
1200	410-420	1070000	274000	129,0
1500	520-530	1350000	346000	163,0
2000	680-700	1770000	455000	214,0»

В таблице А.1 Приложения А приведен анализ методов переработки ТКО. На основании проведенного анализа методов переработки ТКО, следует вывод, что наиболее экологичными методами являются вторичная переработка, компостирование и сжигание альтернативного топлива.

В целом на основании проведенного анализа можно сделать вывод, что в настоящее время не существует метода утилизации ТКО, который

удовлетворял бы современным требованиям с позиции экономической и экологической эффективности.

Можно выделить следующие принципы термической утилизации ТКО, позволяющие свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду:

— термическое разложение отходов с минимальным количеством кислорода;

— поддержание температуры в зоне горения или разложения не менее 900°C, время пребывания отходов в этой зоне не менее 2с;

— предварительная гомонезация компонентов, перемешивание обрабатываемых отходов в печах и реакторах.

По результатам анализа можно заключить, что для установок небольшой производительности (до 200-300 кВт) наиболее эффективным методом энергетической утилизацией отходов с выработкой тепловой энергии объединение методов прямого и сжигания и пиролиза в пиролизных печах. Кроме того процесс пиролиза позволяет перерабатывать широкий ряд отходов, трудно поддающиеся утилизации (автопокрышки, пластмасса, отработанные масла), образующаяся зола имеет высокую плотность, а используемое оборудование имеет небольшую мощность

Основным предназначением использования альтернативного топлива из твердых коммунальных отходов является его сжигание в цементных печах, как самым экологически чистым агрегатом по утилизации отходов, а так же энергетических установках [4].

«Использование альтернативного топлива в качестве замены ископаемого топлива (угля, нефти, газа) позволяет снижать выбросы CO₂ в атмосферу, уменьшает зависимость экономики от невозобновляемого источника энергии, а так же позволяет снижать поступление ТКО на полигоны» [4].

1.5 Экономическая оценка использования альтернативного топлива из ТКО

При реализации экологических задач необходимо учитывать и экономический эффект от применения альтернативного топлива коммунальной теплоэнергетике, а также в цементной промышленности, что предусматривает замену «ввозимых топлив: на 36,6% – каменный уголь (152300 т в год); на 43,9% – природный газ (28900000 м³)» [56]. Соответственно при реализации концепции замены части ресурсов доля использования альтернативного топлива возрастет до 33,6%, доля использования угля уменьшится с 62,6% до 34,2%, доля природного газа уменьшится с 10,2% до 3,9%. «Таким образом, для заводов по производству цемента замена вида топлива будет иметь весомый экономический эффект – 7000000 евро в год, что позволит направить эту сумму на повышение качества производимого цемента с последующим снижением его себестоимости. Для внедрения технологий производства альтернативного топлива и его использования в цементной промышленности. В таблице 10 представлена сравнительная характеристика видов топлива по калорийности» [8, 50].

Таблица 10 – Сравнительная характеристика видов топлива по калорийности

Характеристика	Природный газ	Каменный уголь	Торфобрикет	RDF-топливо
Калорийность, ккал/кг	8050	6200	3500	4200–5200
Коэффициент калорийности по отношению к каменному углю	1,29	1	0,56	0,76

«Альтернативное топливо из ТКО имеет калорийность в среднем 4200 - 5200ккал/кг, что сопоставимо с калорийностью углей и газа. К примеру: 2кг RDF замещают 1м³ природного газа». «Средний цементный завод может потреблять от 40 до 100 тысяч т/г альтернативного топлива при замещении

до 30% основного топлива. Себестоимость производства 1т альтернативного топлива, при условии использования автоматической линии сепарации не превышает 500руб».

«В РФ сложился рынок альтернативного топлива. Цена, которую готов платить цементный завод за 1т RDF-топлива составляет от 700 до 1500руб. Причем с ростом тарифов на энергоносители, будет расти и цена на RDF».

«Стоимость полуавтоматической линии переработки ТКО с возможностью выделения до 25% вторичного сырья и производства RDF, производительностью от 150 тыс т/г составляет от 4 до 8 млн Евро, в зависимости от комплектации и других факторов» [13].

«Экономический эффект от использования альтернативного топлива будет достигаться за счет его меньшей стоимости по сравнению с импортируемыми каменным углем и природным газом. Сравнительные цены на отдельные виды топлива показывают, что альтернативное топливо в 3- 4 раза дешевле, чем каменный уголь и природный газ» [44].

«Сжигание альтернативного топлива обладает рядом преимуществ перед слоевым сжиганием ТКО:

1. Альтернативное топливо простое в эксплуатации и не требующее каких-либо изменений в конструкции котлоагрегатов, топливо, на котором могут работать практически любые котлы.

2. Отбор ряда компонентов из ТКО осуществляемый в процессе производства альтернативного топлива позволяет существенно снизить потенциальные риски связанные с возможностью образования в процессе сжигания стойких органических загрязнителей таких как диоксины и фураны.

3. Промышленное использование технологии производства альтернативного топлива показывает, что производство данного вида топлива обладает малой энергоёмкостью, безотходностью, пожаро- и взрывобезопасностью» [76].

«Сжигание альтернативного топлива с экологической точки зрения приемлемо, так как высокие температуры технологического процесса позволяют минимизировать количество вредных веществ в отходящих газах и обеспечивает химическое связывание в клинкерных минералах токсичных материалов, выделяющихся из отходов в процессе их переработки» [15].

Теплотворная способность:

- альтернативное топливо – 23 МДж/кг,
- альтернативное топливо из смешанных ТКО – 13 МДж/кг,
- природный газ – 32 – 35 МДж/м³.

Таким образом, «теплотворная способность альтернативного топлива 1,7кг сопоставима с 1 м³ природного газа. В случае получения синтез-газа по предложенной технологии (с калорийностью 2900 ккал/м³) его соотношение составит 2,7 м³ альтернативного горючего к 1 м³ природного газа (калорийность принята 8000 ккал/м³)» [64].

«Для того, чтобы получить экономию 100000000 м³ природного газа, необходимо поставить ориентировочно 200000 т альтернативного топлива. То есть альтернативное топлива позволит заменить 15-20% ископаемого топлива, которое применяется на цементных заводах. Применение альтернативного топлива имеет экономический эффект – позволяет получить экономию денежных средств в размере 100-200 млн рублей при выпуске такого же количества топлива и с теми же техническими характеристиками.»

«Опыт стран Европейского союза свидетельствует, что альтернативное топливо может быть замещено до 70 процентов основного технологического топлива, расходуемого на обжиг клинкера цементными заводами. Также при совместном сжигании с каменным углем и другими видами альтернативного топлива используется на теплоэлектростанциях, на специализированном котельном оборудовании. Развиваются также направления использования альтернативного топлива в таких энергетических процессах, как газификация и пиролиз. При газификации альтернативное топливо преобразуется в синтетический газ, который может быть использован как химическое сырье

или источник энергии. При пиролизе производится синтетический газ и пиролизное топливо. Технология позволяет перерабатывать до 60% ТКО, сделать мусороперерабатывающее производство высокорентабельным бизнесом, в разы увеличить срок службы полигонов для захоронения ТКО, решить проблемы обращения с отходами во многих регионах РФ.»

«На основе выполненной оценки объемов образования ТКО и их морфологического состава сделан следующий прогноз ситуации до 2035 года:

- диапазон образования ТКО на душу населения будет находиться в пределах 320 – 380 кг с учетом роста валового внутреннего продукта;
- ежегодные объемы образования ТКО оцениваются в пределах от 3,5 до 4 млн. тонн;
- максимально возможное экономически обоснованное извлечение ВМР (вторичных материальных ресурсов) составит около 25%, из которых 15,6% уже собирается в настоящее время;
- максимальный процент энергетического использования составит 38,5% при производстве из ТКО RDF-топлива, а при сжигании остаточных отходов – 60 – 65%..»

На рисунке 9 показаны основные направления использования сырьевых ресурсов из морфологического состава ТКО.

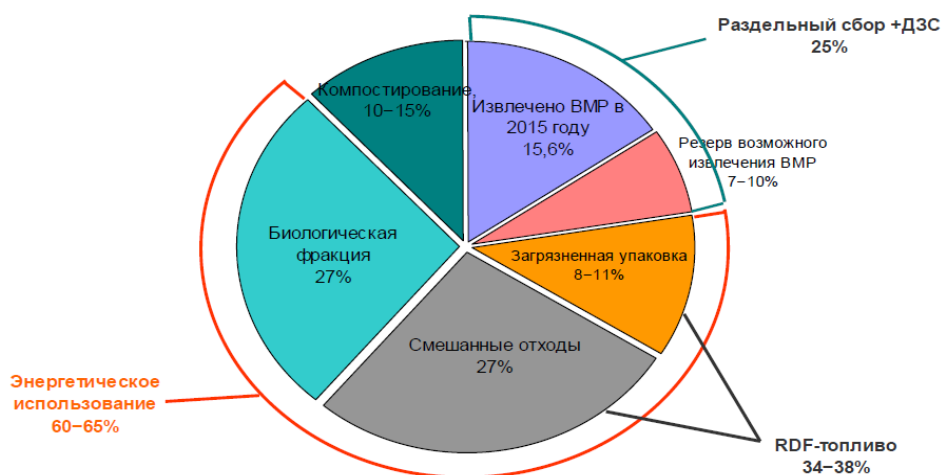


Рисунок 9 – Основные направления использования сырьевых ресурсов из морфологического состава ТКО

Основным «документом в области производства альтернативного топлива в Российской Федерации является Федеральный закон от 23.11.2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В данном документе дано определение «альтернативному топливу – это твердое восстановленное топливо, которое является вторичным энергетическим ресурсом.» «RDF (англ. refuse derive fuel) – твердое восстановленное топливо, подготовленное по специальной технологии из «хвостов» отходов, которое может использоваться в цементной промышленности для замены природного топлива (газ, уголь, мазут) в целью снижения себестоимости цемента» [44].

1.6 Характеристики и требования, применяемые к альтернативному топливу

Характеристики и требования, применяемые к альтернативному топливу:

1) за счет получения энергии из альтернативного топлива, используемого на цементных заводах, происходит снижение спроса на другие виды топлив;

2) в зависимости от теплотворной способности и содержания влаги в альтернативном топливе определяется объем заменяемого топлива. «В результате гетерогенной природы отходов, может потребоваться комбинирование и смешивание различных опасных и неопасных отходов, чтобы обеспечить однородное сырье, отвечающее спецификациям для использования в цементной печи.»

В таблице 11 указана калорийность некоторых отходов, используемых в качестве альтернативного топлива.

Таблица 11 – Калорийность ТКО

«Типы топливных отходов (опасные и неопасные)	Калорийность, кДж/кг
1	2
Дерево	приблизительно 16
Бумага, картон	3 – 16
Текстиль	до 40
Пластмасса	17 – 40
Горючие фракции сортировки бытовых отходов	14 – 25
Резина/шины	приблизительно 26
Промышленные шламы	8 – 14
Городские осадки сточных вод	12 – 16
Животные пищевые отходы и жиры	14 – 18, 27 – 32
Животные пищевые отходы (животные остатки)	14 – 21,5
Отходы угля/углерода	20 – 30
Сельскохозяйственные отходы	12 – 16
Твёрдые отходы (пропитанные древесные опилки)	14 – 28
Растворители и относящиеся к ним отходы	20 – 36
Нефть и нефтяные отходы	25 – 36
Битумный сланец на основе топливной смеси (85-90 % битумного сланца)	9,5
Иловые остатки (влажность более 10 %)	3 – 8
Иловые остатки (влажность от 0 до 10 %)	8 – 13»

3) Компонентный состав отходов, которые используют в качестве альтернативного топлива в цементной печи, значительно варьируется, что определяет выбор технологического процесса, состав альтернативного топлива, способ введения топлива, имеющиеся и модернизируемые системы очистки образующихся газов. Необходимо принимать во внимание существующие системы регулирования как национальные, так и европейские, при осуществлении выбора вида альтернативного топлива, которое потенциально будет использовано на производстве. Также следует

подробно изучать минеральный состав и калорийность предполагаемого топлива для цементной печи

«Необходимо учитывать объёмы и категории отходов, а также их физический и химический состав, характеристики и загрязняющие примеси. Топливные отходы, используемые цементной промышленностью, являются частью, специально отобранных из ТКО, которые, например, дробятся, перемешиваются, измельчаются, гомогенизируются и перерабатываются в материал соответствующего качества. В таблице 12 перечислены отдельные виды отходов, подходящие в качестве альтернативного топлива.

Таблица 12 – Отходы, используемые в качестве топлива для печей

«Номер группы	Типы топливных отходов (опасные и безопасные)
1	дерево, бумага, картон
2	текстиль
3	пластмассы
4	продукты перегонки
5	шины/резина
6	промышленные шламы
7	городские сточные воды
8	отходы животноводства
9	уголь/углеродсодержащие отходы
10	сельскохозяйственные отходы
11	твёрдые отходы (пропитанные древесные опилки)
12	растворители
13	нефть и отходы нефтепереработки
14»	другие

Среднее потребление горючих компонентов твердых коммунальных отходов на производство тонны цемента указано в таблице 13.

Таблица 13 – Потребление горючих компонентов твердых коммунальных отходов на тонну цемента

«Средняя теплотворная способность горючих компонентов бытовых отходов»	15,0 МДж/кг
«Средняя теплотворная способность мазута»	39,5 МДж/кг
Среднее удельное потребление тепла на обжиг клинкера	3500 МДж/т
Среднее удельное потребление мазута на обжиг клинкера	88,496 кг/т
Реальная возможность замещения тепловой энергии от сжигания мазута тепловой энергией от сжигания альтернативного топлива	12,5 %
Экономия мазута	10,96 кг/т
Расход горючих компонентов бытовых отходов	29,167 кг/т

«На фактическое потребление альтернативного топлива, потребляемого на обжиг клинкера (таблица 14), влияют следующие факторы»:

- «при большом соотношении доли альтернативного топлива может увеличиться потребление высокообогащенного известняка или другой добавки, дозируемой в сырьевую смесь;
- соотношение альтернативного топлива может быть ограничено влиянием некоторых составляющих данного топлива на работу печи, на процесс обжига или на качество клинкера;
- соотношение доли альтернативного топлива может ограничиваться из-за увеличения выбросов некоторых вредных веществ, содержащихся в отходах;
- соотношение доли альтернативного топлива может быть ограничено потреблением объема воздуха, затрачиваемого при транспортировке дополнительного топлива к горелке и потреблением воздуха для поддержания горения.»

Таблица 14 – Сравнение потребления топлива на обжиг тонны клинкера [5]

Режим эксплуатации	Мазут, кг/т	Отходы, кг/т
Нормальный	88,496	0
Эксплуатация при совместном сжигании альтернативного топлива	77,532	29,167

1.7 Технология получения альтернативного топлива

Для получения альтернативного топлива требуется влажность исходного сырья на выше 9-11%, но обычно сырьё поступает с влажностью 20-30%. Чтобы снизить процент первоначальной влажности, необходимо применение сушильного оборудования. При этом надо иметь в виду, что такое оборудование зачастую имеет высокое потребление энергии. Поэтому необходимо сформулировать критерии и требования, по которым должно подбираться сушильное оборудование:

- большая производительность (переработка больших объемов ТКО);
- переработка различным видов сырья, так как поступают отходы с многообразным составом;
- стоимость приобретаемого оборудования;
- доступность проведения технического обслуживания;
- высокое качество оборудования.

Сжигание RDF-топлива, как и сжигание несортированных ТКО, сопряжено с опасностью образования высокотоксичных соединений диоксинов и фуранов. Поэтому данное топливо целесообразно применять в цементных печах при выполнении требования [1]:

- высокая температура горения материала (до 1450°C) и газовая среда (до 2000 °C);
- щелочной средой материала в печи при наличии кислых газов;

- значительное время пребывания газов в горячей зоне – более 7с при температуре выше 1200°С, что обеспечивает распад диоксинов и фуранов;
- движение материала и газов в противотоке;
- интенсивность контакта между твердыми и газообразными фазами;
- связывание даже тяжелых и токсичных материалов при наличии жидкой фазы клинкера;
- наличие в печных установках эффективных пылеуловителей.

Для эффективного и безопасного использования топлива RDF должно обладать определенными характеристиками и свойствами. Во-первых, это высокая теплотворная способность, которая является определяющим показателем при внедрении любого вида топлива. Калорийность RDF-топлива должна быть не менее 16,8 Мдж/кг [4]. В противном случае его внедрение в качестве заменителя традиционных видов топлива нецелесообразно. Решением проблемы низкой калорийности альтернативного топлива является добавление при его производстве искусственных компонентов, обладающих высокой калорийностью, а также совершенствование сепарации (сортировки) ТКО, исключающей балластные негорючие фракции (камни, стекло и др.). Одной из характеристик альтернативного топлива, влияющих на его теплотворность, является влажность отходов. Поэтому одним из основных этапов подготовки RDF-топлива является сушка.

Во-вторых, это экономическая целесообразность внедрения RDF-топлива на цементных заводах. Необходимо, чтобы стоимость производимого альтернативного топлива с учетом его доставки до потребителя (200 км) должна составлять не более 70% стоимости традиционного топлива, используемого потребителем, при эквивалентном количестве получаемого тепла [4].

В-третьих, химический состав и зольность топлива. Эти показатели будут влиять на экологическую составляющую использования RDF. Особое внимание следует уделить содержанию хлора, серы, тяжелых металлов (особенно Hg, Cd, Tl). Основные характеристики топлива RDF «Топал 1» представлены в таблице 15 [5].

В-четвертых, размер и форма частиц, определяемые размером сопла горелки и типов системы подачи топлива в данную горелку. Так, размер частиц в разных литературных источниках варьирует от 20 до 60 мм. Наиболее пригодными для подачи в горелку являются частицы с ровными, резаными краями, формируемыми путем измельчения в шредерах.

Важно отметить, что RDF-топливо должно поставляться потребителю в качестве готового продукта, что серьезно упрощает и ускоряет процесс его внедрения, так как исключается необходимость получения потребителем лицензии по обращению с отходами. Для этого необходима разработка ТУ и получение сертификата соответствия.

Таблица 15 – Характеристики альтернативного топлива

Показатель	Обозначение показателя	Единицы измерения	Значение показателя
Общая влажность	Wt	%	7,0-25,5
Зольность	A	%	14,0-17,3
Выход летучих веществ	V	%	64,2-78,0
Содержание хлора	Cl	%	0,80±0,04
Содержание фтора	F	Ppm	47,0±4,5

Для достижения перечисленных выше характеристик RDF-топлива необходима соответствующая обработка отходов, представленная на рисунке 10, указанные операции являются обязательными при производстве RDF. Также может применяться брикетирование отходов при производстве топлива в виде брикетов.



Рисунок 10 – Этапы обработки ТКО для получения RDF-топлива

Основные этапы производства альтернативного топлива приведены на рисунке 11.



Рисунок 11 – Этапы производства альтернативного топлива

Различают два основных направления производства RDF-топлива:

- целевой подход: цель технологии – получение топлива;
- остаточный подход: получение высококалорийных компонентов из остатков, которые образуются после выделения из отходов вторичного сырья.

Целевой подход не подразумевает извлечение вторичного сырья, которое обладает большей стоимостью и меньше требует затрат на обработку чем RDF-топливо. Второй подход обладает большим числом операций, включающих несколько этапов сепарации, и, следовательно, требует больших площадей и затрат, что затруднительно для действующих полигонов [6]. Поэтому предлагается подход одновременного извлечения как вторичного сырья, так и калорийных компонентов.

Главным этапом при производстве RDF-топлива является сортировка отходов. Сортировка бывает двух видов: ручная и автоматизированная с оптическим распознаванием материала. Большинство действующих в России полигонов применяют ручную сортировку. При одновременном извлечении на одной линии сортировки вторичного сырья и калорийных компонентов необходимо выделить критерии сортировки, согласно которым операторы будут отбирать те или иные фракции. Сортировочная линия делится на две зоны. Вначале отбирается вторичное сырье: бумага и картон, пластик, стекло, черные и цветные металлы. Бумажные и картонные фракции отбираются крупных размеров – более 100 мм в двух измерениях. При извлечении пластика отбираются пластиковые бутылки и канистры. Вторая зона предназначена для отбора компонентов, идущих на производство RDF. Здесь отбираются компоненты, не извлеченные в первой зоне: бумага и картон преимущественно размером меньше 100 мм, пластик и пленка, резина, кожа, текстиль, а также деревянные фракции. Фракции, процентное содержание которых в отходах незначительное могут отбираться одним человеком. Например, один тот же оператор извлекает одновременно кожаные и текстильные фракции. Перед линией сортировки целесообразно

устанавливать механические разрыватели пакетов в целях экономии времени и более эффективного извлечения измельчение, смешивание, сушка и при необходимости брикетирование.

Данный метод извлечения компонентов RDF более экономичен, чем описанные в литературе, и теоретически может быть внедрен на действующих полигонах, но при этом обладает рядом недостатков. Во-первых, при ручной сортировке не могут достаточно эффективно быть извлечены фракции размером менее 60 мм. Во-вторых, ручная сортировка не позволяет предотвратить попадание в RDF хлорсодержащих компонентов, таких как ПВХ.

1.8 Анализ патентов по переработке ТКО в альтернативное топливо

В поисках эффективной технологии переработки ТКО, с целью получения альтернативного топлива, был проведен патентный поиск, в результате которого проанализированы различные способы получения альтернативного топлива из ТКО (Приложение Б (таблица Б.1)). В ходе анализа рассмотрена технология процесса переработки ТКО и выявлены ее недостатки, в патенте (RU(11)2479622(13)C1МПК: C10L5/46C10L5/08B09B3/0) представлена наиболее эффективная технология переработки ТКО в альтернативное топливо. Детальный анализ существующих патентов в данной области приведен в Приложении Б (таблица Б.2).

Выводы по главе 1

1. Проанализировав количественный и качественный состав ТКО, следует сделать вывод, что в Самарской области ежегодно накапливается до 3000000 тонн бытовых отходов. Доля образования ТКО за последние три года увеличилась с 15% до 24 %. ТКО содержат высококалорийные компоненты (пластмасса, бумага, картон, кожа, резина, текстиль), поэтому обладают высоким ресурсным потенциалом, который необходимо максимально использовать для извлечения максимального количества вторичного сырья и производства альтернативного топлива.

2. Чтобы определить эффективность переработки ТКО, необходимо знать степень его подготовки (влажность сырья, фракционный состав) и параметры технологического процесса (температура, время сгорания ТКО, отсутствие или наличие кислорода в рабочей среде).

3. Для того, чтобы повысить эффективность использования отходов, требуется проводить анализ имеющихся смесей ТКО, а также изучение составных компонентов с использованием окислительного пиролиза.

4. Большое значение имеет низкая влажность сырья, которое используется для производства альтернативного топлива. Необходимо производить сушку отходов при утилизации ТКО, Низкая влажность исходного сырья позволяет получить большую энергетическую эффективность.

5. На основании проведенного анализа методов переработки ТКО, следует вывод, что наиболее экологичными методами являются вторичная переработка, компостирование и сжигание альтернативного топлива.

6. Применение альтернативного топлива взамен ископаемых (уголь, нефть, газ) позволит снизить объемы выбросов CO₂, уменьшит потребность экономики от невозобновляемого источника энергии, а также позволяет снижать поступление ТКО на полигоны.

7. Если рассмотреть применение альтернативного топлива с экономической точки зрения, то это позволит снизить использование

ископаемого топлива на 15-20%. Это эквивалентно экономии 100-200 млн. рублей при сохранении качества и объема производимой продукции цементного завода.

8. В поисках эффективной технологии переработки ТКО, с целью получению альтернативного топлива, был проведен патентный поиск. В ходе анализа изучена технология процессов переработки ТКО, найдена наиболее эффективная технология переработки ТКО в альтернативное топливо, которая позволит снизить поступление ТКО на полигоны и экономить не возобновляемые источники энергии.

Глава 2. Составление математической модели и расчет теплового баланса для выбора эффективной технологии получения альтернативного топлива

2.1 Математическое моделирование процесса сушки ТКО

2.1.1 Описание объекта

«При термической переработке в печах шахтного типа ТКО загружаются в верхнюю часть рабочего пространства печи (реактора) и последовательно проходят зоны сушки и пиролиза» (рисунок 12) [23]. «В зоне сушки осуществляется нагрев и сушка слоя ТКО за счет теплообмена с потоком газа из нижерасположенной зоны пиролиза, а выделившаяся в процессе сушки влага удаляется из рабочего пространства печи. В зоне пиролиза ТКО разлагаются, образуя пиролизный газ, пригодный для использования в качестве топлива, летучие конденсируемые соединения и углеродистый остаток» [18].

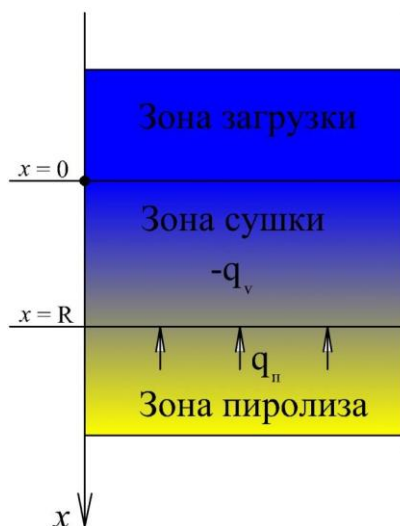


Рисунок 12 – Расчетная схема термического реактора

«Для достижения требуемой полноты обезвреживания отходов необходимо расчетно-экспериментальное определение температуры и продолжительности процесса термической переработки.» «При этом большую роль играет влажность ТКО, которая может быть достаточно

высокой» [24,41]. «Так, для среднего состава ТКО первоначальная влажность материала должна быть не более 5%. В печах для термической переработки ТКО, где используется предварительная подготовка по выделению из ТКО негорючей части, первоначальная влажность сырья может достигать 40 % [38, 39, 98]. Таким образом, с точки зрения энергозатратности, повышенный интерес представляет собой процесс сушки» [23].

Для расчета температурного поля слоя органического сырья в зоне сушки реактора предложена математическая модель, согласно которой слой ТКО рассматривается как условное тело с эффективными теплофизическими свойствами [23, 37, 40, 43]. Модель позволяет перейти от реальной пористой структуры к ее приближению.

Ограничения при моделировании:

1. Пористое тело представлено в виде сплошной среды с эффективными теплофизическими характеристиками и усредненными величинами температур, концентраций, порозности и т.д.
2. Материал и газ, заполняющий поры, увлажнены.
3. Температура газа, заполняющего поры, принимается равной температуре материала.»

Математическая формулировка задачи представлена дифференциальным уравнением (1) теплопроводности в одномерной постановке.

$$c_{\text{Э}} = (T, U) \rho_{\text{Э}}(T, U) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{\text{Э}}(T, U) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right) - q_V(x, \tau),$$

$$\tau \geq 0, 0 \leq x \leq R, \quad (1)$$

где

q_V - внутренний источник (сток) теплоты и эффективности теплофизических свойств,

$\lambda_{\text{Э}}$ – теплопроводностью,

$c_{\text{Э}}$ – теплоемкостью,

T – температура,

U - влагосодержание.

Краевые условия (2):

$$T(x, 0) = T_0 \quad (2)$$

$$\lambda_{\text{Э}}(T, U) \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$T(R, \tau) = \text{const} \quad (4)$$

где

$\rho_{\text{Э}}$ – средняя эффективная плотность, кг/м³.

В правой части уравнения (1): первое слагаемое характеризует перенос теплоты теплопроводностью в пористом теле, второе слагаемое – распределенный внутренний источник (сток), представляющий собой затраты теплоты на испарение влаги в слое в процессе его сушки.

Начальное условие (2) показывает, что в начальный момент времени $\tau_0=0$ тело имеет равномерное распределение температуры. Граничное условие (3) – это условие термодинамического равновесия с окружающей средой. На поверхности тела $x=R$ принято граничное условие 1 рода (4), характеризующееся постоянной температурой.

2.1.2 Определение эффективных теплофизических коэффициентов

В системе дифференциальных уравнений (1) – (4) эффективный коэффициент теплопроводности определяется по результатам исследований, представленных в диссертации Габитова Р.Н. «Повышение эффективности термической переработки твердых коммунальных отходов».

«Эффективные теплоемкость и плотность рассчитываются на основе принципа аддитивности по известным свойствам влажности материала и газа, заполняющего поры» (5):

$$c_{\text{Э}} = c_{\text{М}}(1 - f) + c_{\text{Г}} \quad (5)$$

$$\rho_{\text{Э}} = \rho_{\text{М}}(1 - f) + \rho_{\text{Г}}$$

2.1.3 Методика определения внутреннего стока теплоты

«Закон изменения внутреннего стока теплоты имеет вид (6):

$$dq_V(x, \tau) = \frac{m_{\text{ЖГ}}}{V_{\text{М}} \Delta \tau} = \varepsilon r \rho_{\text{Э}}(T, U) \frac{\partial U(x, \tau)}{\partial \tau} \quad (6)$$

где

r – скрытая теплота парообразования;

$m_{жс}$ – масса испарившейся жидкости за временной промежуток, характеризующий долю переноса энергии в виде пара от общего ее потока.» [49].

Начальное значение величины теплового потока, затраченного на испарение влаги в слое, рассчитывается по формуле (7):

$$q_0 = \frac{\varepsilon \tau \rho \varepsilon r U_0}{\tau} \quad (7)$$

Поиск зависимости $q_V(x, \tau)$ осуществлялся решением обратной задачи теплопроводности дискретно для n моментов времени при условии минимизации среднеквадратичного отклонения полученных расчетом температур от экспериментально замеренных в нескольких сечениях по высоте образца.

2.1.4 Сопоставление с расчетом по методу С.В.Федосова

«Для решения задачи тепломассопереноса С.В.Федосовым предложен метод «микропроцессов», который позволяет свести нелинейную задачу расчета полей температур и влагосодержаний к линейной. В соответствии с методом, весь процесс делят на n элементарных «микропроцессов», в пределах каждого из которых все теплофизические параметры фаз считаются постоянными, т.е. нелинейная задача тепломассопереноса сводится к совокупности n линейных задач. Использование интегрального преобразования Лапласа С. В. Федосовым [56,57,18] получено аналитическое решение краевой задачи тепло - и влагопереноса для неограниченной пластины, формулировка которой представлена системой дифференциальных уравнений» (8):

$$\begin{aligned} \frac{\partial U(x, \tau)}{\partial \tau} &= k \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x^2}, \tau > 0; 0 < x < R \\ U(x, 0) &= U_0 \\ \frac{\partial U(x, 0)}{\partial \tau} &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\beta[U_p - U(R, \tau)] = k \frac{\partial U(R, \tau)}{\partial x}$$

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}, \tau > 0; 0 < x < R$$

$$T(x, 0) = T_0$$

$$\frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} = 0$$

$$\alpha[T_c - T(R, \tau)] = \lambda \frac{\partial T(R, \tau)}{\partial r} + q_r$$

где

$q(\tau) = \beta \cdot \rho_0 [U(R, \tau) - U_p] \cdot r$ тепловой поток с испаряемой влагой

Для расчета температурного поля рекомендована формула (9):

$$T(r, Fo) = 1 - q(LuFo) - \sum_{n=1}^{\infty} B_n(\xi) \psi(\mu_n, q, Fo) \quad (9)$$

где

$q(LuFo)$ – величина потока влаги с поверхности пластины,

определяемая выражением (10):

$$q(LuFo) = \frac{\beta \rho r (U_p - U_0)}{\alpha(T_\Gamma - T_M)} \left[\frac{Bi_m}{Lu_m - 0,5\Gamma} \{1 - \exp[LuFo(Bi_m - 0,5\Gamma)^2]\} \times \operatorname{erfc}[Bi_m - 0,5\Gamma] \sqrt{LuFo} \} - 1 \right] \quad (10)$$

$$\psi(\mu_n, q, Fo) = \left[1 + \mu_n^2 \int_0^{Fo} q(LuFo^*) \exp(\mu_n^2 Fo^*) dFo^* \right] \times \exp(-\mu_n^2 Fo) - q(LuFo)$$

$$B_n(\xi) = \frac{2 \sin \mu_n \cos(\mu_n \xi)}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n}$$

где

U_p – равновесное влагосодержание, кг/кг;

U_0 – начальное влагосодержание, кг/кг;

Γ – фактор формы, $\Gamma=0$ для пластины;

Lu – критерий Лыкова, $Lu = k/a$;

Fo – число Фурье, $Fo = a \cdot \tau / R^2$; Fo^* – число Фурье на i - м интервале времени, $Fo^* = a \cdot \tau^* / R^2$; Bi_m – массообменное число Био, $Bi_m = \beta \cdot R / k$;

μ_n – корни уравнения, $\mu_n = (2n - 1) \cdot \pi / 2$;

ξ – безразмерная координата точки, $\xi = 0 \div 1$;

R – толщина пластины, м.

По вышеописанному методу выполнен расчет температурного поля слоя ТКО в процессе его сушки теплоносителем с температурой 230°C. Толщина слоя принята 75 мм, порозность – 0,5, начальная влажность материала – 55%.

2.2 Утилизация твердых коммунальных отходов в шахтной печи

В существующих установках (например, печь «Тоггах») пиролизный газ, предназначенный для последующего использования, отводится из зоны сушки, где он выполняет роль сушильного агента. В процессе сушки увеличивается влагосодержание газа и, соответственно, снижается его качество. Повышения качества пиролизного газа можно достичь отводом из печи части газа в зоне пиролиза, уменьшая количество газа, подвергающегося окислению и увлажнению в зоне сушки и обладающего более низкой теплотворной способностью. Рассмотрите установку для переработки ТКО» (рисунок 13).

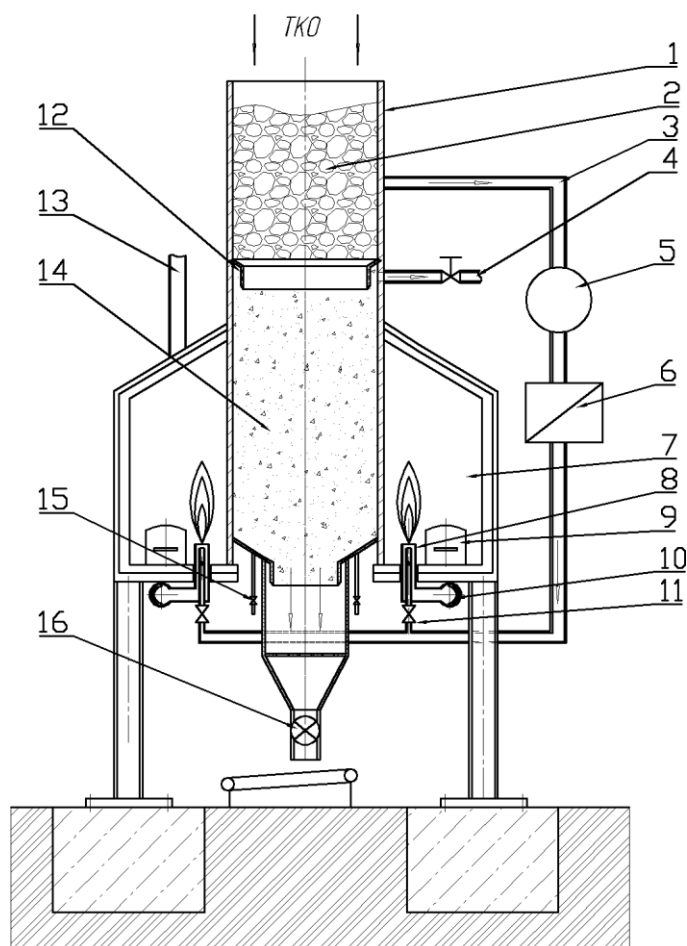


Рисунок 13 – Установка для переработки ТКО

«1 – накопительную камеру; 2 – зону сушки; 3 – узел отбора влажного газа; 4 – узел отбора сухого газа; 5 – нагнетатель; 6 – конденсатосборник; 7 – камеру сжигания; 8 – горелку; 9 – топочную дверку; 10 – воздушный коллектор; 11 – патрубок для подвода газа; 12 – регулировочную арматуру; 13 – дымовую трубу; 14 – камеру пиролиза; 15 – регулировочную арматуру; 16 – шлюзовый затвор»

«Установка работает следующим образом: ТКО загружают в накопительную камеру 1 с зоной сушки 2 печи-реактора без предварительной сортировки. Накопительная камера 1 является своего рода затвором, поскольку высота слоя перерабатываемого сырья, обладая высоким гидравлическим сопротивлением, препятствует выходу газов в атмосферу. Производят загрузку пускового твердого топлива (дров) в камеру сжигания 7 через топочные дверки 9 и осуществляют его розжиг. Образующиеся высокотемпературные потоки продуктов сгорания передают тепловую энергию перерабатываемому сырью в камере пиролиза 14, омывая наружную поверхность камеры, обеспечивая тем самым равномерность ее прогрева и

проведение процесса пиролиза. Полученный в процессе разложения ТКО пиролизный газ делится на два потока. Одну часть газа через узел отбора 4 направляют стороннему потребителю, а другую – в зону сушки 2 для высушивания влажных отходов. Из зоны сушки увлажненный пиролизный газ через узел отбора 3 при помощи нагнетателя 5 направляют в конденсатосборник 6 для охлаждения и удаления влаги и затем в горелки 8, где его используют как основное топливо, обеспечивая полное сжигание посредством подачи воздуха из коллектора 10» [21].

«После выхода печи на рабочий режим пусковое твердое топливо не используют. Регулирование процесса окислительного пиролиза осуществляют при помощи регулировочной арматуры 15. Рабочий процесс термического разложения осуществляется за счет энергии, полученной от сжигания пиролизного газа».

«Перерабатываемые отходы перемещаются из зоны сушки в зону пиролиза под действием силы тяжести, подвергаясь непрерывной тепловой обработке. Оставшиеся не переработанные частицы поступают на колосниковую решетку, а затем в шлюзовый затвор 16, откуда их удаляют для дальнейшего использования» [21].

«Для определения режимных и конструктивных параметров реактора и оценки его эффективности выполнен расчет теплового баланса рабочего пространства и термического КПД при различных режимах окислительного пиролиза».

2.3 Составление теплового баланса реактора

При расчете теплового баланса приняты следующие допущения:

- 1) выход углеродистого остатка и золы не превышает 15% (по статистическим данным);
- 2) пиролизный газ поступает в камеру сгорания установки полностью осушенным.

Влажные ТКО ($G_{TKO} + G_{вод}$), поступающие в зону сушки термического реактора, нагреваются и высушиваются потоком газа ($G_{пир.газ}^{суш}$) из нижерасположенной зоны пиролиза. Сухие отходы направляются в зону пиролиза, а влажный газ ($G_{пир.газ}^{суш} + G_{вод}$) удаляется из зоны сушки.

Схемы материальных и тепловых потоков зоны сушки представлены на рисунках 14 и 15.

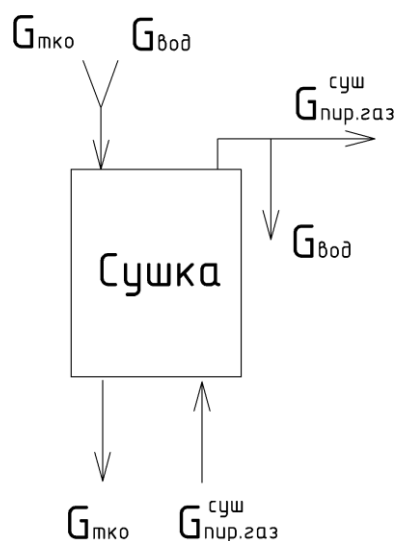


Рисунок 14 – Схема материальных потоков зоны сушки

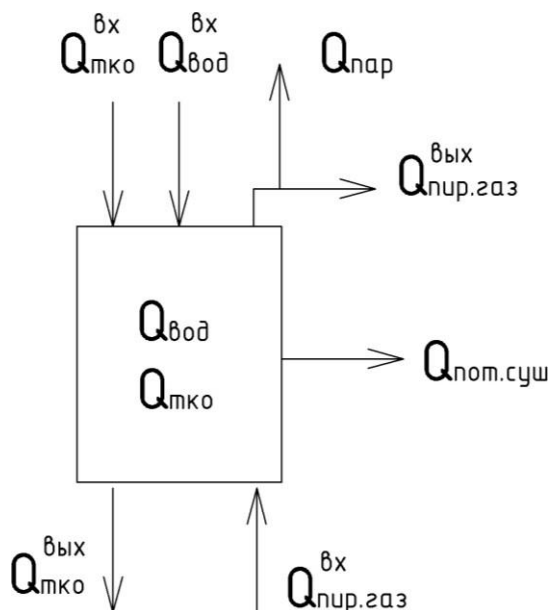


Рисунок 15 – Схема тепловых потоков зоны сушки

2.3.1 Приходные статьи теплового баланса зоны сушки

1. Физическое тепло, вносимое с ТКО, кВт:

$$Q_{\text{ТКО}}^{\text{ВХ}} = G_{\text{ТКО}} \cdot c_{\text{ТКО}}^{\text{ВХ}} \cdot t_{\text{нач}} \quad (11)$$

где

$G_{\text{ТКО}}$ – производительность установки по сухим ТКО, кг/с;

$c_{\text{ТКО}}^{\text{ВХ}}$ – средняя удельная теплоемкость сухих ТКО на входе в зону сушки, кДж/(кг°С);

$t_{\text{нач}}$ – начальная температура ТКО, °С.

2. Теплота, вносимая с влагой, кВт:

$$Q_{\text{вод}}^{\text{ВХ}} = G_{\text{вод}} \cdot c_{\text{вод}} \cdot t_{\text{нач}} \quad (12)$$

где $G_{\text{вод}}$ – количество воды, содержащейся в ТКО, кг/с;

$c_{\text{вод}}$ – средняя удельная теплоемкость воды, кДж/(кг°С);

$t_{\text{нач}}$ начальная температура ТКО, °С.

3. Теплота, вносимая с пиролизным газом, кВт:

$$Q_{\text{пир.газ}}^{\text{ВХ}} = G_{\text{пир.газ}}^{\text{суш}} \cdot c_{\text{пир.газ}}^{\text{ВХ}} \cdot t_{\text{пир.газ}}^{\text{ВХ}} \quad (13)$$

где

$G_{\text{пир.газ}}^{\text{суш}}$ – массовый расход пиролизного газа на сушку ТКО, кг/с;

$c_{\text{пир.газ}}^{\text{ВХ}}$ – средняя удельная теплоемкость пиролизного газа, кДж/(кг°С);

$t_{\text{пир.газ}}^{\text{ВХ}}$ – температура пиролизного газа на входе в зону сушки, °С.

2.3.2 Расходные статьи теплового баланса зоны сушки

1. Физическое тепло, уходящее с сухими ТКО, кВт:

$$Q_{\text{ТКО}}^{\text{ВЫХ}} = G_{\text{ТКО}} \cdot c_{\text{ТКО}}^{\text{ВЫХ}} \cdot t_{\text{суш}} \quad (14)$$

где

$c_{\text{ТКО}}^{\text{ВЫХ}}$ – средняя удельная теплоемкость сухих ТКО на выходе из зоны сушки, кДж/(кг°С);

$t_{\text{суш}}$ – температура ТКО на выходе из зоны сушки, °С.

2. Теплота, уходящая с пиролизным газом, кВт:

$$Q_{\text{пир.газ}}^{\text{ВЫХ}} = G_{\text{пир.газ}}^{\text{суш}} \cdot c_{\text{пир.газ}}^{\text{ВЫХ}} \cdot t_{\text{пир.газ}}^{\text{ВЫХ}} \quad (15)$$

где

$c_{\text{пир.газ}}^{\text{ВЫХ}}$ – средняя удельная теплоемкость пиролизного газа, кДж/(кг $^{\circ}$ С);

$t_{\text{пир.газ}}^{\text{ВЫХ}}$ – температура пиролизного газа на выходе из зоны сушки, $^{\circ}$ С.

3. Теплота, уходящая с водяным паром из зоны сушки, кВт:

$$Q_{\text{пар}} = G_{\text{вод}} \cdot c_{\text{пар}} \cdot t_{\text{сух.пар}} \quad (16)$$

где

$c_{\text{пар}}$ – средняя удельная теплоемкость водяных паров, кДж/(кг $^{\circ}$ С);

$t_{\text{сух.пар}}$ – температура водяного пара на выходе из зоны сушки, $^{\circ}$ С.

4. Теплота, затраченная на нагрев и испарение воды, нагрев водяного пара до температуры отбора из зоны сушки, кВт:

$$Q_{\text{вод}} = G_{\text{вод}} \cdot c_{\text{вод}} \cdot (t_{\text{пар}} - t_{\text{нач}}) + G_{\text{вод}} \cdot r + G_{\text{вод}} \cdot c_{\text{пар}} \cdot (t_{\text{ух.пар}} - t_{\text{пар}}) \quad (17)$$

где

$c_{\text{пар}}$ – средняя удельная теплоемкость водяных паров, кДж/(кг $^{\circ}$ С);

$t_{\text{пар}}$ – температура парообразования, $^{\circ}$ С; пар t

r – скрытая теплота парообразования, кДж/кг; r

$t_{\text{ух.пар}}$ – температура водяного пара на выходе из зоны сушки, $^{\circ}$ С.

5. Теплота, затраченная на нагрев сухих ТКО до температуры отбора из зоны сушки, кВт:

$$Q_{\text{ТКО}} = G_{\text{ТКО}} \cdot c_{\text{ТКО}}^{\text{ВЫХ}} \cdot (t_{\text{суш}} - t_{\text{нач}}) \quad (18)$$

6. Потери теплоты в окружающую среду в зоне сушки принимаем в количестве 5% от суммы затрат теплоты, рассчитанных по формулам (14) ÷ (18), кВт:

$$Q_{\text{пот.суш}} = 0,05 \cdot (Q_{\text{ТКО}}^{\text{ВЫХ}} + Q_{\text{пир.газ}}^{\text{ВЫХ}} + Q_{\text{пар}} + Q_{\text{вод}} + Q_{\text{ТКО}}) \quad (19)$$

Уравнение теплового баланса зоны сушки имеет вид:

$$Q_{\text{ТКО}}^{\text{ВХ}} + Q_{\text{вод}}^{\text{ВХ}} + Q_{\text{пир.газ}}^{\text{ВХ}} = Q_{\text{ТКО}}^{\text{ВЫХ}} + Q_{\text{пир.газ}}^{\text{ВЫХ}} + Q_{\text{пар}} + Q_{\text{вод}} + Q_{\text{ТКО}} + Q_{\text{пот.суш}} \quad (20)$$

2.3.3 Тепловой баланс зоны пиролиза

В зону пиролиза поступают из зоны сушки высушенные отходы ($G_{ТКО}$). Они частично окисляются кислородом (G_{O_2}) с выделением энергии и разлагаются, образуя пиролизный газ ($G_{пир.газ.}$) и золу ($G_{зол.}$).

Схемы материальных и тепловых потоков в зоне пиролиза представлены на рисунках 16 и 17.

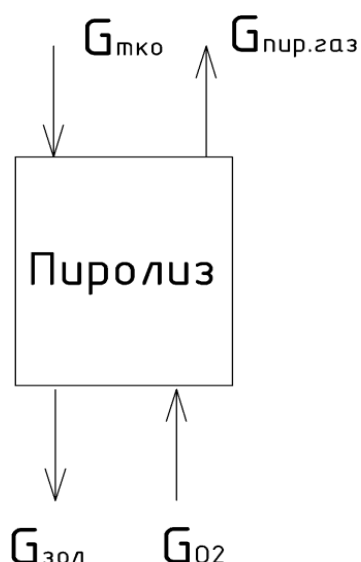


Рисунок 16 – Схема материальных потоков в зоне пиролиза

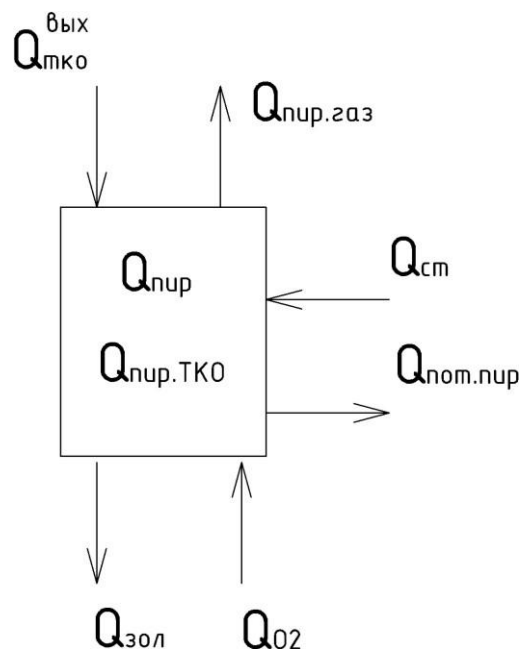


Рисунок 17 – Схема тепловых потоков в зоне пиролиза

Приходные статьи теплового баланса зоны пиролиза

1. Физическое тепло, вносимое с ТКО в зону пиролиза, кВт:

$$Q_{ТКО}^{вх} = G_{ТКО} \cdot c_{ТКО} \cdot t_{суш} \quad (21)$$

2. Физическое тепло, вносимое с кислородом, кВт:

$$Q_{O_2} = G_{O_2} \cdot c_{O_2} \cdot t_{O_2} \quad (22)$$

где

G_{O_2} – расход кислорода на процесс окислительного пиролиза, кг/с;

c_{O_2} – средняя удельная теплоемкость кислорода, кДж/(кг $^{\circ}$ С);

t_{O_2} – температура кислорода на входе в зону пиролиза, $^{\circ}$ С.

3. Теплота химических реакций чистого пиролиза и окисления ТКО, кВт:

$$Q_{\text{пир}} = G_{\text{ТКО}} \cdot q_{\text{пир}} \quad (23)$$

где

$q_{\text{пир}}$ – тепловой эффект пиролиза (см. главу 2), кДж/кг.

4. Тепло, переданное из камеры сгорания через стенку в зону пиролиза – $Q_{\text{ст}}$ (расчет приведен в тепловом балансе камеры сгорания, ниже, в 24), кВт.

Расходные статьи теплового баланса зоны пиролиза

1. Теплота, уходящая с пиролизным газом из зоны пиролиза в зону сушки и потребителю, кВт:

$$Q_{\text{пир.газ}} = G_{\text{пир.газ}} \cdot c_{\text{пир.газ}} \cdot t_{\text{пир.газ}} \quad (24)$$

где

$c_{\text{пир.газ}}$ – средняя удельная теплоемкость пиролизного газа, кДж/(кг $^{\circ}$ С);

$t_{\text{пир.газ}}$ – температура пиролизного газа, $^{\circ}$ С.

2. Теплота, уходящая с золой из зоны пиролиза, кВт:

$$Q_{\text{зол}} = G_{\text{зол}} \cdot c_{\text{зол}} \cdot t_{\text{пир.газ}} \quad (25)$$

где

$c_{\text{зол}}$ – средняя удельная теплоемкость золы, кДж/кг $^{\circ}$ С;

$t_{\text{пир.кон}}$ – температура золы на выходе из зоны пиролиза, $^{\circ}$ С.

3. Теплота, необходимая на нагрев ТКО, пиролизного газа и золы в процессе пиролиза, кВт:

$$Q_{\text{пир.ТКО}} = G_{\text{ТКО}} \cdot c_{\text{пир.ТКО}} \cdot (t_{\text{пир.кон}} - t_{\text{пир.нач}}) + G_{\text{пир.газ}} \cdot c_{\text{пир.газ}} \cdot (t_{\text{пир.кон}} - t_{\text{пир.нач}}) + G_{\text{зол}} \cdot c_{\text{зол}} \cdot (t_{\text{пир.кон}} - t_{\text{пир.нач}}) \quad (26)$$

где

$c_{\text{пир.ТКО}}$ – средняя удельная теплоемкость ТКО, кДж/(кг°С);

$t_{\text{пир.кон}}$ – температура окончания процесса пиролиза, °С;

$t_{\text{пир.нач}}$ – температура начала процесса пиролиза, °С. 100

4. Потери теплоты в окружающую среду в зоне пиролиза принимаем в количестве 5% от суммы затрат теплоты, рассчитанных по формулам (27) ÷ (28), кВт:

$$Q_{\text{пот.пир}} = 0,05 \cdot (Q_{\text{пир.газ}} + Q_{\text{зол}} + Q_{\text{пир.ТКО}}) \quad (27)$$

Уравнение теплового баланса зоны пиролиза имеет вид:

$$Q_{\text{ТКО}}^{\text{ВЫХ}} + Q_{\text{O}_2} + Q_{\text{пир}} + Q_{\text{ст}} = Q_{\text{пир.газ}} + Q_{\text{зол}} + Q_{\text{пир.ТКО}} + Q_{\text{пот.пир}} \quad (28)$$

2.3.4 Тепловой баланс камеры горения

В камеру горения поступают пиролизный газ ($G_{\text{пир.газ}}^{\text{зоп}}$) после осушки и воздух ($G_{\text{возд}}$) на горение. Образовавшиеся продукты горения ($G_{\text{п.г}}$) передают свою теплоту через стенку в зону пиролиза и удаляются в атмосферу. Схемы материального и теплового балансов камеры сгорания приведены на рисунках 18 и 19.

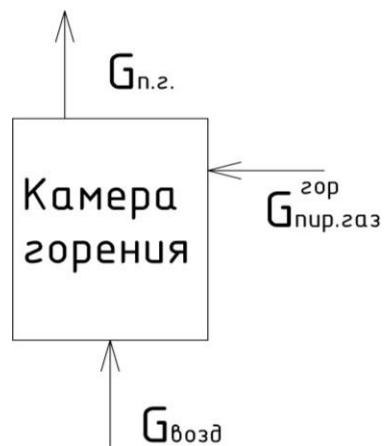


Рисунок 18 – Схема материальных потоков камеры горения

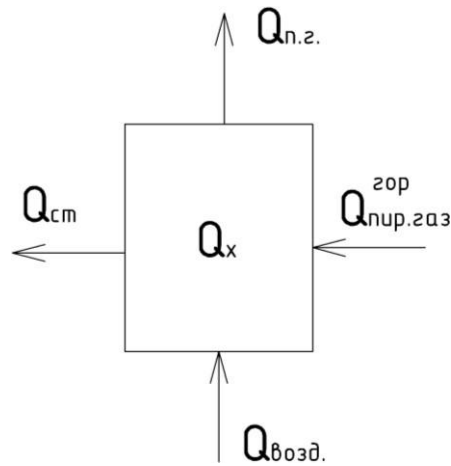


Рисунок 19 – Схема тепловых потоков камеры горения

Приходные статьи теплового баланса камеры горения

1. Физическое тепло пиролизного газа, кВт:

$$Q_{\text{пир.газ}}^{\text{гор}} = G_{\text{пир.газ}}^{\text{гор}} \cdot c_{\text{пир.газ}} \cdot t_{\text{пир.газ}}^{\text{гор}} \quad (29)$$

где

$G_{\text{пир.газ}}^{\text{гор}}$ – расход пиролизного газа на горение, определяемый расчетом, кДж/кг^{°С};

$c_{\text{пир.газ}}$ $c_{\text{пир.газ}}$ – средняя удельная теплоемкость пиролизного газа, кДж/(кг^{°С});

$t_{\text{пир.газ}}^{\text{гор}}$ – температура пиролизного газа, поступающего на горение, °С.

2. Физическое тепло воздуха, кВт:

$$Q_{\text{возд}} = G_{\text{возд}} \cdot c_{\text{возд}} \cdot t_{\text{возд}} \quad (30)$$

где

$c_{\text{возд}}$ – средняя удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг^{°С});

$t_{\text{возд}}$ – температура воздуха, °С;

$G_{\text{возд}}$ – расход воздуха на горение, кг/с.

3. Химическая теплота топлива, кВт:

$$Q_x = G_{\text{пир.газ}}^{\text{гор}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} \quad (31)$$

где

$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – теплота сгорания пиролизного газа, кДж/кг

Расходные статьи теплового баланса камеры горения

1. Потери тепла с уходящими газами, кВт:

$$Q_{ПГ} = G_{ПГ} \cdot c_{ПГ} \cdot t_{ПГ} \quad (32)$$

где

$c_{ПГ}$ – средняя удельная теплоемкость продуктов горения пиролизного газа, кДж/(кг°С);

$t_{ПГ}$ – температура продуктов горения, °С;

$G_{ПГ}$ – выход продуктов горения, кг/с.

2. Потери тепла в окружающую среду принимаем в количестве 5% от суммы затрат теплоты, рассчитанных по формулам (33) ÷ (34), кВт:

$$Q_{\text{пот.гор}} = 0,05 \cdot (Q_{\text{пир.газ}}^{\text{гор}} + Q_{\text{возд}} + Q_{\text{х}} + Q_{\text{ПГ}}) \quad (34)$$

3. Теплота, переданная из камеры горения через стенку в зону пиролиза, кВт:

$$Q_{\text{ст}} = Q_{\text{пир.газ}}^{\text{гор}} + Q_{\text{возд}} + Q_{\text{х}} - Q_{\text{ПГ}} - Q_{\text{пот.газ}} \quad (35)$$

Уравнение теплового баланса камеры горения имеет вид:

$$Q_{\text{пир.газ}}^{\text{гор}} + Q_{\text{возд}} + Q_{\text{х}} = Q_{\text{ПГ}} + Q_{\text{пот.газ}} + Q_{\text{ст}} \quad (36)$$

На рисунках 20 и 21 показаны схемы материальных и тепловых потоков по всей установке в целом.

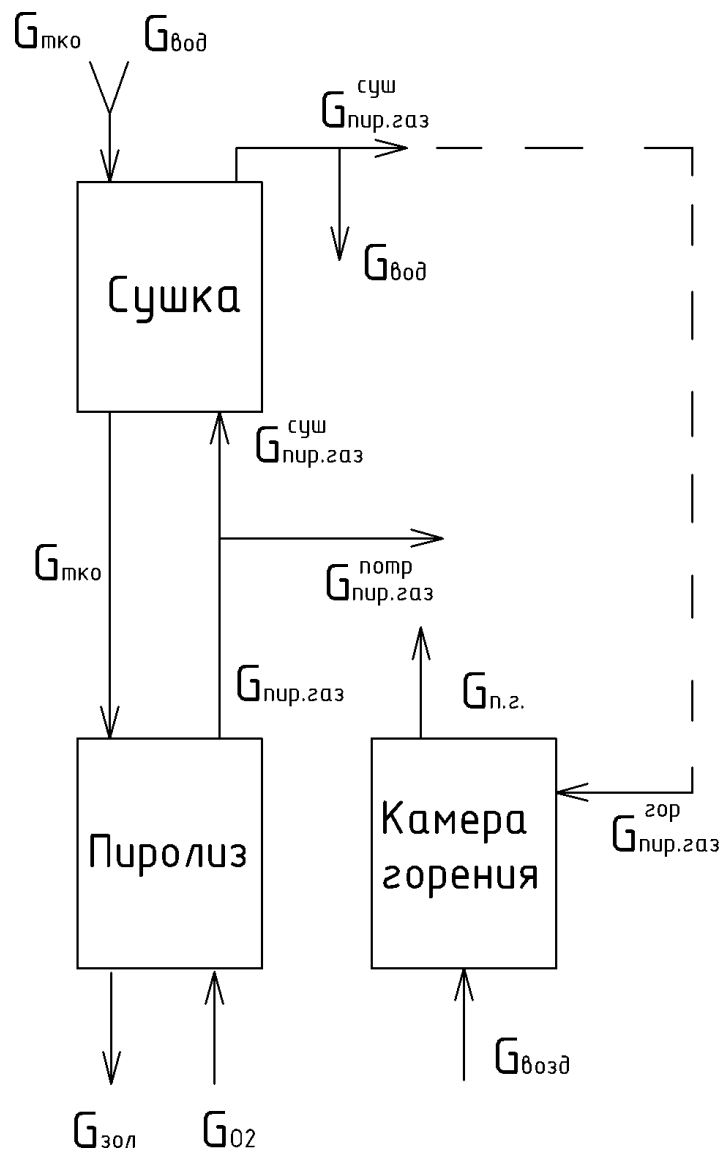


Рисунок 20 – Схема материальных потоков установки

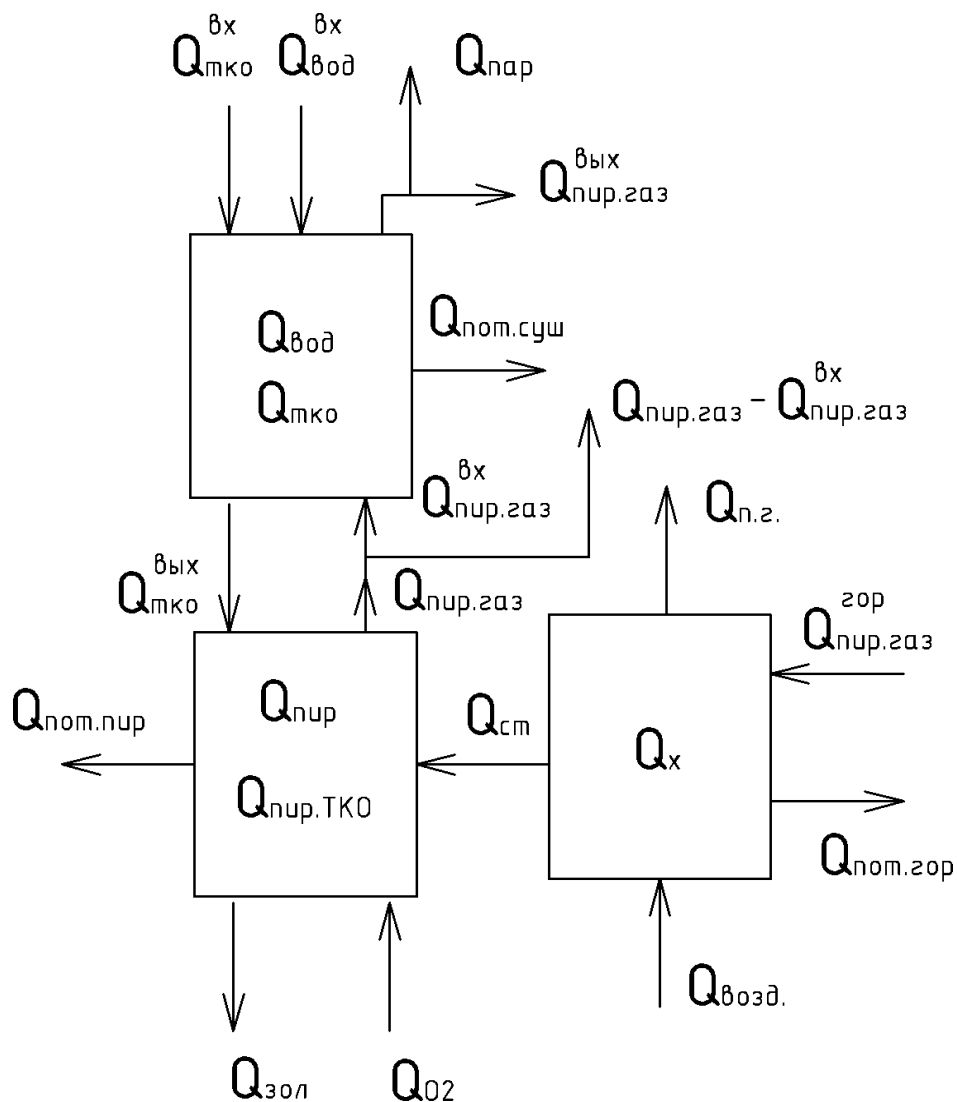


Рисунок 21 – Схема тепловых потоков установки

Для расчета термического КПД установки использована формула [90]:

$$\eta = 1 - \frac{\sum Q_{\text{пот.ТКО}}}{Q_{\text{х}} + Q_{\text{пир}} + Q_{\text{возд}} + Q_{\text{O}_2}} \quad (37)$$

где

$\sum Q_{\text{пот.ТКО}}$ – потери теплоты в процессе переработки ТКО, Вт:

$$\sum Q_{\text{пот.ТКО}} = Q_{\text{ПГ}} + Q_{\text{зол}} + Q_{\text{пир.газ}} + Q_{\text{пар}} + Q_{\text{пот.суш}} + Q_{\text{пот.пир}} + Q_{\text{пот.гор}} \quad (38)$$

На рисунке 22 представлена графическая зависимость КПД печи от влажности ТКО при различных режимах пиролиза.

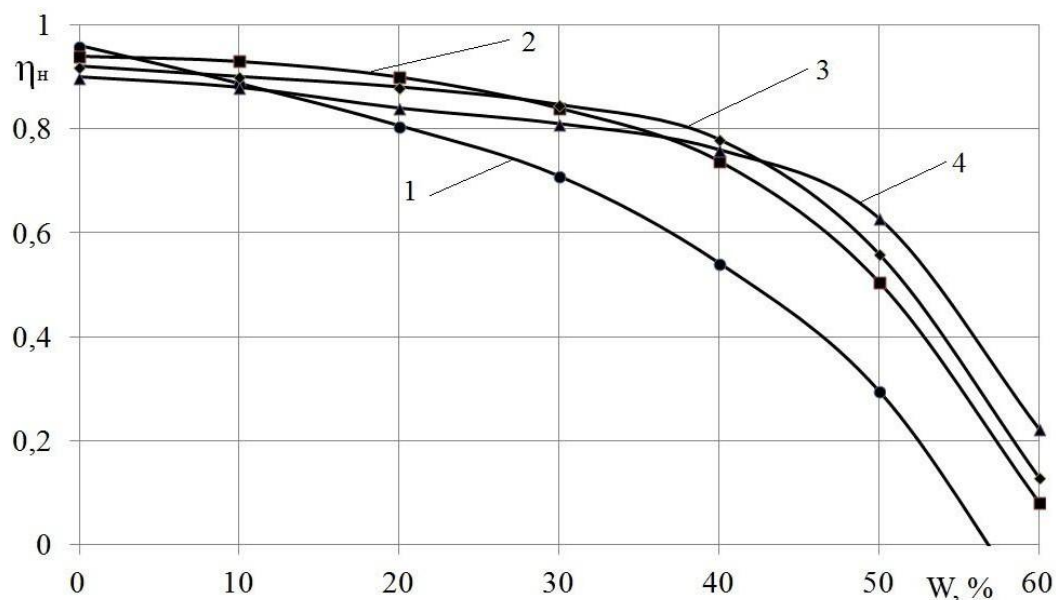


Рисунок 22 – Зависимости КПД от влажности ТКО при различных режимах пиролиза

1 – чистый пиролиз, 2, 3, 4 – окислительный пиролиз с содержанием кислорода в атмосфере 1, 5 и 10% соответственно

Работа печи с максимальным КПД в режиме чистого пиролиза возможна в диапазоне изменения влажности сырья от 0 до 4% [98]. В диапазоне изменения влажности от 4 до 28% эффективен режим окислительного пиролиза с содержанием кислорода в атмосфере 1%. С увеличением влажности от 28 до 43% максимальный КПД имеет место при окислительном пиролизе с содержанием кислорода в атмосфере 5%, а при влажности сырья от 43 до 50% - при окислительном пиролизе с содержанием кислорода в атмосфере 10%. При влажности свыше 50% наблюдается резкое снижение КПД, т.е. работа печи становится не эффективна.

Выводы по главе 2

1. Представлено математическое моделирование процесса сушки ТКО при термической переработке в печах шахтного типа. Для расчета температурного поля слоя органического сырья в зоне сушки реактора предложена математическая модель, согласно которой слой ТКО рассматривается как условное тело с эффективными теплофизическими свойствами. Модель позволяет перейти от реальной пористой структуры к ее приближению.

2. Представлено математическое описание для расчета эффективных значений теплоемкости и плотности ТКО на основе принципа аддитивности по известным свойствам влажности материала и газа, заполняющего поры.

3. В процессе сушки ТКО увеличивается влагосодержание газа и снижается его качество, поэтому предложено повышение качества пиролизного газа достичь отводом из печи части газа в зоне пиролиза, уменьшая количество газа, подвергающегося окислению и увлажнению в зоне сушки и обладающего более низкой теплотворной способностью. Для этого выбрана установка для переработки ТКО, отвечающая указанным требованиям. Для определения режимных и конструктивных параметров реактора выбранной установки и оценки его эффективности выполнен расчет теплового баланса рабочего пространства и термического КПД при различных режимах окислительного пиролиза.

4. Обоснована работа печи с максимальным КПД в режиме чистого пиролиза, которая возможна в диапазоне изменения влажности сырья от 0 до 4%. В диапазоне изменения влажности от 4 до 28% эффективен режим окислительного пиролиза с содержанием кислорода в атмосфере 1%. С увеличением влажности от 28 до 43% максимальный КПД имеет место при окислительном пиролизе с содержанием кислорода в атмосфере 5%, а при влажности сырья от 43 до 50% - при окислительном пиролизе с содержанием кислорода в атмосфере 10%. При влажности свыше 50% наблюдается резкое снижение КПД, т.е. работа печи становится не эффективна.

Заключение

1. Проанализировав количественный и качественный состав ТКО, следует сделать вывод, что в Самарской области ежегодно накапливается до 3000000 тонн бытовых отходов. Доля образования ТКО за последние три года увеличилась с 15% до 24 %. ТКО содержат высококалорийные компоненты (пластмасса, бумага, картон, кожа, резина, текстиль), поэтому обладают высоким ресурсным потенциалом, который необходимо максимально использовать для извлечения максимального количества вторичного сырья и производства альтернативного топлива.

2. Чтобы определить эффективность переработки ТКО, необходимо знать степень его подготовки (влажность сырья, фракционный состав) и параметры технологического процесса (температура, время сгорания ТКО, отсутствие или наличие кислорода в рабочей среде).

3. Для того, чтобы повысить эффективность использования отходов, требуется проводить анализ имеющихся смесей ТКО, а также изучение составных компонентов с использованием окислительного пиролиза.

4. Большое значение имеет низкая влажность сырья, которое используется для производства альтернативного топлива. Необходимо производить сушку отходов при утилизации ТКО, Низкая влажность исходного сырья позволяет получить большую энергетическую эффективность.

5. На основании проведенного анализа методов переработки ТКО, следует вывод, что наиболее экологичными методами являются вторичная переработка, компостирование и сжигание альтернативного топлива.

6. Применение альтернативного топлива взамен ископаемых (уголь, нефть, газ) позволит снизить объемы выбросов CO₂, уменьшит потребность экономики от невозобновляемого источника энергии, а также позволяет снижать поступление ТКО на полигоны.

7. Если рассмотреть применение альтернативного топлива с экономической точки зрения, то это позволит снизить использование ископаемого топлива на 15-20%. Это эквивалентно экономии 100-200 млн. рублей при сохранении качества и объема производимой продукции цементного завода.

8. В поисках эффективной технологии переработки ТКО, с целью получения альтернативного топлива, был проведен патентный поиск. В ходе анализа изучена технология процессов переработки ТКО, найдена наиболее эффективная технология переработки ТКО в альтернативное топливо, которая позволит снизить поступление ТКО на полигоны и экономить не возобновляемые источники энергии.

9. Представлено математическое моделирование процесса сушки ТКО при термической переработке в печах шахтного типа. Для расчета температурного поля слоя органического сырья в зоне сушки реактора предложена математическая модель, согласно которой слой ТКО рассматривается как условное тело с эффективными теплофизическими свойствами. Модель позволяет перейти от реальной пористой структуры к ее приближению.

10. Представлено математическое описание для расчета эффективных значений теплоемкости и плотности ТКО на основе принципа аддитивности по известным свойствам влажности материала и газа, заполняющего поры.

11. В процессе сушки ТКО увеличивается влагосодержание газа и снижается его качество, поэтому предложено повышение качества пиролизного газа достичь отводом из печи части газа в зоне пиролиза, уменьшая количество газа, подвергающегося окислению и увлажнению в зоне сушки и обладающего более низкой теплотворной способностью. Для этого выбрана установка для переработки ТКО, отвечающая указанным требованиям. Для определения режимных и конструктивных параметров реактора выбранной установки и оценки его эффективности выполнен расчет

теплового баланса рабочего пространства и термического КПД при различных режимах окислительного пиролиза.

12. Обоснована работа печи с максимальным КПД в режиме чистого пиролиза возможна в диапазоне изменения влажности сырья от 0 до 4%. В диапазоне изменения влажности от 4 до 28% эффективен режим окислительного пиролиза с содержанием кислорода в атмосфере 1%. С увеличением влажности от 28 до 43% максимальный КПД имеет место при окислительном пиролизе с содержанием кислорода в атмосфере 5%, а при влажности сырья от 43 до 50% - при окислительном пиролизе с содержанием кислорода в атмосфере 10%. При влажности свыше 50% наблюдается резкое снижение КПД, т.е. работа печи становится не эффективна.

Список используемых источников

1. Алексеенко С.В., Басин А.С. Универсальная технология использования твердых бытовых отходов в качестве нетрадиционного топлива // Энергосбережение. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2004. – № 4. – С. 42-44, 46, 48, 50.
2. Байер Г.С. Состав и горючие свойства различных видов твердого альтернативного топлива // Цемент Известь Гипс. Германия: BAUERLAG, 2010. – №3. – С. 12-16.
3. Баранова Ю.Г. Стратегия минимизации отходов в Российской Федерации: перспективные решения в области управления и технической политики //15 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, Минск, 24-29 мая. Минск: Беллит, 1993. – Т. 1. – С. 74-75.
4. Бернадинер И.М., Александрова Е.Ю. Использование отходов как альтернативного топлива в цементной печи // Твердые бытовые отходы. М.: Издательский дом «Отраслевые ведомости», 2017. – №11. – С. 22-25.
5. Богоявленский Р.Г., Рыжов В.А. Мировые тенденции в области современных технологий утилизации твердых промышленных и бытовых отходов // ЭКОС. М.: ИСТИНА, 2000. – Т.1. – № 8-12. – С. 42-51.
6. Бордунов В.В. Вариант комплексной переработки твердых бытовых отходов Текст. // Экология и промышленность России. М.: ЗАО «КАЛВИС», 2004. – № 10. – С. 32-33.
7. Букреев Е.М. Твердые бытовые отходы вторичные ресурсы для промышленности // Экология и промышленность России. М.: ЗАО «КАЛВИС», 1999. – №5. – С. 38-41.
8. Бушихин В. В., Ломтев А. Ю., Александров А. Г., Будко А. Г. Проблемы использования альтернативных топлив различной природы в цементной промышленности. Опыт внедрения // XVI Международный

строительный форум «Цемент, Бетон, Сухие смеси». – 2–3 декабря 2014. М.: Экспоцентр, 2014. – №12. – С.18-20.

9. Бушихин В.В., Ломтев А.Ю., Пахтинов В.М. Альтернативное топливо из твердых бытовых отходов // Твердые Бытовые отходы. М.: Издательский дом «Отраслевые ведомости», 2015. – №4. – С.38-40.

10. Вандраш Я.В. Классификация отходов в Польше и рекомендуемые методы их переработки // М.: Издательство ОНТО, 1999. – № 3. – С.86-88.

11. Васенков О.Г. Социально-экономические проблемы управления образованием и использованием твердых бытовых отходов: Автореф. дисс. канд. экон. наук. М.: Институт микроэкономики, 2003. – 20 с.

12. Ветрова Т.П. Экономические аспекты утилизации твердых бытовых отходов // Вестник МГУ. М.: МГУ, 1998. – № 5. – С. 99–107.

13. Ветрова Т.П. Эффективность утилизации твердых бытовых отходов: Автореф. дисс. канд. экон. наук. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2000. – 22 с.

14. Витковская С. Е. Твердые бытовые отходы антропогенное звено биологического круговорота // Вестник АФИ. СПб.: АФИ, 2011. – С.132

15. Волынкина Е.П. Утилизация, переработка и захоронение бытовых отходов (Принципы и методы комплексного управления твердыми бытовыми отходами): учебное пособие; под ред. В.В. Сенкуса. Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2003. – 117 с.

16. Габитов Р.Н. Исследование процессов нагрева и сушки слоя органо-содержащих отходов в термическом реакторе // Вестник ИГЭУ. Екб.: ИГЭУ, 2014. – №6. – С.17 – 21.

17. Габитов Р.Н. Повышение эффективности термической переработки твердых коммунальных отходов : дис. канд. техн. наук. – М., 2017.

18. Габитов Р.Н. Экспериментальное определение теплофизических характеристик твердых бытовых отходов // Промышленная энергетика. М.: ЗАО «Научно-техническая фирма «Энергопрогресс», 2016. – №7. – С.54 – 58.
19. Гонопольский А.М., Федоров Л.Г. Превентивная защита окружающей среды при промышленной переработке твердых бытовых отходов // Чистый город. Волгоград: ООО «ГК «Чистый город», 2000. – № 1. – С. 10–12.
20. Горинов О.И. Метод определения эффективного коэффициента температуропроводности слоя органосодержащего сырья // Вестник ИГЭУ. Екб.: ИГЭУ, 2013. – №6. – С.16 – 19.
21. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 27 с.
22. ГОСТ Р 54235-2010 Топливо твердое из бытовых отходов. Технические характеристики и классы. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 14 с.
23. ГОСТ Р 54236-2010 Топливо твердое из бытовых отходов. Технические характеристики и классы – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 20 с.
24. Журкович В.В. Методические подходы и опыт разработки и создания технических средств обращения ТКО // Институт проблем региональной экономики РАН. СПб.: РАН, 2002. – 39 с.
25. Ильиных Г.В. Топливо из ТКО в цементных печах // Экология и промышленность России. М.: ЗАО «КАЛВИС», 2011. – С.12-15.
26. Ильиных Г.В. Морфологический состав отходов: основные тенденции изменения // Твердые бытовые отходы. М.: Издательский дом «Отраслевые ведомости», 2011. – №8. – С. 12-16.
27. Ильиных Г.В. Современные методические подходы к анализу морфологического состава ТКО с целью оценки их ресурсного потенциала // Экология и промышленность России. М.: ЗАО «КАЛВИС», 2012. – №7. – С. 25-29.
28. Кайгородов О. Переработка ТБО – сочетание многих технологий // Химический журнал. М.: МГУ, 2015. – № 1-2. – С. 66-72.

29. Калинин В.И. Эффективный способ подавления диоксинов в продуктах сгорания мусоросжигающих заводов // Проблемы отходов производства и потребления. Пути их решения в Красноярске: материалы науч.-практ. конф., 21-22 окт. 1999 г. - Красноярск: Краснояр. гос. техн. ун-т, 1999. - С.42-45.
30. Кушнир К.Я. Технологические процессы и оборудование для обезвреживания вторичных отходов при полигонном захоронении твердых бытовых отходов: автореф. дис. . канд. техн. наук / МГУИЭ. - М., 2010. - 16 с.
31. Ламзина И.В., Желтобрюхов В.Ф., Шайхиев И.Г. Зарубежная практика использования альтернативного топлива из отходов для цементной промышленности // Вестник технологического университета. Казань: КНИТУ, 2015 – №17. – С. 244-248
32. Левин Б.И. О новой концепции экологически чистого сжигания топлива из твердых бытовых отходов на теплоэлектроцентралях // Новости теплоснабжения. М.: РосТепло, 2005 г. – №8. – С. 8-10.
33. Лифшиц А.Б. Современная практика управления твердыми бытовыми отходами // Чистый город. Волгоград: ООО «ГК «Чистый город», 2002. – №1. – С.16-23.
34. Лихачев Ю.М., Селиванова С.В., Глазов И.Г. Анализ и оценка зарубежного опыта обращения с твердыми бытовыми отходами // Комплексная переработка твердых бытовых отходов наиболее передовая технология: сборник трудов. СПб.: СПбГТУ, 2001. – С. 72-88.
35. Лозовецкий В.В. и др. Обеспечение экологической безопасности полигонов для захоронения отходов на базе систем утилизации биогаза // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. М.: ВИНТИ РАН, 2011. – №1. – С.72.
36. Методика исследования свойств твердых отбросов. – М.: Стройиздат, 1970. – 215 с.

37. Научно-производственное предприятие «Экопром» академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова научно-исследовательский институт экологии человека. М.: Стройиздат, 1970 г. – 218 с.

38. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон Российской Федерации от 24 июня 1998 года, №89-ФЗ: принят Гос. Думой Российской Федерации 22 мая 1998 г.: одобр. Советом Федерации 10 июня 1998г.

39. Охлопкин Ю. А. Отходы как альтернативный источник топлива в цементной промышленности // Энергия: экономика, техника, экология. М.: ОИВТ РАН, 2008. – № 8. – С. 23 – 25.

40. ПНД Ф 16.3.55-08 (ФР.1.28.2015.19223) Количественный анализ почв и отходов. Методика определения морфологического состава твердых отходов производства и потребления гравиметрическим методом. М.: Изд-во стандартов, 2014. – 119 с.

41. Постановление Правительства Самарской области от 06.08.2009 № 372. «Совершенствование системы обращения с отходами производства и потребления и формирование кластера использования вторичных ресурсов на территории Самарской области» на 2010-2012 годы и на период до 2020 года»

42. Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 664 от 22.08.2016г.// Национальный правовой Интернет- портал Республики Беларусь, 26.08.2016, 5/42518.

43. Примеры использования отходов в качестве альтернативного топлива для цементных печей. Опыт Чешской республики, 2013. [Электронный ресурс]. URL: http://air-qgov.baes.by/userfiles/file/air_q_RU/info/alternativa_format140114.pdf (дата обращения 12.01.2019)

44. Производство альтернативного топлива из ТКО для цементной промышленности // Рециклинг отходов, [Электронный ресурс]. – URL:

http://www.wasterecycling.ru/archive_journal/4_34_/oborudovanie/1.jdx;jsessionid=EC3EBCF219BF2B298DB8B4D1806A4982 (доступ свободный).

45. Российская Федерация. Постановления правительства. О правилах разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение № 461: пост. правит.: [утвержден пост. правит. 16 июня 2000 г.]. // Российская Газета. М.: Российская Газета, 2007 г. – №6. – С. 3-7.

46. Свергузова С.В., Гаврилова О.В. Способ утилизации твердых бытовых отходов // Наука производству. М.: Вирсте, 2001. – № 3(41). – С. 44-46.

47. Сергеева В.Г. Пути эффективного использования инновационных технологий переработки твердых отходов. СПб.: Издательство СПбГУ, 2003. – 44 с.

48. Систер В.Г. Твердые бытовые отходы. М.: Акад. коммунал. хоз-ва им. К.Д. Памфилова, 2001. – 319 с.

49. Терещенко П.В. Утилизация твердых бытовых отходов // Доклады МСХА. Выпуск 275. М.: Издательство МСХА, 2003. – С. 574-576.

50. Технологические линии для производства альтернативного топлива RDF. [Электронный ресурс]. URL: http://www.stanko-agregat.ru/Products/article_4/ (дата обращения 29.12.2018).

51. Тихонова И.О. Определение усредненного морфологического и фракционного состава твердых коммунальных отходов, образующихся в жилом секторе г. Москвы: научно-технический отчет / АКХ им. К.Д. Памфилова. М.: АКХ, 2016. – 29 с.

52. Федоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспектива: Монография. М: Наука, 1993. – С. 266.

53. Belousov V., Koshlich Yu. A., Bystrova A.B. Perspectives of application of the modern statistical determined forecasting methods in energy consumption monitoring systems Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, No 4, pp. 192-196, 2012. (in Russian)

54.Chen D., Yin L., Wang H., Pyrolysis P. He, technologies for municipal solid waste: A review, *Waste Management*, Vol. 34, Issue 12, pp. 2466-2486, December 2014. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.01.022

55.Dorn Th., Flamme S., Nelles M. A review of energy recovery from waste in China// *Waste Management & Research*. 2012. V. 30 (4). P. 432–441.

56.Glagolev S. N., Sevostyanov V. S., Gridchin A. M., Uralskiy V. I., Sevostyanov M. V. and Iadykina V. V., Resource-energy saving modules for complex utilization of technogenic materials, *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, No 6, pp. 102-106, 2013. (in Russian).

57.Glagolev S. N., Sevostyanov V. S., Sverguzova S. V., Shaiyhiev I. G., Uralskiy V. I., Sevostyanov M. V., Fetisov D. D. and Shinkarev L. I., Technology complexes and equipment for processing of technogenic materials, *Bulletin of KTU*, No 10 (15), pp. 198-200, 2012. (in Russian).

58.Kornilova N.V., Trubaev P.A., The determination of harmful emissions of a hot-water boiler for the incineration of solid wastes of various types, *International Scientific Research Journal*, No 10 (52), Part 2, pp. 123–126, 2016. DOI 10.18454/IRJ.2016.52.191. (in Russian).

59.Massarini P., Muraro P. RDF: from waste to resource – the Italian case // *Energy Procedia*. 2015. No. 81.P. 569–584.

60.Nasrullah M., Vainikka P., Hannula J., Hurme M., Kärki J. Mass, energy and material balances of SRF production process. Part 3: Solid recovered fuel produced from municipal solid waste// *Waste Management & Research*.2015. V. 33 (2). P. 146–156.

61.Ozbay I., Durmusoglu E. Energy content of municipal solid waste bales// *Waste Management & Research*. 2013. V. 31 (7). P. 674–683.

62.Resource Recovery to Approach Zero Municipal Waste, ed. Mohammad J. Taherzadeh, Tobias Richard, Boca Raton: CRC Press, 2016.

63.Sergeev S. K., Potapenko A. N., Belousov A. V., Potapenko E. A., Mathematical models of management of processes of heat supply of buildings for

automated control systems, Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, No 1, pp. 113-117, 2007. (in Russian).

64. Zhou Zh., Tang Yu., Chi Y., Ni M., Buekens A. Waste-to-energy: A review of life cycle assessment and its extension methods // Waste Management & Research. 2018. V. 36 (1). P. 3–16.

Приложение А

Таблица А.1– Анализ методов переработки ТКО

Методы	Достоинства	Недостатки	Количественный анализ	Качественный анализ
1	2	3	4	5
1.Захоронение				
	Наиболее экономичный способ обращения с отходами с позиции нормативно-правовой базы природоохранного законодательства.	1.Образовывание свалочного газа. 2.Образование фильтрата вызывает брюшной тиф, дизентерию, холеру, туберкулез и др. 3. Крысы, насекомые, бездомные животные, живущие на свалке, являются причиной разноса болезнетворных бактерий. 4. Отчуждение земель - сокращение площадей, используемых в сельскохозяйственных нуждах, и т.д.	100% (ТКО)	Отсутствие отходов 1-3 класса, ртути, фракционный состав до 500 мм.
2.Термическая переработка ТКО				
Сжигание	1.Уменьшение веса отходов (в 3 раза) 2.Устранение некоторых свойства:	1. Проблемы при очистки выходящих в атмосферу газов от вредных примесей: диоксинов, фуранов, фосгена, цианида и оксидов азота). 2.Накопление токсичных металлов из дыма мусоросжигательных заводов.	40% (токсичная зола)	Отсутствие ПВХ, опасных веществ, фракционный состав до 500 мм. Энергетический состав 11 МДж/кг.

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5
	<p>запах, выделение токсичных жидкостей, бактерий;</p> <p>3.Возможность получения дополнительной энергии, которую можно использовать для получения электричества и отопления.</p>	<p>3.Наряду с дымовыми газами образуется два вида отходов: шлак и зола.</p> <p>4.МСЗ требует огромных финансовых вложений и является долгосрочным по окупаемости предприятием.</p>		
<p>Пиролиз низкотемпературный</p>	<p>Для отсортированных отходов.</p> <p>1. Получение пиролизных масел, газа.</p> <p>2.Выделяется минимальное количество вредных веществ.</p>	<p>1.Высокая стоимость.</p> <p>2.Не происходит полный распад диоксинов, содержащихся в сырье.</p> <p>3.Тяжелые металлы не плавятся, а выпадают в осадок вместе со шлаком.</p>		<p>Отсутствие ПВХ, опасных веществ, фракционный состав до 500 мм.</p> <p>Энергетический состав 11 МДж/кг.</p>

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5
	3. Перерабатывают почти все виды бытовых отходов.			
Пиролиз высокотемпературный	Не требуется сортировать отходы. 1. Использование в промышленных и строительных целях. 2. Экологически безопасен. 3. Получение чистых пиролизных масел	1. Высокая стоимость установки. 2. Энергозатратен.		Отсутствие ПВХ, опасных веществ, фракционный состав до 500 мм. Энергетический состав 11 МДж/кг.
Газификация	1. Получение электроэнергии и тепла. 2. Возможность переработки медицинских и промышленных отходов. 3. Экологичность.	1. Высокая стоимость. 2. Необходимость предварительной сортировки ТКО. 3. Высокие затраты энергии и износ оборудования.		Отсутствие ПВХ, опасных веществ, фракционный состав до 500 мм. Энергетический состав 11 МДж/кг.

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5
3. Компостирование				
	Вторичное использование.	1.Компост, образуемый сбраживанием в био-реакторах, опасный продукт и приводит к загрязнению плодородных земель органическими загрязнителями. 2. Выделение парниковых газов.	70% (ТКО с низким содержанием органики).	Отсутствие ПВХ, опасных веществ, фракционный состав до 500 мм. Энергетический состав 11 МДж/кг
4.Вторичная переработка				
	1.Значительно снижает объемы поступления отходов на полигоны и МСЗ. 2.Экономит не возобновляемые ресурсы.	Загрязнение водной и воздушной среды в процессе переработке.	80% (ТКО с высоким содержанием органики).	Отсутствие полимеров, стекла, тяжелых металлов и др. загрязнителей, фракционный состав менее 50 мм. Наличие ВМР, фракционный состав от 50 мм.
5.Получение альтернативного топлива				
	1. Частичная замена ископаемого топлива (угля, нефти, газа). 2.Снижение выбросов CO ₂ в атмосферу.	Загрязнение воздуха токсинами диоксинами, фуранами т.д. ниже ПДК.	50% (ТКО с высоким содержанием органики).	Отсутствие ПВХ, фракционный состав менее 50 мм Энергетический состав 16 Мдж/кг.

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5
	3.Позволяет снижать поступление ТКО на полигоны.			

Приложение Б

Таблица Б.1 – Анализ патентов по переработке ТКО с получением альтернативного топлива

Патент	Краткое описание	Недостатки
1	2	3
RUN№2118256, B29B17/00; B29B7/42; B29C47/00, B29C47/76, 1998;	способ изготовления из ТКО топлива для цементных печей путем измельчения его и вдувания в печи	отсутствие термической обработки ТКО при температурах 170-190°C и наличие в этом топливе патогенных и болезнетворных микроорганизмов и других биологических вредностей, а также высокие энергетические затраты на мелкофракционное измельчение
RUN№2397829, B09B 3/00 2010	способы изготовления из ТКО топлива для цементных печей путем сушки, термической обработкой при температурах до 230°C, брикетирования его либо измельчения до пылевидной фракции вдувания в печи	возможность, при увлажнении ТКО, возникновения очагов гниения и самопроизвольного самовозгорания
RUN№ 2405027, C10L 5/48; C10L 5/46; 2010	способ производства твердого топлива, изготовленного из ТКО: сортировка отходов размерам меньше 150мм; на втором этапе - в шнековой дробилке осуществляют первичную обработку ТКО отходов для уменьшения их габаритных размеров менее 150мм, 3 этап - осуществляют вторичную обработку ТКО, в процессе которого отходы попадают в горизонтальную	способ энергоемок, так как для брикетирования требуются высокие давления и температуры, при увлажнении будет происходить гидратация известии возможное разрушение брикетов, конечного продукта

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
	установку разбивания для уменьшения их объема; 4 этап- добавляют известь, осуществляют формовку и сушку круглых брикетов при высоком давлении и температуре. Конечный продукт- диаметром 15-30мм, длиной 30-150мм, калорийностью свыше 6000ккал/кг и температурой горения свыше 1100°С	
RU 2537199 МПК7: C2 F23G 5/02	способ переработки отходов включает сортировку и переработку отходов. Сортировку проводят по крупности и составу	в ходе переработки попутно образуется низкокалорийное альтернативное топливо, не представляющее экономическую выгоду
RU 135643 МПК7: C10D5/46	применение технологии вибрационной сепарации отходов, позволяющей разделить морфологические компоненты ТКО по упругости - признаку, противопоставляющему сухие калорийные фракции и влажные низкокалорийные и негорючие фракции	технология энергоемка и не позволяет получить альтернативное топливо должного качества
RU(11) 2 479 622(13) C1 МПК: C 1 0 L 5/4 6	в ходе сортировки исходных ТКО, вначале отсеивают такие негорючие фракции, как элементы питания, камни, осколки стекла и фаянса, затем извлекают вторичные	-

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>C 1 0 L 5/0 8 B 0 9 B 3/0 0</p>	<p>материалы, в том числе черные и цветные металлы. Оставшуюся массу предварительно измельчают до фракции 50-100 мм, сушат до влажности 5-10% и затем измельчают до фракции 8-10 мм. Измельченное сырье подогревают до 160-200°C и подвергают термопластической экструзии с получением топливных гранул. «Способ позволяет повысить физико-механическую прочность топлива» RDF, «исключить водопоглощение за счет капсулирования гранул в процессе их изготовления, предотвратить возможность гниения и самовозгорания, снизить затраты при хранении и транспортировке, снизить энергоемкость его производства, улучшить экологическую обстановку, в том числе уменьшить объем вывозимых на полигоны ТКО, исключить капитальные затраты на строительство установок по уничтожению отходов в связи с использованием оборудования действующих» цементных производств</p>	

Таблица Б.2 – Анализ патентов по переработке ТКО с получением RDF топлива

Предмет поиска	Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификационный индекс	Заявитель, (патентообладатель) страна, номер заявки. дата приоритета, конвенционный приоритет, дата публикации	Название изобретения, полезной модели	Краткое описание процесса.
1	2	3	4	5
Способы переработки твердых коммунальных отходов для получения альтернативного топлива	RU(11) 2 479 622(13) С1 МПК: С 1 0 L 5/4 6 С 1 0 L 5/0 8 В 0 9 В 3/0 0	Опубликовано:20.04.2013 Бюл.№11 (Автор(ы): Конев Виктор Александрович(RU), Бондаренко Антонина Викторовна(RU), Конев Михаил Викторович(RU), Коршиков Владимир Дмитриевич(RU), Чмырев Игорь Николаевич(RU), Антипов Владимир Николаевич(RU),	Способы «переработки твердых бытовых отходов в топливо для печей высокотемпературного синтеза цементного клинкера»	В ходе сортировки исходных ТКО, вначале отсеивают такие негорючие фракции, как элементы питания, камни, осколки стекла и фаянса, затем извлекают вторичные материалы, в том числе черные и цветные металлы. Оставшуюся массу предварительно измельчают до фракции 50-100 мм, сушат до влажности 5-10% и затем измельчают до фракции 8-10 мм. Измельченное сырье подогревают до 160-200°С и подвергают термопластической экструзии с получением топливных гранул. Способ «позволяет повысить физико-механическую прочность топлива RDF, исключить водопоглощение за счет капсулирования гранул в процессе их изготовления, предотвратить»

Продолжение таблицы Б.2

1	2	3	4	5
		<p>Кривцов Алексей Юрьевич(RU), Дегтярев Владимир Николаевич(RU) (73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Липецкий государственный технический университет» (ЛГТУ) (RU)</p>		<p>«возможность гниения и самовозгорания, снизить затраты при хранении и транспортировке, снизить энергоемкость его производства, улучшить экологическую обстановку, в том числе уменьшить объем вывозимых на полигоны ТКО, исключить капитальные затраты на строительство установок по уничтожению отходов в связи с использованием оборудования действующих» цементных производств.</p>
	<p>RU 2405027 МПК: C10L</p>	<p>Опубликовано:27 Ноября, 2010 Автор(ы):Гумбург Нина Вячеславовна (RU),</p>	<p>Способ производства твердого топлива, изготовленного из</p>	<p>Техническая задача метода – «упрощение технологии производства твердого топлива из промышленных и бытовых отходов». «На первом этапе осуществляют сортировку промышленных и бытовых отходов на</p>

Продолжение таблицы Б.2

1	2	3	4	5
		<p>Ежевский Александр Викторович (RU), Ежевский Виктор Александрович (RU), Мжаванадзе Александр Васильевич (RU), Патентообладатель(и): Подсевалов Вадим Михайлович (RU), Подсевалов Вадим Вадимович (RU), Хренов Павел Евгеньевич</p>	<p>промышленных и бытовых отходов</p>	<p>три группы.» «На втором этапе отходы второй группы помещают в шнековую дробилку для уменьшения их габаритных размеров менее 150 мм. На третьем этапе отходы второй и третьей группы подают в горизонтальную установку разбивания для уменьшения их объема. На четвертом этапе в полученные в горизонтальной установке разбивания отходы добавляют известь. Затем осуществляют формовку круглых брикетов при высоких давлении и температуре и их сушку с образованием конечного продукта диаметром 15-30 мм, длиной 30-150 мм, калорийностью свыше 6000 ккал/кг» и температурой горения свыше 1100 град/С.</p>
	<p>RU 135643 МПК7: C10D5/46</p>	<p>Владельцы патента: Научно-производственная корпорация «Механобртехника» (ЗАО) (RU) Авторы патента:</p>	<p>Линия получения твердого топлива из твердых коммунальных отходов, предназначенного для производства строительных вяжущих</p>	<p>Применение эффективной технологии вибрационной сепарации отходов, позволяющая разделить морфологические компоненты ТКО по упругости - признаку, противопоставляющему сухие калорийные фракции и влажные низкокалорийные и негорючие фракции.</p>

Продолжение таблицы Б.2

1	2	3	4	5
		<p>Михайлова надежда Викторовна Феоктистов Андрей Юрьевич</p>	<p>материалов.</p>	<p>Метод позволяет избежать загрязнения ценных компонентов и наиболее полно использовать различия в свойствах составных компонентов ТКО.</p>
	<p>RU 2537199 МПК7: С2 F23G 5/02</p>	<p>Авторы патента: Панченко Владимир Юрьевич Патентообладатель(и): ООО «Георгиевская инновационная компания»</p>	<p>Способ переработки твердых коммунальных отходов растительного содержания.</p>	<p>«Способ переработки отходов растительного содержания включает сбор отходов и их транспортировку на площадку для переработки твердых бытовых отходов, сортировку и переработку» отходов. Сортировку проводят по крупности и составу: на крупные бытовые древесные отходы, мелкие древесные на измельчение. Изобретение позволяет повысить эффективность технологических операций переработки ТКО, а также качественные характеристики получаемой щепы, снизить затраты на уборку стихийных свалок, получить альтернативное топливо из ТКО, снизить экологическую напряженность в районе, обеспечить высокую экологию производства, исключить выбросы парниковых газов при утилизации на полигоне.</p>

Продолжение таблицы Б.2

1	2	3	4	5
	<p>RU 2164446 МПК: B03B9/06</p>	<p>Патентообладатель(и): ООО «Компания «Спецкоммунтехника»</p>	<p>Способ переработки твердых бытовых отходов</p>	<p>Переработка твердых бытовых отходов с целью извлечения из них ценных компонентов, снижения расходов на удаление ТКО. Технический результат - повышение эффективности технологических операций переработки ТКО. Сущность изобретения заключается в том, что ТКО направляются на сортировку с последующим их уплотнением методом прессования.</p>
	<p>RU 2079051 МПК: F23G</p>	<p>Опубликовано: 10 Мая, 1997 Автор(ы): Манелис Г.Б., Полианчик Е.В., Фурсов В.П., Червонный А.Д., Альков Н.Г., Рафеев В.А., Черемисин В.В., Юданов А.А., Червонная Н.А. «Патентообладатель(и): Институт химической физики в Черноголовке</p>	<p>Способ переработки твердых бытовых отходов</p>	<p>Твердые бытовые отходы, содержащие горючие компоненты, загружают в вертикальную шахтную печь (реактор), в которую противотоком к ТКО подают газифицирующий агент, содержащий кислород. В реакторе организуют режим пиролиза ТКО с последующим сжиганием/газификацией углеродистых остатков пиролиза. Проводят оптимизацию режима переработки ТКО путем регулирования расхода газифицирующего агента и соотношения содержания в ТКО негорючих и горючих составляющих и содержания кислорода в газифицирующем агенте, а также возможно и путем</p>

Продолжение таблицы Б.2

1	2	3	4	5
		РАН		<p>введения твердого негорючего материала или» «твердого топлива в состав перерабатываемых ТКО. При этом температуру горения поддерживают в пределах 700 - 1400оС и одновременно температуру газов на выходе из реактора - ниже 400оС. Неконденсируемые газы, имеющие высокую теплотворную способность, могут быть использованы как топливо.»</p>

Приложение В

Цементные заводы на территории Российской Федерации

На рисунке В.1 и в таблице В.1 представлены данные по цементным заводам на территории Российской Федерации.

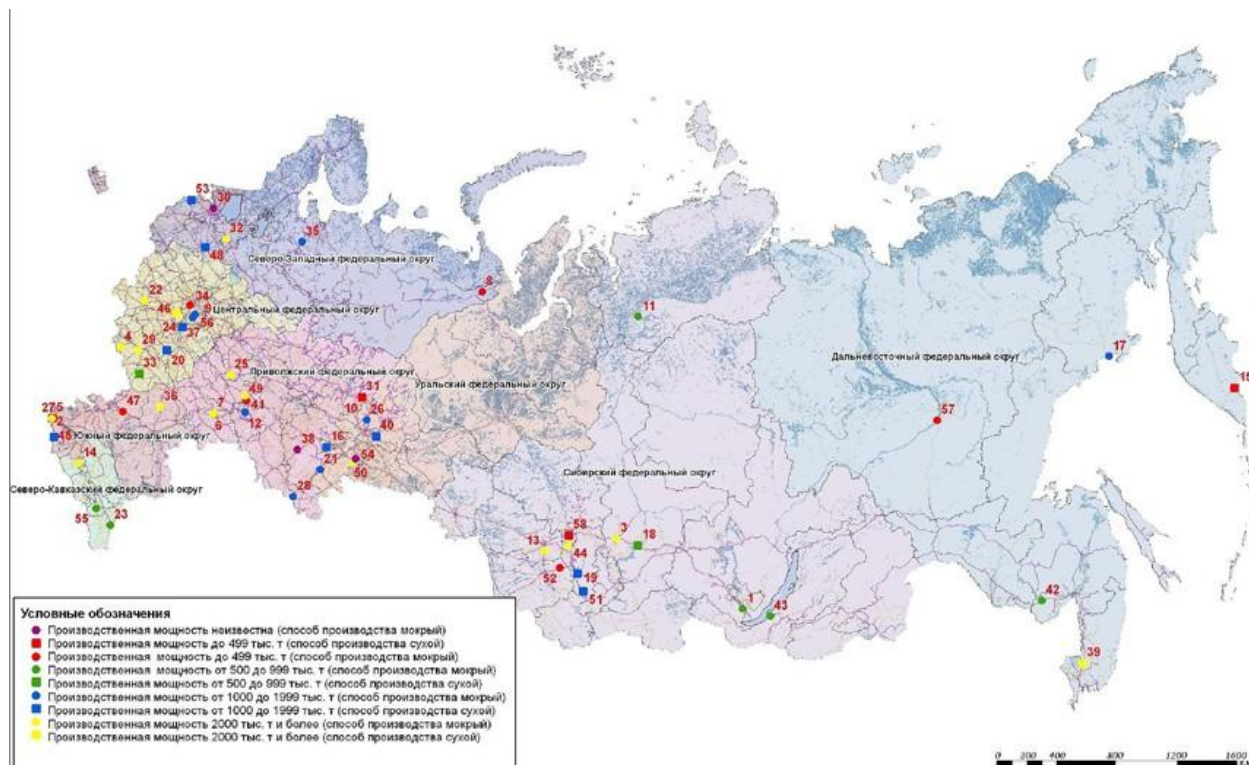


Рисунок В.1 – Расположение заводов по производству цемента в Российской Федерации

Таблица В.1 – Список цементных заводов на территории РФ

Номер на карте	Название цементного завода
1	2
1	ОАО «Ангарский цементно-горный комбинат»
2	ООО «Атакайцемент»
3	ООО «Ачинский цемент»
4	ЗАО «Белгородский цемент»
5	ОАО «Верхнебаканский цементный завод»

Продолжение таблицы В.1

1	2
6	ЗАО «ВолгаЦемент»
7	ОАО «Вольскцемент»
8	ООО «Воркутинский цементный завод»
9	ОАО «Воскресенский цементный завод»
10	ОАО «Горнозаводскцемент»
11	ОАО «Горно-металлургическая компания Норильский никель»
12	ЗАО «Жигулёвские стройматериалы»
13	ОАО «Искитимцемент»
14	ЗАО «Кавказцемент»
15	ОАО «Камчатцемент»
16	ЗАО «Катавский цемент»
17	ОАО «Колымацемент»
18	ООО «Красноярский цемент»
19	ООО «Кузнецкий цементный завод»
20	ЗАО «Липецкий цементный завод»
21	ОАО «Магнитогорский цементно-огнеупорный завод»
22	ЗАО «Мальцовский портландцемент»
23	ОАО «Махачкалинский цементно-помольный производственный комбинат»
24	ЗАО «Михайловский цементный завод»
25	ОАО «Мордовцемент» (Староалексеевский и Алексеевский цемзаводы)
26	ЗАО «Невьянский цементник»
27	ОАО «Новоросцемент»
28	ОАО «Новотроицкий цементный завод»
29	ЗАО «Осколцемент»
30	ОАО «Опытный цементный завод»

Продолжение таблицы В.1

1	2
31	ОАО «Пашийский цементно-металлургический завод»
32	ЗАО «Пикалевский цемент»
33	ЗАО «Подгоренский цементник»
34	ОАО «Подольский цементный завод»
35	ЗАО «Савинский цементный завод»
36	ОАО «Себряковцемент»
37	ООО «Серебрянский цементный завод»
38	ОАО «Сода»
39	ОАО «Спасскцемент»
40	ОАО «Сухоложскцемент»
41	ГП «Сенгилеевский цемент»
42	ОАО «Теплозерский цементный завод»
43	ООО «Тимлюйский цементный завод»
44	ООО «Топкинский цемент»
45	ООО «Туапсинский цементный завод»
46	ООО «Тулацемент»
47	ЗАО «Углегорск-цемент»
48	ООО «Угловский цементный завод»
49	ОАО «Ульяновскцемент»
50	ОАО «Уралцемент»
51	ООО «Учуленский цементный завод»
52	ОАО «Цемент»
53	ОАО «Цесла» (Сланцевский цементный завод)
54	ОАО «Челябинский цементный завод»
55	ОАО «Щуровский цемент»
56	ОАО «Якутцемент»
57	ОАО «Яшкинский завод строительных материалов»

Приложение Г

Способ переработки твердых бытовых отходов в топливо для печей высокотемпературного синтеза цементного клинкера

Технический результат заключается в повышении физико-механической прочности топлива RDF, исключении водопоглощения за счет капсулирования гранул в процессе их изготовления, предотвращении возможностей гниения и самовозгорания, снижении затрат при хранении и транспортировке, снижении энергоемкости его производства, улучшении экологической обстановки, в том числе уменьшение объема вывозимых на полигоны твердых бытовых отходов, исключении капитальных затрат на строительство установок по уничтожению отходов в связи с использованием оборудования действующих цементных производств.

Сущность изобретения заключается в том, что в способе переработки твердых бытовых отходов в топливо для печей высокотемпературного синтеза цементного клинкера, включающего сортировку исходных ТКО с удалением различных фракций, измельчение оставшейся массы, получение конечного продукта и последующее его сжигание, особенность состоит в том, что вначале отсеивают такие негорючие фракции, как элементы питания, камни, осколки стекла и фаянса, затем извлекают вторичные материалы, в том числе черные и цветные металлы, а оставшуюся массу предварительно измельчают до фракции 50-100 мм, сушат до влажности 5-10%, и затем измельчают до фракции 8-10 мм, после чего измельченное сырье подогревают до 160-200°C и подвергают термопластической экструзии с получением топливных гранул, которые по выходу из экструдера охлаждают и отправляют в качестве топлива на цементные заводы для последующего сжигания в печах высокотемпературного синтеза цементного клинкера.

Совокупность указанных существенных признаков позволяет получить указанный технический результат.

Согласно проведенным авторами исследований морфологического и компонентного состава «хвостов» ТКО, они содержат незначительное количество пищевых отходов, но при этом полимерные фракции составляют около 35% от сухой массы ТКО. Данное обстоятельство позволяет предположить, что присутствующие полимерные фракции могут быть использованы в качестве связующего для брикетирования. При этом их высокая теплота сгорания обеспечит приемлемый энергопотенциал топливных брикетов.

Лабораторный процесс получения брикетов (рис. Г.1) из модельных ТКО показал, что углеродсодержащий твердый остаток пропитывался расплавленными полимерами и при последующем прессовании это обеспечивало высокую твердость брикетов, практически однородную структуру распила брикета, низкую влагоемкость. Выход брикетов составил 43% от рабочей массы ТКО.

Данное брикетированное топливо может использоваться для дальнейшего пиролиза, что предотвратит необходимость складирования необработанных ТКО вблизи цементных заводов, не усложнит антропогенную нагрузку на район расположения предприятий и позволит избежать опасности самовозгорания.

Подогрев массы сырья перед экструзией и в процессе экструзии приводит к тому, что полимерная составляющая «хвостов» ТКО расплавляется, пропитывает весь объем перерабатываемого материала и таким образом капсулирует органическую составляющую, присутствующую в нем. Предварительный подогрев в определенном интервале температур необходим для равномерного прогрева материала, что не достигается просто при обычной экструзии, т.к. исследования показали низкую теплопроводность ТКО. Т.к. в «хвостах» ТКО присутствуют полиэтилен и полипропилен, температура плавления которых различна, то ниже температуры 160 С не происходит расплавления полиэтилена, а выше температуры 200°С происходит его газификация.

Измельчение отходов обеспечивает более качественную их подготовку для капсулирования. Также измельчение облегчает транспортирование и манипулирование отходами в ходе процесса переработки.

Высушивание массы сырья позволяет уменьшить удельный вес и повысить теплотворную способность конечного продукта. Увеличение влагосодержания до уровня более 10% увеличивает энергозатраты и расход топлива.

Капсулирование обеспечивает топливу высокую физико-механическую прочность, исключает водопоглощение, что позволяет снизить затраты на его хранение, погрузку, разгрузку и транспорт. Снижение энергоемкости и увеличение прочности топлива обеспечивает возможность его хранения под открытым небом. Низкое влагонасыщение и возможность хранения на открытых складах расширяют функциональные возможности использования топлива и снижают затраты на его хранение.

Цементные предприятия располагают современным мощным технологическим оборудованием. Сжигание в цементных печах топливосодержащих отходов позволяет существенно уменьшить потребление дорогостоящего топлива (газ, мазут, уголь) и снизить затраты на производство цемента.

После доставки твердых бытовых отходов на площадки накопители мусоросортировочных станций (заводов) из них предварительно извлекаются крупногабаритные отходы с дальнейшим измельчением их в дробилках. Разрушаются (разрезаются, разрываются) полиэтиленовые пакеты с ТКО, выполняется грохочение ТКО на барабанных либо других сепараторах, грохотах с отсеиванием из них элементов питания, камней, осколков стекла, фаянса, песка и прочих мелкофракционных отходов. Сортировка ТКО осуществляется с максимальным извлечением из них вторичных материалов, в том числе черных и цветных металлов. Магнитной сепарацией извлекают черные металлы, цветные металлы - с помощью переменного магнитного поля или методом дробления с последующей пневмовибросепарацией.

Увеличение извлечения металлических фракций приводит к уменьшению токсичности остатка.

Оставшаяся масса отходов ТКО - «хвосты» (в данном случае - сырье) сбрасываются на конвейер 1 и подаются им на предварительное измельчение до фракции 50-100 мм в дробилку 2 типа шредер необходимой производительности. После дробилки 2 измельченное сырье поступает на сушилку 3 для удаления из него влаги до 5-10%. Сушка производится в сушилках, исключая контакт материала, «хвостов» ТКО, с греющим агентом, дымовыми газами. При этом температура сушки должна быть ниже 140°C. Данный способ нагрева необходим для предотвращения выбросов в атмосферу токсикантов и болезнетворных микроорганизмов, присутствующих в ТКО, с дымовыми газами, что особенно актуально для противоточной схемы сушки. Сушка требуется только при влажности «хвостов» ТКО более 15%.

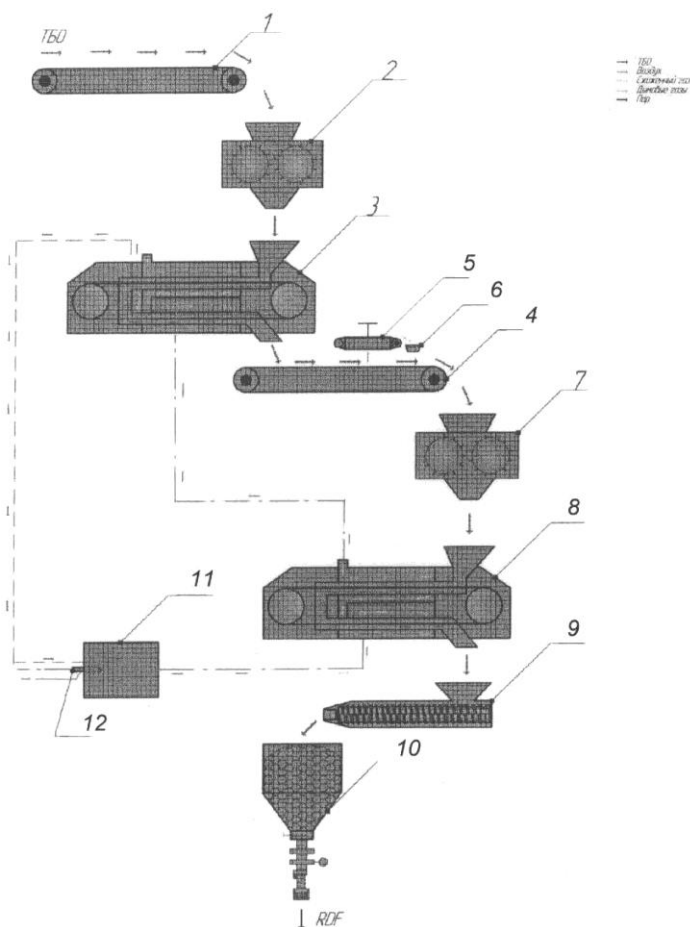


Рисунок Г.1 – Технологическая схема установки

Далее сырье по конвейеру 4, оснащенный магнитным сепаратором 5 для извлечения, возможно, оставшихся черных металлов и контейнером 6 для металлических отходов подается в ножевую, молотковую, либо шредерную дробилку 7 для окончательного измельчения до фракции 8,0-10,0 мм. Измельчение до более мелких фракций предпочтительней, но экономически нецелесообразно. После измельчения сырье поступает в подогреватель 8 сырья, конструкция которого может быть аналогична конструкции сушилки 3, где подогревается до температуры 160-200°C. Подогретое сырье поступает в пресс-гранулятор 9 шнекового, либо другого типа, где из него методом термопластической экструзии получают топливные гранулы, которые по выходу из экструдера охлаждаются, загружаются, например, в Биг-Бэги, или другую тару, или насыпью и отправляются на цементные заводы для последующего сжигания в печах высокотемпературного синтеза цементного клинкера путем загрузки полученных гранул в обжиговую печь.

Преимущества предлагаемого способа заключаются в том, что при нагреве ТКО до температуры 160-200°C погибают все болезнетворные и патогенные микроорганизмы, полимеры размягчаются и плавятся, обволакивая измельченные ТКО, связывая и капсулируя их, а гранулы удобны для перевозки, например, загруженные в Биг-Беки. У них отсутствует водопоглощение, они не гниют и не самовозгораются.