

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.04.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки)

Экобиотехнология

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Исследование свойств связующих веществ для получения топливных брикетов из ТКО

Студент

А.А. Петров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.п.н., доцент, М.В. Кравцова

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

Тольятти 2021

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Литературный обзор.....	7
1.1 Анализ существующих мусоросортировочных комплексов и объемов образования вторичных материальных ресурсов	7
1.2 Свойства топливных брикетов	13
1.3 Литературный обзор в области исследования свойств связующих веществ в топливных брикетах.....	21
1.4 Анализ технологий получения топливных брикетов из ТКО	36
Глава 2 Исследование свойств связующих веществ для получения топливных брикетов из ТКО.....	40
2.1 Экспериментальный анализ характеристик топливных брикетов из ТКО.....	40
2.2 Разработка математической модели зависимости свойств связующих веществ на качество полученных топливных брикетов	47
Глава 3 Оптимизация технологии получения топливных брикетов из ТКО..	51
3.1 Технологический процесс сортировки ТКО на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье»	51
3.2 Оптимизация технологии получения топливных брикетов из ТКО.....	53
3.3 Расчет материального и теплового балансов процесса брикетирования ТКО.....	65
3.4 Расчет экономической эффективности предлагаемой технологии .	73
Заключение	84
Список используемой литературы	86

Введение

Актуальность и научная значимость исследования

На сегодняшний день в России формируется политика развития экотехнопарков, на территории которых предусмотрен рецикл всех поступающих отходов.

Важным вопросом для всех экономически развитых стран является поиск новых источников получения энергии, а также пути ресурсосбережения. Переработка образующихся отходов в топливо позволяет экономить сырьевые и энергетические ресурсы, а также снизить загрязнение окружающей среды.

Во многих странах проводятся исследования в области получения высококачественного топлива, которое будет возобновляемым и иметь низкую себестоимость. Разработка технологий переработки образующихся отходов необходимо проводить с учетом комплексного использования сырья и его экологической безопасности. На сегодняшний день таким требованием удовлетворяет биотопливо, которое получается за счет переработки поступающих отходов.

Для получения биотоплива применяют технологию брикетирования с предварительной сортировкой и измельчением поступающих на мусоросортировочные комплексы отходов.

Топливные брикеты представляют собой спрессованные отходы с определенным компонентным составом. Преимуществами использования топливных брикетов являются такие аспекты, как большая объемная плотность энергии, высокая теплопроводность, постоянство теплоты сгорания на протяжении всего времени горения, уменьшение негативного воздействия на окружающую среду по сравнению с твердыми ископаемыми топливами.

Наиболее распространены топливные брикеты, изготовленные из отходов деревообработки и сельского хозяйства, но это не позволяет решить проблему накопления отходов, которые образуются в условиях города (ТКО). Необходимо разработать состав топливных брикетов и технологию их

изготовления, которые позволят получать брикеты с высокой теплотворной способностью и снизить экологическую нагрузку за счет введения в их состав ТКО.

Объект исследования: топливные брикеты, полученные из твердых коммунальных отходов.

Предмет исследования: свойства связующих веществ для получения топливных брикетов из ТКО.

Цель исследования: повышение эффективности использования топливных брикетов из ТКО при улучшении свойств их связующих веществ.

Гипотеза исследования повышение теплотворной способности топливных брикетов при использовании в их составе ТКО.

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

1. Провести анализ существующих мусоросортировочных комплексов и объемов образования вторичных материальных ресурсов для получения топливных брикетов.
2. Провести анализ существующих технологий получения топливных брикетов из ТКО и определить возможность применения этих технологий на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».
3. Провести исследование свойств связующих веществ топливных брикетов из ТКО для повышения технических показателей готового продукта.
4. Провести оценку технико-экономических показателей применения технологии по получению топливных брикетов на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Проблема исследования: необходимость эффективного использования вторичных материальных ресурсов из ТКО как энергетического ресурса и отсутствие обоснованных технических решений для их внедрения.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: научные труды отечественных и зарубежных ученых: Рязанова А.В., Дейнеко

И.П., Файзуллиной Л.М., Киселева С.П., Хитрина К.С., Фукса С., Бьёрна Дж., Хи Сан С., Сотанде О., . Khitrin K.S., Fuks S.L., Khitrin S.V Byoung J. A., Hee-sun C., Soo M. L., Sotannde O.A., Oluyege A.O., Abah G.B. Тельцова Л.З. Бушихин В.В., Ломтев А.Ю., Будко А.Г., Пахтинов В.М. Владимиров С.Н., Ермакова Л.С. ев В.А., Смирнова Т.С., Киселева С.П.

Базовыми для настоящего исследования явились: работы Владимирова С.Н., Смирнова Т.С., Рязанова А.В., патентные исследования Аверьянова Н.А, Табакаева Р.Б., Буравчика Н.И., Богачева А.П. в области изготовления топливных брикетов из биомасс и ТКО.

Методы исследования: использовались аналитические, экспериментальные и расчетные методы исследования, включая ГОСТы и методологические особенности расчета теплового и материального баланса.

Опытно-экспериментальная база исследования: исследования проводились с использованием ресурсов предприятия ООО «ЭкоРесурсПоволжье» и лабораторий кафедры «Химическая технология и ресурсосбережение» Тольяттинского государственного университета.

Научная новизна исследования заключается в предложении включения переработанных ТКО («хвостов») в состав традиционных топливных брикетов из деревянных опилок с использованием в качестве связующего компонента картон.

Теоретическая значимость исследования заключается в анализе возможности изготовления топливных брикетов из ТКО с применением натуральных связующих компонентов, которые способствуют формированию требуемых характеристик по теплоте сгорания.

Практическая значимость исследования заключается в реализации предложенной технологии использования отсортированных твердых коммунальных отходов при изготовлении топливных брикетов и обоснование их качества.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обоснована экспериментальными исследованиями, расчетными данными и внедрением предлагаемых решений на предприятии.

Личное участие автора заключается в предложении технологии изготовления топливных брикетов из ТКО для снижения объемов образования отходов, проведение экспериментальных исследований по определению качества получаемых топливных брикетов при использовании различных связующих компонентов.

Апробация и внедрение результатов работы проводились на Всероссийской студенческой научно-практической Междисциплинарной конференции «Молодежь. Наука. общество» в декабре 2020 года, опубликована статья «Получение топливных брикетов из ТКО» в журнале номер 34.

На защиту выносятся:

- предложение технологии изготовления топливных брикетов из ТКО с применением в качестве связующего компонента картона.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 глав, заключения, содержит 17 рисунков, 34 таблицы, список использованной литературы (38 источников). Основной текст работы изложен на 90 страницах.

Глава 1 Литературный обзор

1.1 Анализ существующих мусоросортировочных комплексов и объемов образования вторичных материальных ресурсов

По данным Счетной палаты ежегодно в России образуется до 3,5 млрд.т отходов (из них порядка 35 – 40 млн. т приходится на ТКО), и на сегодняшний день накопилось более 95 млрд. т отходов. Эта масса распределяется по территории мест захоронения общей площадью 4 млн. га. Ежегодно площадь захоронено отходов расширяется на 0,4 млн. га. Основную массу составляют промышленные и энергетические отходы, 1–2% – твердые коммунальные отходы.

Существуют возможности переработки поступающих ТКО порядка 14 млн т, но данный потенциал реализуется не более, чем на 10%, из которых 7% подвергается переработке, а 3 % сжигается.

Возникает необходимость в применении технологий по переработке поступающих отходов. Если рассматривать данный вопрос с законодательной точки зрения, то в Федеральном законе «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. №7 (с изменениями на 27 декабря 2019 года) [1] (ст. 39) прописаны обязательства природопользователей к обезвреживанию и безопасному размещению отходов производства и потребления. Также Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (с изменениями на 27 декабря 2019 года) определяет цели и основные принципы государственной политики в области обращения с отходами. Полностью посвящена регулированию деятельности в области обращения с твердыми коммунальным отходами глава V.1 данного ФЗ. Закон запрещает размещение отходов на объектах, не внесенных в государственный реестр объектов размещения отходов (статья 12 п.7) и «захоронение отходов, в состав которых входят полезные компоненты, подлежащие утилизации, запрещается» (статья 12 п.8) [2].

В Российской Федерации принята Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-р, она дает следующее определение:

– мусоросортировочный комплекс - производственный объект по обработке твердых коммунальных отходов, позволяющий выделить из поступивших отходов вторичные ресурсы, а также отходы, не подлежащие дальнейшей утилизации [3].

На сегодняшний день на территории Российской Федерации насчитывается 60 единиц крупных и средних мусоросортировочных комплексов, которые имеют полный пакет разрешительной документации на свою деятельность. «Значительно выше число мелких сортировочных предприятий производительностью от 50 тыс. тонн в год, не относящихся к объектам капитального строительства, использующих в основном ручную сортировку лишь некоторых групп отходов. Такие предприятия в большинстве случаев создаются при объектах размещения отходов. Малый выход полезного сырья из отходов (около 5 %) делает производство малоэффективным, обуславливает низкий уровень рентабельности производства, поскольку прибыль от реализации такого сырья не покрывает эксплуатационные расходы на сортировку отходов.

Общее количество отходов, поступающих на мусоросортировочные комплексы, по оценкам экспертов, составляет от 5 до 13% объема образования. По данным статистической отчетности, общее количество отходов, поступающих на мусоросортировочные комплексы, составило в 2020 году 8,9% объема вывезенных с территории городских поселений твердых коммунальных отходов» [3].

При использовании в РФ принципа формирования логистических потоков для загрузки мусоросортировочных комплексов для обеспечения их

производительности 100 - 300 тыс. т возможно увеличить процент возврата или отбора вторичных ресурсов из отходов до 30%.

В Приложении №2 Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-рВ, приведены целевые показатели по утилизации, обработке, создания экотехнопарков, количество мусоросортировочных комплексов до 2030 года (таблица 1), которые должны повысить эффективность работы мусоросортировочных комплексов. Главным этапом развертывания комплексной системы обращения отходов является создание мусоросортировочной линии.

Таблица 1 – Целевые показатели Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года

Наименование целевого показателя	Единица измерения	Фактическое значение				Прогнозное значение	
		2016 год	2018 год	2019 год	2020 год	2025 год	2030 год
Доля утилизированных и обезвреженных отходов в общем объеме образованных отходов	%	59,6	61,6	63,3	65	75	86
Доля твердых коммунальных отходов, направленных на обработку, в общем объеме отходов, вывезенных с мест накопления	%	8,9	10	12	15	50	80
Количество созданных экотехнопарков	Ед.	-	4	7	12	30	70

Продолжение таблицы 1

Наименование целевого показателя	Единица измерения	Фактическое значение				Прогнозное значение	
		2016 год	2018 год	2019 год	2020 год	2025 год	2030 год
Количество созданных производственно-технических комплексов по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов	Ед.	6	14	26	41	101	226
Количество созданных мусоросортировочных комплексов твердых коммунальных отходов	Ед.	60	80	95	120	210	310
Количество созданных многофункциональных комплексов по промышленному обезвреживанию отходов	Ед.	10	15	18	25	50	110
Количество созданных многофункциональных сортировочных комплексов	Ед.	10	15	18	25	50	110
Уровень локализации производства оборудования для обработки, утилизации и обезвреживания отходов	%	45	55	70	75	85	90

Продолжение таблицы 1

Наименование целевого показателя	Единица измерения	Фактическое значение				Прогнозное значение	
		2016 год	2018 год	2019 год	2020 год	2025 год	2030 год
Вклад отрасли промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов в валовый внутренний продукт Российской Федерации	%	0,08	0,08	0,08	0,09	0,1	0,11
Уровень снижения образования отходов	%	-	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-3,7
Доля импорта оборудования для обработки, утилизации и обезвреживания отходов	%	60	50	40	30	20	10

В статье Исмаилова Э.Ф. «Эффективность комплексной переработки отходов в регионе» проведен анализ «эффективного обращения с отходами, предполагающее максимально возможное использование всех выделенных фракций невозможно в условиях рассредоточения заводов по переработке и обезвреживанию отходов по значительной территории» [9], изучены основные критерии оценки эффективности инвестиций в переработку ТКО и произвел экономический расчет.

Были проведены исследования фракционного состава поступающих ТКО (таблица 2). При проведении исследования не учитывались крупногабаритные отходы, так как они собираются и вывозятся отдельно.

Также необходимо отметить, что фракционный состав ТКО, как и морфологический, меняется в соответствии с сезонами года.

Таблица 2 – Фракционный состав 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	—
Камни, штукатурка	—	—	0,2...1	0,5...1,8	0,5...2
Пластмасса	0...0,2	0,5...1	1..2,2	1...2,5	0,2...0,5
Прочее	0...0,3	0,2...0,6	0...0,5	0...0,4	0...0,5
Отсев	—	—	—	—	4...6
Всего	7,0	13,3	22,1	25,3	32,3

По данным «Информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям», введенного в действие 1 июля 2017 года Приказом Росстандарта от 15 декабря 2016 г. № 1887, в настоящее время, в среднем по РФ «морфологический состав ТКО» имеет процентный и весовой состав [8], который представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Морфологический состав ТКО

Наименование	Средняя плотность, т/ м ³	Количество, %
Бумага, картон	0,05–0,08	36,5
Пищевые отходы	0,28–0,45	30
Дерево, ветки, листья, деревянная упаковка	0,15–0,17	5
Черные металлы	0,16–0,35	3,6
Цветные металлы	0,16–0,35	0,6
Кости	0,40–0,45	0,9
Кожа, резина	0,15–0,21	1,3
Текстиль	0,15–0,20	6,5
Бой стекла	0,34–0,47	4,3
Полимерные материалы	0,01–0,09	6
Прочие материалы	–	5,3
Итого:	0,15–0,21	100

Коммерческие фракции вторсырья, отбираемые на мусоросортировочной линии – это, как правило, картон, бумага, металлы, полимеры, стекло. Из вышеприведенных данных они составляют более 50% от общей массы ТКО. Количество отбираемых фракций на автоматической линии с учетом характеристик российского мусора составит не более 75%. Получаемые фракции могут быть использованы в технологиях изготовления топливных брикетов.

1.2 Свойства топливных брикетов

«Топливные брикеты – это относительно новый вид твердого топлива. Они изготавливаются путем прессования мелкофракционного сырья

природного происхождения. В качестве такого сырья могут быть использованы древесные опилки, пшеничная, рисовая или гречишная шелуха, лузга подсолнуха. Кроме того, прессуют топливные брикеты из листьев, соломы, тростника, древесной коры, хвои. Изготавливают также пеллеты из камыша. Прессованные брикеты для топки могут различаться не только материалом изготовления и степенью плотности внутренней структуры, но и своими геометрическими параметрами, в частности формой и размерами» [16] (рисунок 1).



Рисунок 1 – Виды топливных брикетов

«Перечислим наиболее важные достоинства топливных брикетов:

- топливный брикет, если сравнивать его с обычными дровами, горит в 4 раза дольше последних, что способствует экономичному расходу такого топлива;
- после сгорания пеллет остается очень мало золы – порядка 1 % от общей массы использованного топлива. При применении обычных дров данный показатель может достигать до 20 % от общей массы

использованного топлива. Золу, оставшуюся после сгорания брикетов древесного или любого другого типа, можно применять как удобрение, содержащее большое количество калия;

- количество тепловой энергии, выделяемой при горении евродров, почти в два раза больше, чем при использовании обычных дров;
- на протяжении сгорания топливные брикеты почти все время выделяют тепло, чего не скажешь об обычных дровах, теплоотдача которых интенсивно снижается по мере сгорания;
- при сгорании топливные брикеты практически не искрят, выделяют минимальное количество дыма и запаха. Таким образом, данный вид топлива не создает дискомфорта и не наносит вреда окружающей среде. Кроме того, при сжигании дров, зараженных плесенью или грибок, образуется токсичный дым, что исключено при применении евродров, для производства которых используются тщательно просушенные древесные опилки или стружка;
- на стенках дымоходов при использовании в качестве топлива древесных брикетов осаждается значительно меньше сажи, чем при применении обычных дров;
- компактные размеры, которыми отличаются евродрова, позволяют более экономично использовать площадь для хранения такого топлива. Более того, при хранении топливных брикетов, помещенных, как правило, в аккуратную упаковку, не образуется мусора и древесной пыли, которые обязательно присутствуют в местах складирования обычных дров» [16].

«Естественно, что у этой разновидности топлива есть и определенные недостатки:

- за счет высокой плотности внутренней структуры топливные брикеты достаточно долго разгораются, быстро прогреть помещение с помощью такого топлива не получится;

- низкая влагостойкость евродров может стать причиной того, что они просто испортятся, если не обеспечить требуемые условия хранения;
- топливные брикеты, представляющие собой спрессованные опилки, характеризуются достаточно низкой устойчивостью к механическим повреждениям;
- при сжигании топливных брикетов отсутствует такое красивое пламя, как при использовании обычных дров, что несколько ограничивает использование пеллет в качестве топлива для каминов, где очень важна и эстетическая составляющая процесса горения» [16].

На рисунке 2 представлена сравнительная характеристика топливных брикетов с самыми распространенными видами топлив (уголь, дрова).



Рисунок 2 – Сравнение основных параметров различных типов твердого топлива

Если провести сравнение показателя по выделению CO_2 топливных брикетов, то получаем:

- природный газ – выделение CO_2 в 15 раз выше;
- нефтепродукты (масло) – выделение CO_2 в 20 раз выше;
- кокс – выделение CO_2 в 30 раз выше;

– уголь-антрацит – выделение CO₂ в 15 раз выше.

Для того, чтобы топливный брикет приобрел свою форму необходимо введение связующего компонента. В таблице 4 представлены данные по физико-механическим свойствам топливных брикетов в зависимости от используемого связующего компонента.

Таблица 4 – Физико-механические свойства топливных брикетов

Наименование показателя	Связующее			
	Меласса	КМЦ карбокси- метил- целлюлоза	Декстрин	Крахмал
Водопоглощение, %	1,08	1,12	0,98	1,15
Термостойкость	очень хор.	очень хор.	очень хор.	очень хор.
Механическая прочность при испытании на сбрасывание, %	99,6	98,9	99,5	97,8
Зольность, %	8,5	9,2	8,7	10,3
Выход летучих веществ, %	6,3	7,8	5,8	9,2
Массовая доля влаги в рабочем состоянии топлива, %	2,6	2,9	2,8	3,3
Массовая доля общей серы, %	1,00	1,10	1,07	1,13

Требования к топливным брикетам

В 2010-2014 гг. вышли нормативные правовые документы, касающиеся альтернативных топлив из твердых коммунальных отходов. ГОСТ Р 54235-2010 «Топливо твердое из бытовых отходов. Термины и определения» вводит определение твердого топлива из бытовых отходов как твердого топлива, изготовленного из неопасных отходов и предназначенного для использования в качестве замены традиционного топлива, такого как уголь, газ, торф, при производстве продукции, а также выработки тепло- и электроэнергии. ГОСТ Р 54236 2010 «Топливо твердое из бытовых отходов. Технические

характеристики и классы» устанавливает однозначную и четкую классификацию твердого топлива из бытовых отходов и его основные технические характеристики.

Перечень стандартов в области взаимоотношений производителей и потребителей альтернативного топлива:

- ГОСТ 55097-2012 «Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Обработка отходов в целях получения вторичных энергетических ресурсов», где устанавливается методология применения наилучших доступных технологий обработки отходов в целях получения вторичных энергетических ресурсов, которые могут использоваться в качестве топлива с обеспечением высоких эксплуатационных экологических характеристик (например, эффективная система энергообеспечения) и (или) повышения экологической эффективности (например, система экологического менеджмента). Стандарт распространяется на горючие отходы в твердом и жидком состояниях, предназначенные для сжигания на различных предприятиях, включая цементные или известковые заводы, мусоросжигательные установки или электростанции, работающие на каменном или буром угле. Стандарт не распространяется на отходы от химических, биологических, радиоактивных и военных объектов,
- ГОСТ Р 55099-2012 «Ресурсосбережение Наилучшие доступные технологии (НДТ) обращения с отходами в цементной промышленности. Аспекты эффективного применения», где реализованы нормы Справочника ЕС «Европейская комиссия. Комплексное предупреждение и контроль загрязнений. Справочное руководство по наилучшим доступным технологиям. Производство цемента, извести и оксида магния.

Разработанные и утвержденные законодательные акты позволили сформулировать методологию исследования состава альтернативного топлива

и обосновали, что их пригодность в качестве топлива взаимосвязана с обеспечением качества подготовки отходов. При этом необходимо выполнять требования технических условий на продукт из отходов, разработанные производителями и согласованные принимающими предприятиями, также необходимо учитывать различные технические и технологические режимы производства, характерные для предприятий, на которых будут использоваться вторичные энергетические ресурсы (например, на цементном, известковом заводе, электростанции, работающей на каменном или буром угле). Федеральным законом «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ, закреплено, что альтернативное топливо является вторичным энергетическим ресурсом.

Брикетирование вторичных ресурсов, получаемых из ТКО, в топливные брикеты – это один из методов в решении проблемы утилизации образующихся отходов. Брикеты, широко применяющиеся уже в течение многих лет в промышленности и сельском хозяйстве, представляют собой одну из простейших и наиболее экономичных форм упаковки. Уплотнение, присущее этому процессу, способствует уменьшению занимаемого объема, и как следствие, приводит к экономии при хранении и транспортировке. В промышленности и сельском хозяйстве прессование и брикетирование преимущественно используют для упаковки гомогенных материалов, например хлопка, сена, бумажного сырья и тряпья. При работе с такими материалами технология довольно стандартна и проста, так как эти материалы однородны по составу, размеру и форме. При работе с ними осложнения возникают редко. Потенциально возможная сжигаемость их известна с достаточной точностью.

Основные затруднения возникают в процессе брикетирования коммунальных отходов из-за того, что эти отходы не гомогенны. Усредненные характеристики и свойства этих отходов могут быть неодинаковы не только в

различных районах страны, но и в различных частях одного и того же города. Состав отходов меняется также в зависимости от сезона года. Дополнительные осложнения в работу механизмов по прессованию ТКО вносят высокая абразивность составляющих компонентов (песок, камень, стекло), а также высокая агрессивность среды, благодаря наличию органики, кислот, растворителей, лаков и т.п. В основу решения проблемы переработки, утилизации и захоронения ТКО должны быть заложены три основных принципа: экологичность, технологичность и экономичность [37].

Топливо, полученное из отходов, относится к горючей фракции твердых коммунальных отходов (ТКО), характеризующейся высокой теплотворной способностью, которая включает в себя общие группы отходов: пластмассы, отходы упаковки, текстиль, древесину и резину [3].

Топливо производится из отходов, которые не могут быть повторно использованы или переработаны, но могут быть использованы в процессах регенерации энергии. Производство топливных брикетов может свести к минимуму захоронение отходов и, следовательно, снизить потенциал выбросов метана в атмосферу. Извлечение энергии из отходов может быть улучшено за счет первоначальной валоризации потока отходов для повышения его теплотворной способности.

Технологии производства брикетов из ТКО отличаются в разных регионах в связи с разным морфологическим составом отходов, способа применения топлива, экологических особенностей, а также от различного технологического подхода к порядку сортировки и преобразования ТКО.

Если сравнить технологии брикетирования в США и Германии, то отличие в наличии или отсутствии пузырьков воздуха. Топливные брикеты, производимые в США, в своей структуре содержат воздушные пузыри между волокнами. Это позволяет получить повышенную теплоотдачу при использовании их как топлива [5].

Технологическая линия для производства топливных брикетов состоит из нескольких десятков устройств, обычно расположенных последовательно,

которые выполняют единичные операции, направленные на перераспределение переработанных отходов, позволяющих их обогащение или удаление из потока (положительное или отрицательное разделение, соответственно).

На сегодняшний день в России отсутствуют предприятия, которые производят топливные брикеты из ТКО, в отличие от стран Европейского союза и США, где данное направление развито и продолжает совершенствоваться, и на многих предприятиях (до 60%) природное топливо заменено на альтернативное твердое топливо.

1.3 Литературный обзор в области исследования свойств связующих веществ в топливных брикетах

В основном технологические процессы производства топливных брикетов происходят без применения каких-либо связующих компонентов, но для того, чтобы улучшить характеристики производимой продукции вводятся различные вещества. В Европейских и Азиатских странах применяются стандарты при производстве брикетов, которые жестко регламентируют экологические требования по образующимся выбросам при сжигании, объема образования золы и плавкости [12].

В статье Дейнеко И.П. «Утилизация лигнинов: достижения, проблемы и перспективы» [13] проведено исследование по введению разных связующих компонентов и добавок при опрессовывании древесных опилок в брикеты. В качестве связующих веществ рассматривались порошок кофейных зерен, порошок лигнина, рапсовая мука, сосновые шишки. Было выявлено, что введении порошка лигнина позволяет получать топливные брикеты с повышенными характеристиками по прочности.

В работе [14] изучено влияние связующих компонентов на долговечность древесных гранул, а именно смесь глицерина, лигнина и крахмала, показывающее, что мелкие частицы лигнина дают отличную

адгезию с крахмалом, а также белком сои и их производными продуктами. Полученные связующие компоненты являются привлекательными к использованию.

В работах Сотаннде О.А., Олуега А.О., Абах Г.Б., Тарасова Д., Шахи Ч., Лейтч М. [15], [18] проведен анализ влияния, которое оказывают крахмал и гуммиарабик (прозрачная твердая смола из сока акаций) на теплотворную способность топливных брикетов, содержащих большой объем опилок, и их плотность. Брикетты, в которых в качестве связующего использовался крахмал, имели высокие плотность и теплотворную способность (0,546 г/см³ и 33,09 МДж/кг соответственно).

Если использовать глицерин как связующий компонент при спрессовывании отходов пшеницы (соломы), то полученные брикетты имеют высокую теплотворность (17,9 – 18,7 МДж/кг) и низкую зольность, но при этом необходимо присутствие в составе брикета опилок от хвойных пород деревьев [17].

В своей работе «Оценка гранул, произведенных из подроста, для использования в качестве биотоплива» авторы [19] авторы описали способ, заключающийся в изготовлении твердого биотоплива с массовым объемом содержания растительной биомассы от 0,1% до 10% крахмала, а также «длинноцепочечные жирные кислоты, имеющие алифатическую цепь длиной по крайней мере в 12 атомов углерода, и / или их аналоги», температура плавления которых расположена в диапазоне 40°-95°С. «Заявляемые технические решения расширяют ассортимент твердого топлива и обеспечивают создание экологически чистого брикетированного топлива с высокими энергетическими и прочностными характеристиками. Однако основным недостатком данных способов получения твердых биотоплив является применение в качестве связующих продуктов пищевого назначения, что может привести к увеличению их стоимости» [28].

Для того, чтобы повысить теплоту сгорания, уменьшить зольность и увеличить водостойкость до процесса прессования полученную массу следует

подвергнуть термической обработке (200 °С-300 °С) и исключением доступа воздуха. Далее необходимую массу измельчить и спрессовать, используя связующие компоненты (мука, карбоксилметилцеллюлоза, крахмал) [20, 21]. Полученные топливные брикеты из обработанной термическим способом древесины имеют высокие характеристики по параметрам водостойкости, качества и длительности хранения.

Но отдельно необходимо выделить категорию твердых видов топлива из биомассы брикеты, получаемые с использованием вторичного сырья (ТКО) с применением связующих, улучшителей и наполнителей.

Авторы работ [23], [29] предложили использовать связующим компонентом коммунальные отходы (пластик), а в качестве наполнителя – компоненты растительного происхождения (опилки, картон, бумага, солома, торф). При осуществлении прессования всех тщательно перемешанных компонентов на поверхности полученных брикетов появляется защитная пленка, которая улучшает физико-механические свойства топливных брикетов.

В работах [24], [27], [30], [31] в пресс-массы предлагается вводить жидкие моторные топлива или угольную пыль, связующими компонентами будут выступать воск, ил или водоросли. Это позволит увеличить базу отходов, которые можно будет утилизировать для производства топливных брикетов. При внедрении такой технологии получаемые брикеты найдут место применения в качестве индустриального топлива.

Образованию топливного брикета в процессе прессования чаще всего способствует наличие в общей массе различных полимеров и пластика, но данные компоненты при сжигании могут выделять вредные вещества, а в отсутствии таких компонентов топливный брикет распадается и не держит форму. Поэтому при осуществлении поиска связующего компонента для создания топливных брикетов зачастую возникают трудности.

Практикуется обогащение смеси для производства топливных брикетов различными компонентами, увеличивающими липкость и связанность при

формировании брикетов. При подборе таких компонентов необходимо помнить, что большое значение экологическое воздействие добавляемых элементов на окружающую среду при сжигании топливных брикетов [11].

В качестве связующих компонентов при создании топливных брикетов могут быть: целлюлоза, крахмал, меласса и т.д.

1) Добавление целлюлозы. Применение целлюлозы наиболее предпочтительно, так как не повышается зольность топливного брикета, а также целлюлоза имеется в постоянном доступе на предприятиях по переработки ТКО. То есть отсутствует необходимость в ее приобретении, что не приводит к повышению стоимости конечного продукта. Недостатком, как показывают проводимые опыты, является то, что необходимо увеличивать мощность прессования, так как получаемый топливный брикет имеют рыхлую структуру.

2) Добавление крахмала. Применение крахмала как связующего компонента имеет неоспоримые преимущества:

- при производстве и использовании топливных брикетов соблюдается экологическая чистота конечного продукта;
- топливные брикеты имеют высокую прочность в сыром состоянии и как готовые брикеты;
- технологический процесс производства топливных брикетов не требует дополнительных операций.

Но имеются и минусы – применение чистых крахмалов (картофельного, пшеничного, кукурузного) может привести к значительным финансовым затратам из-за высокой стоимости связующего компонента. Это вызвано тем, что добавление крахмала при изготовлении брикетов может достигать 5 – 10% от общей массы для брикетирования.

3) Добавление мелассы. Меласса – это продукт производства сахара из свеклы, представляющий собой вязкую, сиропообразную жидкость коричневого цвета. Содержание сахара в мелассе 45-50%, воды 20%, минеральных несугарных веществ 10%, органических веществ 20-25%.

Меласса, как связующий компонент, имеет высокие склеивающие свойства. Но брикеты, в которых используется меласса, не являются водостойкими. Для придания топливным брикетам водостойкости необходимо вводить в их состав кубовые остатки органического синтеза – гидрофобизатор. Данную добавку предварительно необходимо смешать с мелассой при температуре 45°-50°С для образования пластифицирующей добавки.

4) Добавление полисахарида. В качестве полисахаридов используют отходы сахарного, крахмального, винодельческого или целлюлозно-бумажного производств. При добавлении полисахаридов как связующего компонента топливные брикеты обладают высокой термостойкостью, низким показателем водопоглощения и имеют высокие значения по механической прочности.

5) Лигнин. Лигнин является естественным связующим компонентом, который содержится в клетках всех растений, и выделяется под давлением, тем самым связывают частицы материалов.

Помимо большого давления для активации лигнина требуется высокая температура. Если производство топливного брикета предполагает использование исключительно растительных компонентов, то термопластичный лигнин позволяет получаемому продукту стать прочным, быстро вызывать оплавление поверхности брикета [6].

1.3.1 Патентный поиск технологий производства топливных брикетов из ТКО

Для проведения анализа технологических решений по изготовлению топливных брикетов из ТКО были проведены патентные исследования. Полученные результаты сведены в таблицу 5.

Проведенное изучение технической документации, научных статей, патентных изобретений показывает, что чаще всего топливные брикеты изготавливаются из опилок, шелухи, биомассы, то есть натуральных

материалов, полученных после переработки основного сырья. При этом связующими компонентами чаще всего выступают натуральные материалы (крахмал, меласса).

Существуют разработки, которые предлагают использовать в технологическом процессе изготовления топливных брикетов в качестве связующих компонентов пластмассы, масла, угольную пыль. Но применение данных составных компонентов сужает возможности использования поучаемых топливных брикетов из-за возможного выделения вредных веществ при сгорании топлива [32], [33].

Если при производстве топливных брикетов из натуральных материалов не требует разнообразного оборудования, то при использовании как в качестве одного из компонентов, так и в качестве связующего «ненатурального» материала (пластмасса, масло), требуется изменение технологии производства, внедрения нового оборудования, которое будет обеспечивать более тщательное введение связующего компонента в состав для обеспечения плотности топливного брикета [38].

Таблица 5 – Патентный поиск технологий изготовления топливных брикетов

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
Способ использования традиционных бытовых отходов (ТБО) с использованием технологий двойного капсулирования, обеспечивающих 100% экологически чистую утилизацию ТБО	RU 2663020 С2	Аверьянов Н.А., Себекин Р.С., Абрамов А.В.	Способ использования бытовых отходов - это двойные капсулирующие отходы, которые включают этапы, на которых твердые бытовые отходы измельчают, смешивают с антиоксидантами и нейтральными компонентами, например с цементными растворами, прессуют полученную смесь в брикетах, превращают сухие брикеты в сухие, упаковывают в результате ламинирования и армирования, помещают в пресс-формах, заливают бетоном и высыхают общими блоками. Использование заявленного изобретения позволяет обеспечить 100% - ную утилизацию ТКО и исключить вредное воздействие получаемого продукта на окружающую среду [19].
Способ изготовления топливных брикетов из биомассы	RU 2484125	Табакаев Р.Б., Заворин А.С., Казаков А.В., Плахова Т.М.	«Изобретение относится к способу получения топливных брикетов из биомассы, включающему термическую обработку биомассы при температуре 200-500°С без доступа воздуха, подготовку связующего вещества, получаемого растворением декстрина в пиролизном конденсате в соотношении 1:(5÷20), смешивание связующего с измельченным до 2 мм углеродистым остатком, формирование из полученной смеси топливного брикета и его сушку при комнатной температуре в течение 2-5 суток. Получаемые брикеты обладают низшей теплотой сгорания, улучшенной механической прочностью и сопротивляемостью к сжатию. Применение заявленного способа позволяет расширить ассортимент твердого топлива, исходной сырьевой базы для изготовления брикетов, а также снизить технологические затраты на производство брикетов» [20].
Способ изготовления топливного брикета	RU 2396306	Буравчук Н.И., Гурьянова О.В.	«Изобретение относится к способу изготовления на основе мелкофракционных углеродсодержащих материалов брикетного твердого топлива, используемого для сжигания в топках малых котельных жилищно-коммунального хозяйства и промышленных предприятий, железнодорожных вагонов, бытовых печах

			населения и других энергетических установках малой мощности, а также в качестве каминного топлива. Способ изготовления топливных брикетов» [21]
--	--	--	---

Продолжение таблицы 5

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			<p>«включает предварительное смешивание мелассы и известьсодержащего компонента с последующим перемешиванием полученного модифицированного связующего с мелкофракционным углеродсодержащим материалом минерального происхождения и формование брикетов, характеризующийся следующим соотношением компонентов, мас. %: меласса 1,8-7,0; известьсодержащий компонент /в пересчете на $\text{Ca}(\text{OH})_2$/ 0,8-3,2; мелкофракционный углеродсодержащий материал минерального происхождения остальное; при соотношении мелассы и известьсодержащего компонента в пересчете на $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1:(0,25-0,75) частей соответственно. В другом варианте осуществления способ изготовления топливных брикетов включает предварительное смешивание мелассы и известьсодержащего компонента с последующим перемешиванием полученного модифицированного связующего с мелкофракционным углеродсодержащим материалом минерального происхождения и мелкофракционным материалом растительного происхождения и дальнейшим формованием брикетов, характеризующийся следующим соотношением компонентов, мас. %: меласса 3,0-9,0; известьсодержащий компонент /в пересчете на $\text{Ca}(\text{OH})_2$/ 1,2-4,5; мелкофракционный углеродсодержащий материал древесно-растительного происхождения 5,0-20,0; мелкофракционный углеродсодержащий материал минерального происхождения остальное; при соотношении мелассы и известьсодержащего компонента в пересчете на $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1:(0,25-0,75) частей соответственно. Техническим результатом изобретения является повышение экологичности топлива и упрощение процесса за счет отсутствия необходимости нагрева смеси при сохранении механической прочности брикетов» [21].</p>

Продолжение таблицы 5

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
Способ изготовления топливных брикетов из твердых бытовых отходов (ТБО)	RU 2567861	Богачев А.П., Калинин А.В.	Изобретение описывает способ изготовления топливных брикетов из твердых бытовых отходов (ТБО) и других органических отходов, включающий сортировку ТБО с выделением горючей массы, измельчение выделенной из ТБО горючей массы, сушку, подогрев измельченного материала, формирование из измельченного материала гранул, при этом сортировка исходных ТБО с выделением горючей массы осуществляется гидромеханическим способом, измельчению подвергается масса с влажностью 40...55%, подогрев массы осуществляется в интервале температур 550...1000°С, энергообеспечение производства топливных брикетов производится полностью за счет скрытой внутренней энергии горючей массы ТБО, в качестве связующего при формировании брикетов используется смолистый конденсат, выделенный из газообразных продуктов термического распада горючей массы, нагретой до температуры 550...1000°С. Технический результат заключается в получении топливных гранул, которые являются высококалорийным, бездымным, экологически чистым топливом и которые могут использоваться в любых топках и промышленных предприятиях без предъявления к топочным устройствам каких-либо специальных требований [22]

1.3.2 Сравнительный анализ топлива из ТКО с традиционными топливами

Для обоснования целесообразности производства топливных брикетов из ТКО необходимо провести анализ характеристик традиционных топлив и составных компонентов ТКО.

Проведенный анализ нормативных документов позволяет составить общие критерии оценки топливных брикетов, изготовленных из биомассы. Эти критерии можно разделить на физические, химические/композиционные характеристики.

1) Физически характеристики:

- объемная плотность (плотность хранения);
- прочность;
- насыпная плотность (долевое содержание пыли);
- равномерность распределения частиц.

2) Композиционные и химическая характеристики:

- влажность;
- зольность;
- теплотворная способность;
- содержание тяжелых металлов, Mg, Cl, S, Ca, N, P;
- наличие грибковых спор.

По существующим стандартам (как российским, так и европейским) при изготовлении топливных брикетов запрещено использовать в качестве связующих химические компоненты [10].

Топливные брикеты, изготовленные из ТКО, должны отвечать техническим требованиям, предъявляемым ко всем топливным брикетам, а также не должны иметь превышения по содержанию тяжелых металлов в своем составе (таблица б).

Таблица 6 – Технические требования к топливным брикетам

Показатель	Нормы для сортов		
	Высший сорт	I сорт	II сорт
Влажность, %	До 5	5-10	10-18
Зольность, %	5	5	5
Низшая удельная теплота сгорания, МДж/кг	16,7-23	14,6-16,7	13,8-14,6
Плотность, кг/м, не менее	950	950	950
Массовая доля мелочи (куски размером менее 25 мм), %, не более	5	5	5
Содержание серы, %	<0,08		
Содержание азота, %	<0,3		
Содержание хлора, %	<0,03		
Мышьяк, мг/кг	<0,8		
Свинец, мг/кг	<10		
Кадмий, мг/кг	<0,5		
Хром, мг/кг	<8		
Медь, мг/кг	<5		
Ртуть, мг/кг	<0,05		
Цинк, мг/кг	<100		

Рассмотрим существующие топливные брикеты, изготовленные из различных материалов, и сопоставим их теплотворную способность с основными видами топлив по теплотворной способности, характеризующейся количеством тепла, которое выделяется при полном сгорании топлива, а также по содержанию золы. Калорийность является количеством энергии в виде тепла, когда топливо подвергается полному сгоранию с кислородом. Теплотворная способность измеряется в Дж/кг (Дж/м³; Дж/л). Теплота сгорания каждого вида топлива зависит от его горючих

составляющих (углерода, водорода, влажности, зольности, серы и т. д.) (таблица 7).

Таблица 7 – Сравнительный анализ топливных брикетов и основных видов топлива

Виды топлива	Ккал/кг	Содержание золы
Дизельное топливо (солярка) 1л.	9900	0,01%
Мазут 1л.	9600	-
Каменный уголь	5200-7200	10,00-35,00%
Бурый уголь	3900-4300	10,00-35,00%
Брикеты из стеблей кокоса	5000	2,00%
Брикеты из скорлупы кокосовых орехов	3900	4,90%
Брикеты древесные, мягкие породы	4500	0,5-1,00%
Брикеты древесные, дуб, ясень, твердые породы	4900	0,5-1,00%
Брикеты с шелухи арахиса	4600	3,80%
Брикеты с бумаги	4900	1,5%
Брикеты из рапсовых отходов	4400	5,00%
Брикеты из хлопковых стеблей	4300	3,00%
Брикеты из бамбука	4200	8,00%
Брикеты из лузги кофе	4000	5,10%
Брикеты из табачных отходов	2950	31,00%
Брикеты из чайных отходов	4250	3,80%
Брикеты из рисовой соломы	3500	15,00%
Брикеты из рисовой шелухи	3300	12,00%
Брикеты из черенка горчицы	4200	3,40%
Брикеты из оболочки горчицы	4300	3,70%
Брикеты из пшеничной соломы	4100	8,00%
Брикеты из гречневой соломы	4800	1,5-6,0%
Брикеты из ржаной соломы	4200	8,00%
Брикеты из стеблей подсолнечника	4300	4,30%
Брикеты из шелухи подсолнечника, сои	4500	4,00%
Брикеты из сахарного тростника	4000	10,00%
Брикеты из соевой лузги	4200	4,10%

Продолжение таблицы 7

Виды топлива	Ккал/кг	Содержание золы
Брикеты из виноградной лозы	3350	1,5
Брикеты из початков кукурузы, стеблей	3800	3,00%
Брикеты из костра льна	3800	-
Брикеты из торфа	3900	16,00%
Брикеты из камыша	4000	4,00%
Брикеты из скорлупы грецкого ореха	6000	0,50%
Брикеты из коровьего навоза, сухие	3300	15,00%
Брикеты из лигнина	4900-5900	12%
Брикеты из рубероида	6300	-
Брикеты из мискантуса (слон трава)	4200	4,50%
Брикеты из угольной пыли и соломы	4800	6,10%
Брикеты из коры дерева	4200	4,80%
Лигнин (влажность 65%)	4500	15%
Древесная щепа влажная	2600	-
Дрова сухие (влажность 25%)	2600	2,50%
Свежесрубленная древесина (влажность 50-60%)	1700	3,00%

Проведем исследование характеристик составных компонентов ТКО (таблица 8).

Таблица 8 – Характеристики теплотворной способности и зольности составных компонентов ТКО

Виды топлива из отходов (опасных и неопасных)	Значения теплотворной способности (МДж/кг)	Зольность, %
Древесина (отходы пиломатериалов, ДСП, ж/д шпалы) при влажности 25%	~16	До 1,5
Бумага, картон	3 – 16	До 8
Текстиль	до 40	Не определена
Пластики (первичная переработка)	17 – 40	До 2

Продолжение таблицы 8

Виды топлива из отходов (опасных и неопасных)	Значения теплотворной способности (МДж/кг)	Зольность, %
Резина/шины	~26	7
Промышленный шлам	8 – 14	До 30
Костная мука и жиры животных	14 – 18, 27 – 32	Не определена
Мука туши животного	14 – 21,5	Не определена
Сельскохозяйственные отходы	12 – 16	До 10
Растворители, масла, отходы ЛКМ и др	20 – 36	Не определена
Шлам сточных вод (влажность > 10%)	3 – 8	До 40
Шлам сточных вод (влажность < 10% до 0)	8 – 13	До 40

В работе рассматривается возможность изготовления топлива, которое содержит ТКО. Данный вид топлива имеет название RDF (refuse derived fuel) или твердое вторичное топливо [34]. В его состав входят высококалорийные компоненты отходов: текстиль, кожа, пластик, бумага, дерево и прочее. В таблице 9 приведены характеристики производимых на предприятиях Европы топлива RDF.

Таблица 9 – Параметры топлива RDF

Параметр	Значение
Калорийность	4000 Ккал / Кг (минимум)
Массовая плотность	0,7 МТ за 1 кв.м.
Денсити	1,3 г за куб.с. (минимум)
Влаги	3,00% - 8,00%
Зольность	12,00% - 20,00%
Нестабильная материя	50,00% - 65,00%
Фиксированный углерод	12,00% - 18,00%
Минеральная материя	15,00% - 25,00%
Углерода	35,00% - 40,0%

Продолжение таблицы 9

Параметр	Значение
Водорода	5,00% - 8,00%
Азота	1,00% - 1,50%
Серы	0,20% - 0,50%
Кислорода	25,00% - 30,00%
С связующим	4000 - 45000 Ккал/кг
Без связующего	3500 - 3700 Ккал/кг

Проведем сравнительный анализ характеристик топлива RDF и традиционных топлив (таблица 10).

Таблица 10 – Сравнение топлива RDF с различными видами топлив

Топливо/фактор	Топливные брикеты	Уголь	Дрова	Топочное масло
Калорийность (Ккал/Кг)	3500-3700	4000	4000	10000
Эквивалентная тонна в теплотворной ценности	1,14	1	1	1
Содержание серы (вес %)	0,2-0,5	0,4	0,01	4,0
Содержание влаги (вес %)	10	39	10-20	1,0
Содержание золы (вес %)	3-15	4,2	24,5-26	0,1
Содержание кокса (вес %)	1-1,5	1,2	0,75	0,1
Углерод (вес %)	35-40	31,4	3,2	8-30
Кислород (вес %)	25-30	7,4	-	5-20
Водород (вес %)	5-8	4,3	-	0,1

Из таблицы 10 видно, что содержание серы в RDF меньше, чем в угле. Следовательно, RDF больше не загрязняет окружающую среду. А также стоимость RDF за одну тонну составляет меньше по сравнению с углем.

Содержание влаги в RDF намного меньше, чем у угля, так что теплотворная способность намного лучше, чем у угля.

При сжигании дров имеются большие выбросы, что приводит к глобальному потеплению и загрязнению воздуха. Пепел является одним из загрязнителей земли, водоемов и т.д. Сжигание дров приводит к деформации, которая ведет к глобальному потеплению, провалу сезонных осадков, климатическим изменениям, эрозии почвы и снижению уровня подземных вод и т.д. И основным преимуществом RDF над дровами является стоимость.

Сжигание топочного масла в электростанционных печах дает чистое сгорание, но стоимость намного выше, чем у других ископаемых видов топлива. Сжигание RDF приводит к снижению выбросов золы и дымовых газов в меньшем количестве [35].

При изготовлении топливных брикетов из ТКО необходимо провести экспериментальные исследования образцов с разными связующими компонентами на содержание тяжелых металлов в их составе и сопоставить полученные данные с нормативными.

1.4 Анализ технологий получения топливных брикетов из ТКО

При изготовлении топливных брикетов из растительных и древесных отходов не требуется введение дополнительных связующих компонентов, так как в процессе прессования из клеток выделяется лигнин, обеспечивающий прочность топливных брикетов. Это наиболее распространенная технология получения топливных брикетов [4].

Если компонентный состав топливного брикета включает в себя растительные материалы помимо опилок (или без опилок), то требуется введение связующего. При использовании в качестве связующего мелассу топливный брикет становится плотным, но не водостойким. Для повышения водостойкости необходимо введение гидрофобизатора, который предварительно смешивается с мелассой, образуя гомогенный раствор.

Введение такого двухкомпонентного связующего позволяет придавать топливному брикету любую форму.

Если рассмотреть топливный брикет, основным компонентом которого является древесная угольная пыль, то связующим будет выступать крахмал, введенный вместе с водой. Заменить крахмал можно мукой или декстрином. Их процентное содержание в таких топливных брикетах может достигать 45%. Также необходимо добавление воды для обеспечения надежной связи компонентов. Данный брикет не является водостойким.

Технология изготовления топливных брикетов из смеси различных групп растительных отходов (отработка косточковых плодов), коксовой или угольной мелочи подразумевает введение в качестве связующего мелассы, лигносульфоната, талового пека или их смеси. Получаемый брикет имеет достаточную реакционную способность, но механическая прочность низкая [36].

Все технологии изготовления топливных брикетов основываются на базовых этапах: сепарация, измельчение, сушка, брикетирование. Рассмотрим подробнее каждый этап и применяемое оборудование.

1) Сепарация, или сортировка – главный этап производства при изготовлении топливных брикетов. Данная операция основана на распознавании и удалении из поступающих ТКО компонентов, которые не подлежат переработке или применению в топливных брикетах: камни, песок, стекло, компоненты, при сжигании которых выделяются продукты горения, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду (металлы, отходы ПВХ, хлорсодержащие вещества, лампы и т.д.).

При проведении сортировки используется различное оборудование: сепараторы оптический и магнитный, барабанный и вибрационный грохоты, воздушный классификатор и т.п.

Часто перед проведением сепарации устанавливают устройства для разрывания пакетов. Это упрощает процесс сортировки, а также уменьшает размеры крупногабаритных отходов.

2) Дробление (измельчение) до требуемого размера фракции.

При осуществлении дробления поступающих ТКО большое внимание необходимо уделить способности техники работать с различными видами сырья (состав отходов многообразен), качеству оборудования и простоте обслуживания и ремонта. Для дробления применяются дробилки (молотковая, роторная, вилковая) и шредеры (одно- или многовальные).

3) Сушка – характеризуется большими потерями влаги ТКО, повышением энергетических и теплотворных показателей. Данный процесс оказывает большое влияние на последующее качество получаемого топлива. Изначально, содержание влаги в поступающем сырье колеблется от 20% до 30%, но при производстве топливных брикетов необходимо достичь влажности в 9-11%. Используемое сушильное оборудование имеет высокие показатели по потреблению электроэнергии, что необходимо учитывать при подборе агрегатов.

4) Изготовление топливных брикетов – окончательный этап, который заключается в прессовании под высоким давлением поступивших после обработки ТКО. Прессование осуществляют при помощи механических прессов. Подбор оборудования для прессования зачастую вызывает трудности, так как ТКО имеют разнообразный, сложный и неоднородный состав, что приводит к выходу из строя машин. Идеальным решением является подбор оборудования под конкретный вид отходов, исходя из анализа статистики поступления ТКО.

На основе анализа существующих технологий, определили, что наиболее перспективным направлением является производство топливных брикетов из ТКО с добавлением связующих компонентов, улучшающих теплотворные способности (рисунок 3).

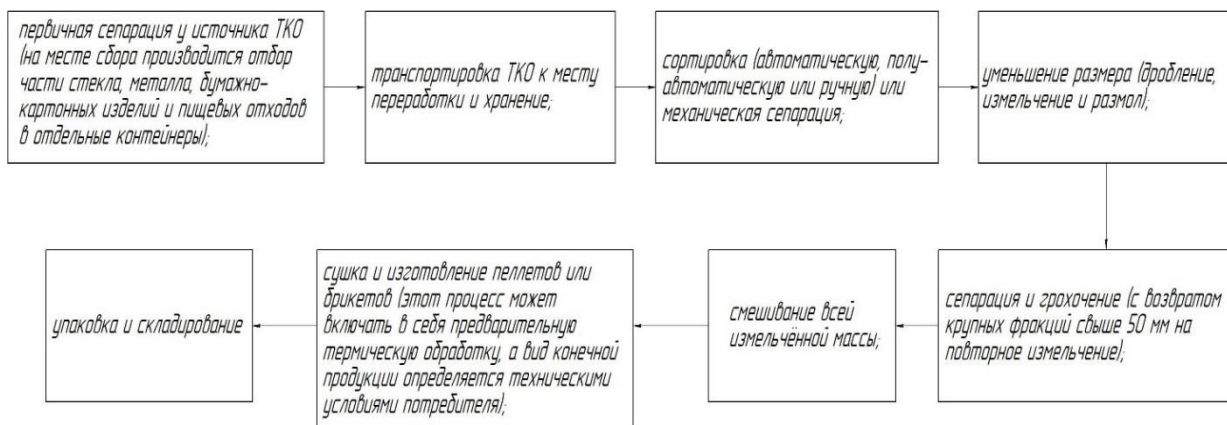


Рисунок 3 – Технологический процесс изготовления топливных брикетов из ТКО

Выводы к главе 1

Проведено исследование существующих мусоросортировочных комплексов, на территории которых происходит сортировка поступающих ТКО. Проанализированы объемы образования отходов производства и потребления, фракционный, качественный и количественный состав. Данные исследования позволяют выявить необходимость переработки ценных компонентов, содержащихся в ТКО. Перспективным методом является использование ТКО в качестве топлива.

Изучение свойств существующих рецептур топливных брикетов, показало, что основными компонентами являются материалы растительного происхождения (древесная щепа, шелуха, солома). Но также разработаны топливные брикеты, в которых частично вносятся ТКО, при этом требуется введение связующих компонентов.

Глава 2 Исследование свойств связующих веществ для получения топливных брикетов из ТКО

2.1 Экспериментальный анализ характеристик топливных брикетов из ТКО

В отличие от топливных брикетов, изготовленных из древесины, в которых содержится лигнин и смолы, в топливные брикеты из ТКО необходимо применение связующих компонентов. При этом необходимо учитывать, что используемых связующие вещества не должны снижать качество топлива. В качестве связующих компонентов использовались картон и крахмал из-за их доступности на предприятии.

Для проведения экспериментальных исследований связующих компонентов в топливных брикетах, изготовленных из ТКО, были приготовлены 2 образца размерами 10×15×1,5 см массой 100 г (рисунок 4). Брикеты были изготовлены путем перемешивания составных компонентов, затем полученная масса уложена в специально подготовленную форму, сверху положен гнет в качестве пресса. Заготовки были отправлены в электросушильный шкаф. Сушка проводилась при температуре 200°С в течение 45 минут.

Образцы имели следующий компонентный состав:

- образец 1 – 50 г опилки; 40 г «хвосты»; 10 г картон;
- образец 2 – 50 г опилки; 40 г «хвосты»; 10 г крахмал.



а) связующий компонент картон

б) связующий компонент крахмал

Рисунок 4 – Топливные брикеты

Для проверки безопасности изготовления топливных брикетов из ТКО были проведены анализы массовой концентрации наличия меди [23], хрома [24] и цинка [25] в водных вытяжках из образцов. Полученные результаты приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты анализов топливных брикетов из ТКО на наличие тяжелых металлов

	Массовая концентрация, мг/л		
	ионов меди	ионов хрома	ионов цинка
Топливный брикет связующий компонент – картон	0,79±0,128	1,086±0,135	0,0913±0,022
Топливный брикет связующий компонент – крахмал	0,89±0,156	1,09±0,155	0,9±0,216
Предельно допустимая концентрация веществ	1	0,5	5

Полученные результаты показывают, что содержание ионов хрома в исследуемых образцах превышает значения предельно-допустимой концентрации ионов меди в воде (ПДК=0,5 мг/л). Это вызвано неодинаковым

и неоднородным компонентным составом «хвостов». Остальные показатели находятся в предельно-допустимых концентрациях.

Была произведена оценка токсикологического анализа смывов с образцов для определения токсичности [26], результаты которой представлены в таблицах 12, 13, 14.

Таблица 12 – Результаты определения токсичности исследуемых вод от изучаемых образцов

Тест-объект	Кратность разбавления	Продолжительность наблюдения (ч, сут)	Оценка тестируемой пробы	Безвредная кратность разбавления	Нормативная документация
Daphnia magna Straus	1	48 ч	отсутствие	1 раз	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 (издание 2014 года)
	3		отсутствие		
	9		отсутствие		
	27		отсутствие		
	81		отсутствие		
Chlorella vulgaris Beijer	1	22 ч	отсутствие	11 раз	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 (издание 2014 года)
	3		отсутствие		
	9		отсутствие		
	27		отсутствие		
	81		отсутствие		

Примечание: за результат токсикологического анализа принимают среднее арифметическое значение трех результатов параллельных определений

Таблица 13 – Данные тестирования водной вытяжки образца

Тест-объект	Кратность разбавления, Кр	Нормативная документация
Chlorella vulgaris Beijer	1	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04
Daphnia magna Straus	1	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06

Таблица 14 – Значения кратности разведенной водной вытяжки из отхода (Приказ Минприроды России от 04.12.2014 N 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I - V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду»)

Класс опасности отхода	Кратность (Кр) разбавления водной вытяжки отхода
I	$K_p > 10000$
II	$1000 < K_p \leq 10000$
III	$100 < K_p \leq 1000$
IV	$1 < K_p \leq 100$
V	$K_p = 1$

Согласно данным Таблицы 13 максимальная кратность разбавления $K_p=1$ и соответственно отход относится к V классу опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду.

Для того, чтобы проверить соответствие изучаемых топливных брикетов по показателю зольность, образцы прокаливались при температуре 600 °С, затем полученная зола сопоставлялась по массовой доли остатка после прокаливания к первоначальной массе пробы [17]. Полученные результаты сведены в таблицу 15

Таблица 15 – Зольность исследуемых образцов

	Зольность, %
Топливный брикет связующий компонент – картон	16%
Топливный брикет связующий компонент – крахмал	12%
Требования НТД по зольности	12 – 20 %

Таким образом, исследуемые образцы по показателю зольности лежат в пределах норм, которые регламентированы ГОСТ Р 55133-2012 (CEN/TS 15358:2006) Топливо твердое из бытовых отходов. Системы менеджмента

качества. Частные требования для их применения при производстве топлива твердого из бытовых отходов.

Для определения теплоты сгорания топливных брикетов из ТКО было проведено изучение морфологического состава и теплоты сгорания составных компонентов ТКО. Теплота сгорания ТКО согласно требованиям норм и технических условий лежит в пределах 5 – 20 МДж/кг и напрямую зависит от морфологического состава. Чем больше в составе ТКО энергоемких компонентов, тем выше общая теплота сгорания.

В таблице 16 приведены сведения о теплосодержании компонентов, поступающих в качестве ТКО.

Таблица 16 – Теплосодержание составных энергоемких компонентов брикетов из ТКО

Составной компонент брикета	Теплосодержание, кДж
Смешанное волокно	7400,0
Газета	17600,0
Картон	18200,0
ПЭТ	22600,0
ПЭНД	41800,0
Смешанный пластик	34100,0
Плѐнка	26500,0
Дерево	11000,0
Кожа/Резина	29600,0
Парковые отходы	6600,0
Пищевые отходы	5700,0
Текстиль	13800,0
Крахмал	16800,0

Произведем оценку теплоты сгорания брикетов, исходя из их морфологического состава.

$$T_{\text{сгор ТКО}} = \sum_{i=1}^n \frac{(T_{\text{сгор } i} \cdot P_i)}{100} \quad (2.1)$$

где $T_{\text{сгор ТКО}}$ – теплота сгорания ТКО, кДж/кг;

n – общее число извлекаемых компонентов;

$T_{\text{сгор } i}$ – теплота сгорания i -го компонента, кДж/кг;

P_i – содержание i -го компонента в сортируемых отходах, мас. %.

Полученные результаты расчетов сведены в таблицы 17 и 18.

Таблица 17 – Результаты расчетов теплоты сгорания со связующим картоном

Составной компонент	Процентное содержание в брикете	Теплосодержание, КДж/кг	Теплота сгорания, МДж/кг
Картон	12,4%	18,2	2,3
Смешанное волокно	10,4%	7,4	0,8
ПЭТ	3,4%	22,6	0,8
ПЭНД	4,0%	41,8	1,7
Пластик разнорортный	63,4%	34,1	21,6
Пленка	3,7%	26,5	1,0
Древесные отходы	1,3%	11,0	0,1
Резина/кожа	1,3%	29,6	0,4
Итого	100,0%		28,6

Таблица 18 – Результаты расчетов теплоты сгорания со связующим картоном

Составной компонент	Процентное содержание в брикете	Теплосодержание, МДж/кг	Теплота сгорания, МДж/кг
Крахмал	12,4%	16,8	2,12
Смешанное волокно	10,4%	7,4	0,8
ПЭТ	3,4%	22,6	0,8
ПЭНД	4,0%	41,8	1,7
Пластик разносортный	63,4%	34,1	21,6
Пленка	3,7%	26,5	1,0
Древесные отходы	1,3%	11,0	0,1
Резина/кожа	1,3%	29,6	0,4
Итого	100,0%		28,42

Сопоставим полученные результаты теплоты сгорания исследуемых образцов (топливных брикетов) с основными топливами (таблица 19).

Таблица 19 – Теплота сгорания топлив

Наименование топливного материала	Теплота сгорания, МДж/кг
Топливный брикет со связующим компонентом – картон	28,6
Топливный брикет со связующим компонентом – крахмал	28,42
Каменный уголь	15 – 25
Двигательное топливо	42,5
Мазут	42
Щепа древесная	10
Гранулы древесные	17,5
Гранулы торфяные	10
Гранулы из соломы	14,5

На основании проведенных расчетов следует вывод, что по показателю теплоты сгорания, согласно классификации твердого топлива из бытовых

отходов по ГОСТ Р 54236-2010, качество твердого топлива, полученного в результате переработки ТКО будет соответствовать 1 классу качества, что является самым высоким пределом качества RDF.

Также выявлено, что предлагаемые топливные брикеты по теплоте сгорания не уступают каменному углю, а также топливным гранулам из древесины и соломы.

2.2 Разработка математической модели зависимости свойств связующих веществ на качество полученных топливных брикетов

Проведенные исследования показывают, что теплотворная способность, влагоустойчивость и прочность топливных брикетов зависят от многих факторов: компонентный и фракционный состав, влажность, давление, толщина брикетов и т.д. Как уже отмечалось, основными качествами топливных брикетов, влияющими на их потребительские качества, являются их механическая прочность и теплотворная способность.

Проведем математическое планирование эксперимента по созданию оптимального состава и качества топливных брикетов из ТКО.

Основные параметры, которые влияют на качество получаемых брикетов, являются фракционный состав опилок и «хвостов» – d , влажность компонентов – W , концентрация связующего компонента – C , толщина брикетов – h и давление при прессовании брикетов – P .

Исследования топливных брикетов проводили по двум основным факторам: концентрация связующего компонента (x_1), концентрация «хвостов» (x_2), влажность опилок и «хвостов» (x_3). Концентрация опилок оставалась постоянной. Параметром оптимизации является выходная теплотворность брикетов – Q (МДж/кг). Число независимых переменных факторов $k=2$.

В расчетах использовался план полного факторного эксперимента, который имеет вид 2^k , где 2 – это уровни варьирования факторов, k – количество варьируемых факторов.

При проведении экспериментов изменялся лишь один фактор, остальные оставались фиксированными. Результаты представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Условия для брикетирования ТКО со связующим компонентом картон (x_1 – концентрация связующего компонента (картон, крахмал), x_2 – концентрация «хвостов», x_3 – влажность)

Условия планирования	Факторы		
	x_1	x_2	x_3
Размерность	%	%	%
Интервал варьирования	10	10	5
Верхний уровень	20	40	20
Нижний уровень	0	20	10

В таблице 21 составлена матрица планирования для процесса брикетирования топливных брикетов со связующим компонентом картон и результаты реализации данной матрицы.

Таблица 21 – Матрица планирования экспериментов и полученные результаты для топливных брикетов со связующим компонентом картон

№ опыта	Результаты опытов			Среднее результатов			
	x_1	x_2	x_3	Q_1	Q_2	Q_3	Q_j
1	+	+	+	17,9	18,4	16,6	17,63
2	-	+	+	15,4	16,2	15,9	15,83
3	+	-	+	20,7	21,1	19,3	20,37
4	-	-	+	15,7	15,5	15,2	15,47

Продолжение таблицы 21

№ опыта	Результаты опытов			Среднее результатов			
	x ₁	x ₂	x ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q _j
5	+	+	-	18,7	19,3	19,9	19,30
6	-	+	-	15,8	15,4	16,2	15,80
7	+	-	-	21,3	21,4	22,2	21,63
8	-	-	-	15,8	15,2	16,1	15,70

Рассчитанные коэффициенты уравнений регрессии для рассматриваемых исследованных видов топливных брикетов сведены в таблицу 22.

Таблица 22 – Коэффициенты уравнений регрессии для топливных брикетов из ТКО

b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b _{1,2}	b _{1,3}	b _{2,3}	b _{1,2,3}
Опилки + «хвосты» + картон							
8,3145	0,0742	-0,1065	-0,0828	-0,0805	-0,0338	0,0055	0,1313
Опилки + «хвосты» + крахмал							
8,2531	0,1076	-0,1206	-0,1136	-0,0281	-0,0481	0,0101	0,1206

Кодирование переменных (2.2, 2.3, 2.4)

$$x_j^{\text{ц.п.}} = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \quad (2.2)$$

$$\Delta_{xj} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2} \quad (2.3)$$

$$x_j = \frac{x_1 - x_j^{\text{ц.п.}}}{\Delta_{xj}} \quad (2.4)$$

После проведения обработки полученных данных можно составить следующее уравнение регрессии, то есть математической модели получения топливных брикетов из ТКО с применением различных связующих компонентов (картон, крахмал).

Упростим полученную формулу для существующих условий (2.5):

$$Q = 6,6815 + 0,11284 \cdot C_{\text{CB}} - 0,04364 \cdot C_{\text{XB}} + 0,06222 \cdot w \quad (2.5) \\ + 0,001976 \cdot C_{\text{XB}} \cdot w + 0,0002626 \cdot C_{\text{CB}} \cdot C_{\text{XB}} \cdot w \\ - 0,007878 \cdot C_{\text{CB}} \cdot w - 0,001313 \cdot C_{\text{CB}} \cdot C_{\text{XB}},$$

где C_{CB} – концентрация связующего, %;

C_{XB} – концентрация хвостов, %;

w – влажность.

Произведенные расчеты и данные из таблицы 22 показывают, что с повышением содержания связующих компонентов повышается теплотворная способность топливных брикетов, а при увеличении содержания «хвостов» в составе топливного брикета, его теплотворность снижается.

Выводы к главе 2

На основе полученных данных в главе 1 о применяемых связующих в топливных брикетах для создания опытных образцов был подобран их состав и использованы картон и крахмал в качестве связующих. Проведенные экспериментальные исследования и разработанная математическая модель показали, что наиболее подходящим по тепловым характеристикам и химическому составу будут топливные брикеты с компонентным составом древесные опилки (50%), «хвосты» (40%), картон (10%)

Таким образом, для дальнейшего внедрения предлагается изготовление вышеуказанных топливных брикетов, которые по теплотворной способности способны заменить традиционные виды топлив.

Глава 3 Оптимизация технологии получения топливных брикетов из ТКО

3.1 Технологический процесс сортировки ТКО на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

Рассмотрим технологический процесс работы мусоросортировочного комплекса на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье» для определения возможности изготовления топливных брикетов из получаемых ТКО.

«Доставка твердых бытовых отходов на мусоросортировочный комплекс осуществляется мусоровозами.

Разгрузка ТКО, прошедших регистрацию и взвешивание, осуществляется в приемном отделении станции на бетонированной площадке.

При помощи трактора производится перемещение отходов, чтобы отходы сформировали на бетонном основании относительно ровный слой толщиной менее 1м, расположенный вдоль приямка с транспортными конвейерами» [7].

«Предварительная ручная сортировка проводится в приемном отделении путем извлечения из подготовленного слоя твердых бытовых отходов следующих компонентов:

- крупногабаритных и массивных предметов (КГМ), способных вывести из строя оборудование комплекса;
- крупных, хорошо различимых ВМР (куски картона, полиэтилена, бумаги), а также крупных компонентов пищевых отходов;
- древесных отходов;
- различного рода вредных веществ (емкости с остатками нефтепродуктов, бытовой химии и т.п.).

Отобранные компоненты складываются в отдельные бункера, установленные в непосредственной близости от зоны предварительной сортировки, но не мешающие маневрированию автотранспорта, и по мере

заполнения вывозятся на технологические участки или отправляются на полигоны» [7].

«После завершения предварительной сортировки слой отходов сдвигается с помощью трактора на подающий конвейер. По конвейеру отходы подаются в динамический сепаратор.

В процессе сепарирования отходы разделяются на два потока, представленные нижним и верхним продуктами. Нижний продукт представлен мелкими фракциями отходов менее 30 мм, содержащими в основном органические (пищевые) остатки, смет и др. Они накапливаются в передвижном бункере.

Верхний продукт представляет собой фракции бытовых отходов, в основном свободные от балластных примесей и содержащие ВМР, которые поступают на три горизонтальных конвейера, распределяющие отходы к рабочим местам производственных рабочих, где вручную осуществляется отбор не пищевых ВМР. Всего на трех линиях сортировки в производственном корпусе установлено 54 рабочих места (по 18 на каждую линию).

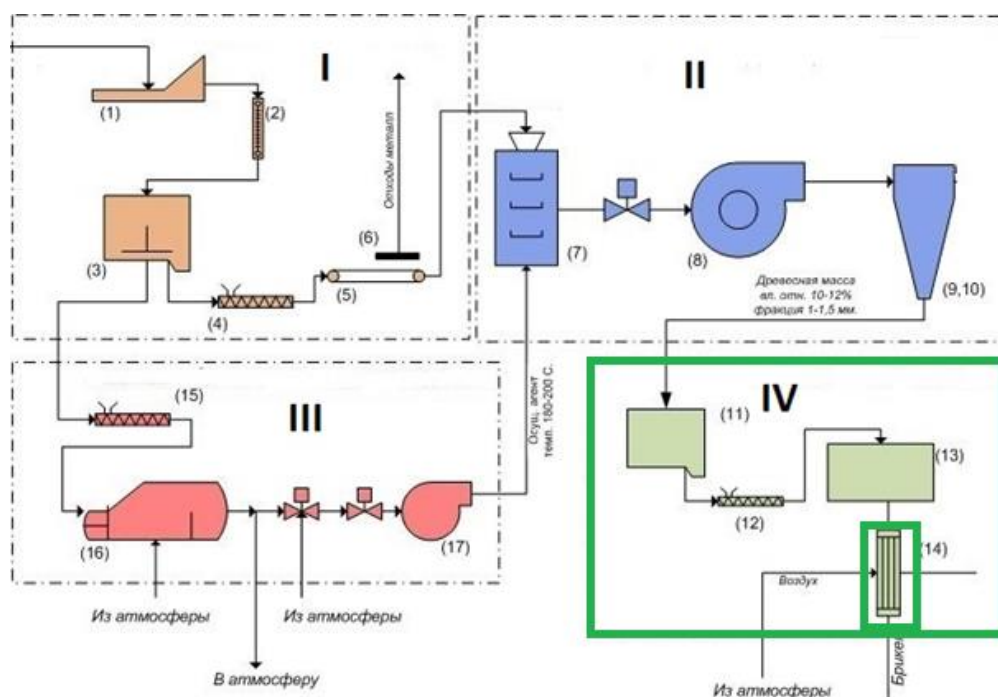
Отбираемые ВМР сбрасываются вручную в приемные ячейки объемом 1 м³, расположенные у каждого рабочего места. Из ячейки, вторичные ресурсы извлекают с помощью погрузчика, передвигая их в зону пакетирования, или временного хранения.

В процессе сортировки отбирается в среднем до 10% ВМР. Пакетированные ВМР отправляют в места временного хранения с целью последующей отгрузки на перерабатывающие предприятия, но их возможно использовать для изготовления топливных брикетов после внедрения дополнительного оборудования» [7].

3.2 Оптимизация технологии получения топливных брикетов из ТКО

Рассмотрим состав технологической линии по изготовлению топливных брикетов из ТКО (рисунок 5). В составе линии по производству топливных брикетов можно выделить четыре технологических участка.

Все элементы для производства топливных брикетов оборудования должны соединяться между собой транспортирующими устройствами. В качестве таких устройств используются ленточные или шнековые транспортеры. Кроме того, линия содержит в своем составе вентиляционные установки, которые обеспечивают не только охлаждение готовых брикетов, но и отвод дыма из зоны сушки сырья для их производства.



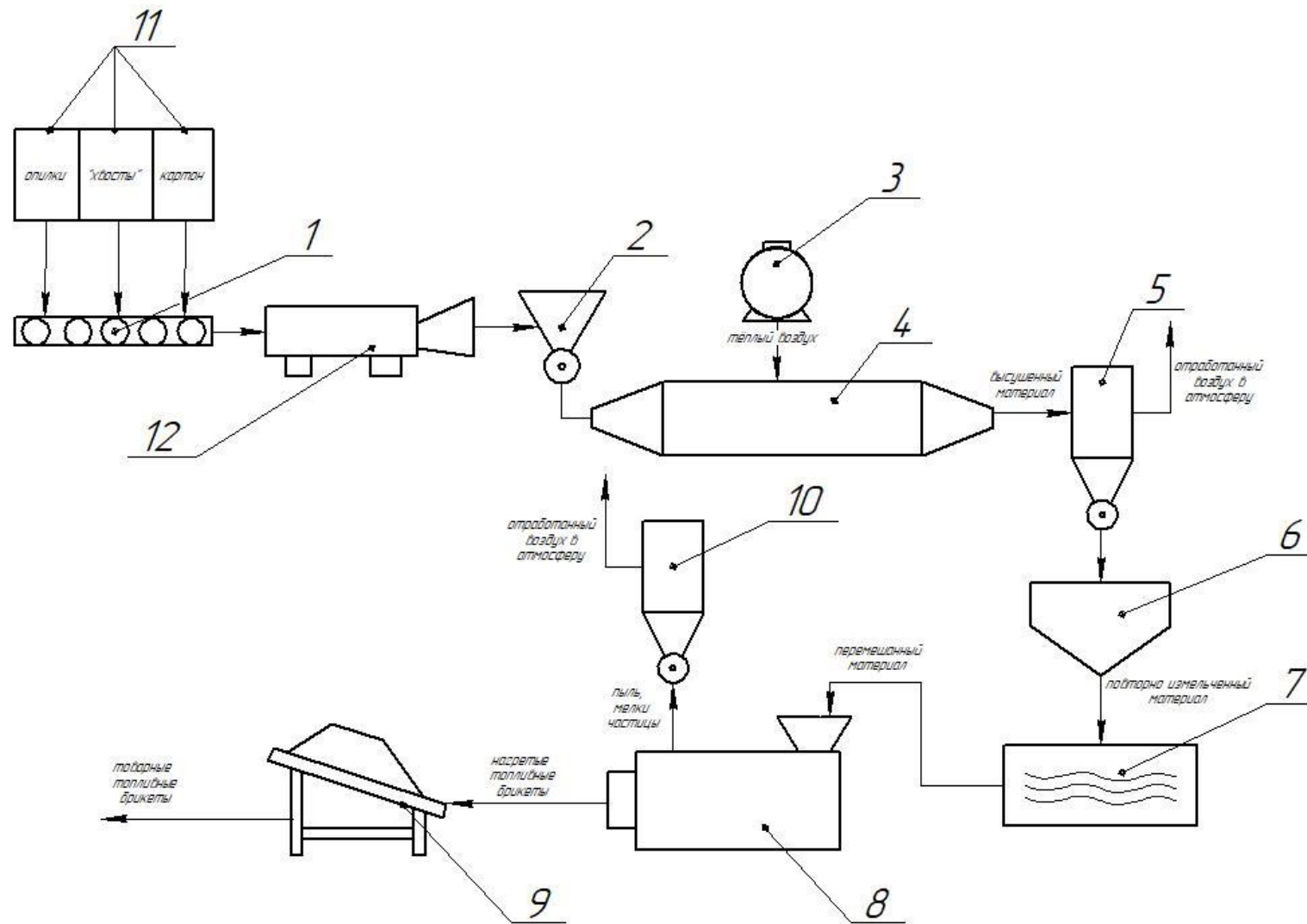
- I – участок подготовки сырья, II – участок массоподготовки (сушки и измельчения),
III – участок подготовки связующего компонента, IV – участок брикетирования
1 – бункер, 2 – конвейер скребковый, 3 – бункер с ворошителем, 4, 15 – конвейер шнековый, 5 – конвейер ленточный, 6 – сепаратор магнитный, 7 – аэродинамический диспергатор, 8 -вентилятор ВД, 9, 10 – циклон, 1 – бункер, 12 – конвейер шнековый, 13 – пресс брикетировочный, 14 – станция охлаждения, 16 – теплогенератор твердотопливный, 17 – вентилятор

Рисунок 5 – Технологическая линия по производству топливных брикетов из ТКО

Для производства брикетов измельченная масса (опилки, «хвосты») должна иметь влажность 8-12 %, крупность не более 8 мм. Прочность брикетов достигается за счет связующего компонента (картон), добавляемого на стадии измельчения, а плотность – за счет высокого давления (800-1400 кгс/см). Сырьем для брикетов являются опилки (50%), «хвосты» из ТКО (40%), а также связующий компонент – картон (10%).

Технологический процесс производства топливных брикетов заключается в выполнении следующих в строго определенной последовательности операций (рисунок 6). Влажные опилки, стружка «хвосты», загружаются в бункер скребкового транспортера и подаются в теплогенератор непрямого нагрева. К теплогенератору подведен воздуховод, по которому нагретый воздух поступает в сушилку. Из этого же склада сырье загружается в бункер скребкового транспортера с частотным регулятором и подается на дисковый сепаратор для первичной сортировки. Крупные куски отделяются от общей массы и удаляются в емкость.

Если в качестве сырья используются крупные отходы, то в линию необходимо включить рубильную машину, которая перерабатывает крупные куски в технологическую щепу. Очищенные материалы подаются в приемный бункер барабанной сушилки, подхватываются нагретым воздухом, поступающим по воздуховоду. Смесь воздуха и опилок поступает в сушилку, где происходит интенсивная сушка. По материалопроводу высушенные опилки поступают в циклон, откуда выгружается в дробилку, где происходит их дальнейшее измельчение. Отработанный воздух выбрасывается в атмосферу вентилятором. Материалопровод пневмотранспорта подает измельченное сырье в емкость. Внутри емкости находится мешалка, препятствующая слеживанию материала.



1 – дискový сепаратор, 2 – приемный бункер, 3 – теплогенератор непрямого нагрева, 4 – сушилка, 5 – циклон, 6 – дробилка, 7 – емкость с мешалкой, 8 – пресс, 9 – охладитель, 10 – циклон аспирации, 11 – дозатор компонентов, 12 – рубильная машина

Рисунок 6 – Технологический процесс производства топливных брикетов

Затем материал выводится в пресс, где происходит формирование брикетов. Брикет, выходящий из пресса, имеет высокую температуру и непрочен. Для того чтобы придать ему нужную твердость, влажность и температуру, необходимо охлаждение. Из пресса брикеты попадают в охладитель, где происходит их охлаждение и очистка от мелких частиц. На выходе из охладителя устанавливается циклон аспирации, который улавливает пыль и мелкие частицы.

При брикетировании влажных отходов (более 12%) наибольшие затраты (около 65–70 %) приходится на процесс сушки.

Временное сопротивление на изгиб брикетов из опилок и мелкой фракции щепы (длина волокон не более 8 мм) достигает до 20 кг/см².

Рассмотрим характеристики оборудования, которое предлагается к использованию для производства топливных брикетов из ТКО.

Дисковый сепаратор (рисунок 7)

Дисковый сепаратор используется для сортировки сыпучих материалов.

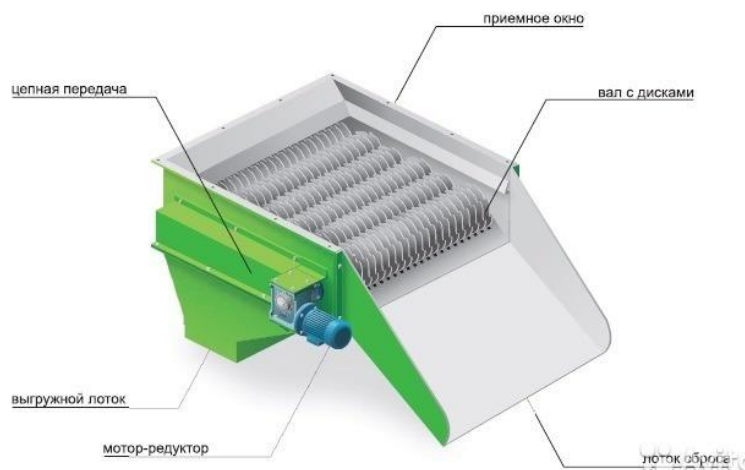


Рисунок 7 – Дисковый сепаратор

Сырье подается на дисковый сепаратор сверху. Сырье требуемых размеров (кондиционное) проходит через зазоры между вращающимися дисками и выгружается снизу. Некондиционное сырье и посторонние

предметы не проходят сквозь диски и за счет вращения дисков перемещаются по поверхности к месту выгрузки.

Размер частиц, получаемых на выходе, и производительность зависят от расстояния между дисками сепаратора. Увеличение производительности достигается за счет увеличения числа валов, ширины сепаратора и частоты вращения привода.

Приемный бункер (рисунок 8)

Конструкция бункера и его объем подбираются таким образом, чтобы максимально обеспечить выполнение технологических задач (прием, наполнение, хранение, выдачу). Бункеры выполняются из конструкционной стали (09Г2С, СтЗсп5), а также нержавеющей стали (08Х18Н10 или др.).

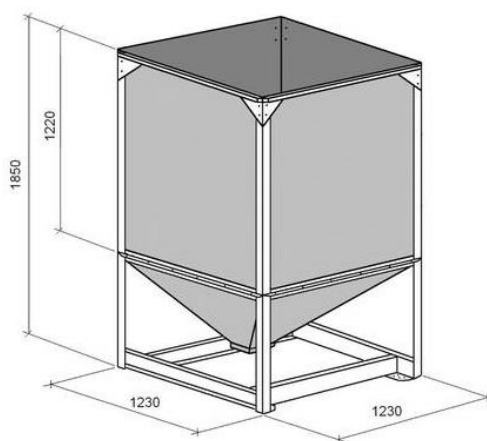


Рисунок 8 – Приемный бункер

Теплогенератор непрямого нагрева (рисунок 9)

Теплогенератор непрямого нагрева – это печь, в которой теплоотдача производится посредством нагретой поверхности корпуса. Камера сгорания изолирована во избежание теплопотерь через корпус, а теплоотведение выполняется за счет подачи горячего воздуха через трубу воздуховода. При этом воздух отводится не самотеком, а при помощи мощного вентилятора из термостойкого материала.



Рисунок 9 – Теплогенератор непрямого нагрева

В таблице 23 приведены технические характеристики рассматриваемого теплогенератора.

Таблица 23 – Технические характеристики теплогенератор непрямого нагрева

Габариты Д×Г×В	1170×560×860 мм
Тепловая мощность	58,60 кВт
Масса,	132,00 кг
Поток воздуха	5900 м ³ /час
Номинальное напряжение	220 В
КПД	92 %

Сушилка (рисунок 10)

Сушилка является одним из наиболее ответственных звеньев в конвейерной технологии. Конвейер сушилки состоит из движущейся в сушильной камере ленты с подвесками, несущими изделия. За время одного оборота конвейерной ленты проходит цикл сушки. Длина ленты пропорциональна времени сушки, которое можно в некоторых пределах регулировать изменением скорости ее движения. Источником теплоты в

сушилках конвективного типа является горячий воздух, циркулирующий в полости камеры.

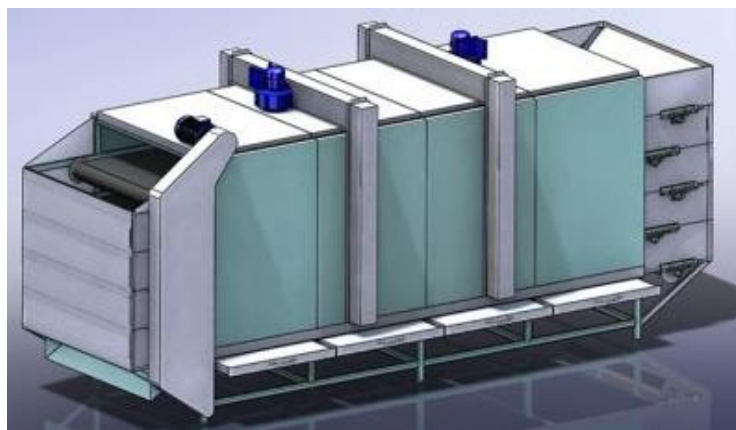


Рисунок 10 – Сушилка

Технические характеристики сушилки приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Технические характеристики сушилки

Наименование характеристики	Значение
Тип конвейерной ленты	проволочная, тефлон
Производительность	0,5 тонн/час
Установленная мощность	12 кВт
Потребляемая мощность	8-10 кВт
Количество нагревательных элементов	6 шт.
Полезная площадь загрузки,	3,25 м ²
Напряжение питающей сети	380 В
Частота переменного тока	50 Гц
Температура в рабочей зоне	0-125°С, 0-250°С
Размер рабочей камеры ширина/длина/высот	700/4000/300 мм
Ширина конвейерной ленты	620 мм

Продолжение таблицы 24

Наименование характеристики	Значение
Скорость движения конвейерной ленты	регулируемая, м/мин
Нагрузка на 1 м. погонный конвейерной ленты	не более 50-120 кг
Габаритные размеры ширина/длина/высота	5300/900/1600 мм
Масса	не более 1000 кг

Циклон (рисунок 11)

Для очистки воздушного потока от взвешенных частиц в технологической схеме установлено 2 циклона на разных этапах производства топливных брикетов. Первый циклон осуществляет отделение воздуха от высушенных частиц, второй – подключен к аспирационной сети для исключения запыления производственного помещения



Рисунок 11 – Циклон

Дробилка (рисунок 12)

Гидравлический привод измельчителя позволяет эффективно работать практически с любым материалом, включая крупные фракции. Дробилка

подходит для измельчения древесных отходов (в том числе с крупными пнями и бревнами), зеленых отходов и биомассы, а также для ТКО.



Рисунок 12 – Дробилка

Данный тип оборудования уж применяется на предприятии и не требует дополнительной установки.

Емкость с мешалкой (рисунок 13)

Внутри рабочей емкости расположена лопастная мешалка, которая обеспечивают равномерное и качественное перемешивание. Загрузка продукта осуществляется через крышку. Для полной выгрузки продукта и очистки рабочей емкости конструкция смесителя предусматривает наличие опрокидывания.



Рисунок 13 – Емкость с лопастной мешалкой

Пресс (рисунок 14)

Гидравлический пресс формирует усилие до 500 Бар, в результате такого силового воздействия происходит самопроизвольный разогрев используемого сырья и формирование из него плотного бруска прямоугольной формы.



Рисунок 14 – Пресс для изготовления топливных брикетов

Охладитель (рисунок 15)

Охладитель брикетов предназначен для охлаждения брикетов перед отламыванием или отрезанием, для регулирования плотности брикетов с помощью прижимов. Производительность данного оборудования до 500 кг/час.



Рисунок 15 – Охладитель

Рубильная машина (рисунок 16)

Предназначена для измельчения древесины материалов с целью получения технологической и/или энергетической щепы.



Рисунок 16 – Рубильная машина

В таблице 25 представлены технические характеристик рассматриваемой рубильной машины.

Таблица 25 – Характеристики рубильной машины

Наименование характеристики	Значение
Размер приёмного окна	200×200 мм
Мощность двигателя	18,5 кВт 380 В
Производительность	до 2000 кг/час
Максимальный размер для измельчения	170×170 мм
Расположение приёмного окна	вертикально-наклонное
Тип измельчителя	ножевой, диско-молотковый
Диаметр диска	600 мм
Количество оборотов диска	до 1500 об/мин
Количество рубительных ножей	3 шт.
Длина ножа	240 мм

Продолжение таблица 25

Наименование характеристики	Значение
Материал ножей	сталь 6ХС
Количество молотков	24 шт.
Количество контр-ножей	1 шт.
Способ передачи энергии	клиноремённая передача
Размер выгрузного окна	300×205 мм
Высота выброса продукции (от земли)	140 мм
Размер получаемой щепы	от 5 до 35 мм (регулируется ситом и вылетом ножей)
Цветовая схема покраски оборудования	сине-красная
Комплектация	калибровочное сито
Размеры	1350×770×1050 мм
Вес	440 кг

Описываемое оборудование устанавливается в единую технологическую линию и полностью удовлетворяют требованиям технологии производства топливных брикетов.

3.3 Расчет материального и теплового балансов процесса брикетирования ТКО

3.3.1 Материальный баланс процесса брикетирования

Проведение расчета материального баланса необходимо для получения сведений по объемам расхода материалов для достижения заданной производительности конечного продукта.

Согласно закону сохранения материи, масса веществ, поступающих в какую-либо систему, равна массе веществ, покидающих эту систему,

независимо от того, какие физические или химические изменения они претерпевают.

За счет сушки поступающего сырья происходит потеря воды в пределах 20-30%, поэтому при проведении расчетов принимаем начальную массу материалов 100%, конечную массу топливных брикетов – 70%. Удаляемая часть материалов для изготовления топливных брикетов в соответствии с технологическим процессом отсеивается.

Исходные данные для расчета.

В таблице 26 приведены данные по компонентному составу отходов ТКО для изготовления топливных брикетов.

Таблица 26 – Компонентный состав исходной композиции

Наименование компонента	Компонентный состав	Процентное соотношение, %
Опилки	Измельченные остатки ТКО из дерева	50
«Хвосты»	Смешанное волокно	11,7
	Смешанный пластик	7,2
	Плѐнка	5,1
	Кожа	4,6
	Резина	5,3
	Текстиль	6,1
Картон	Целлюлоза	10

На рисунке 17 представлены материальные потоки процесса изготовления топливных брикетов.

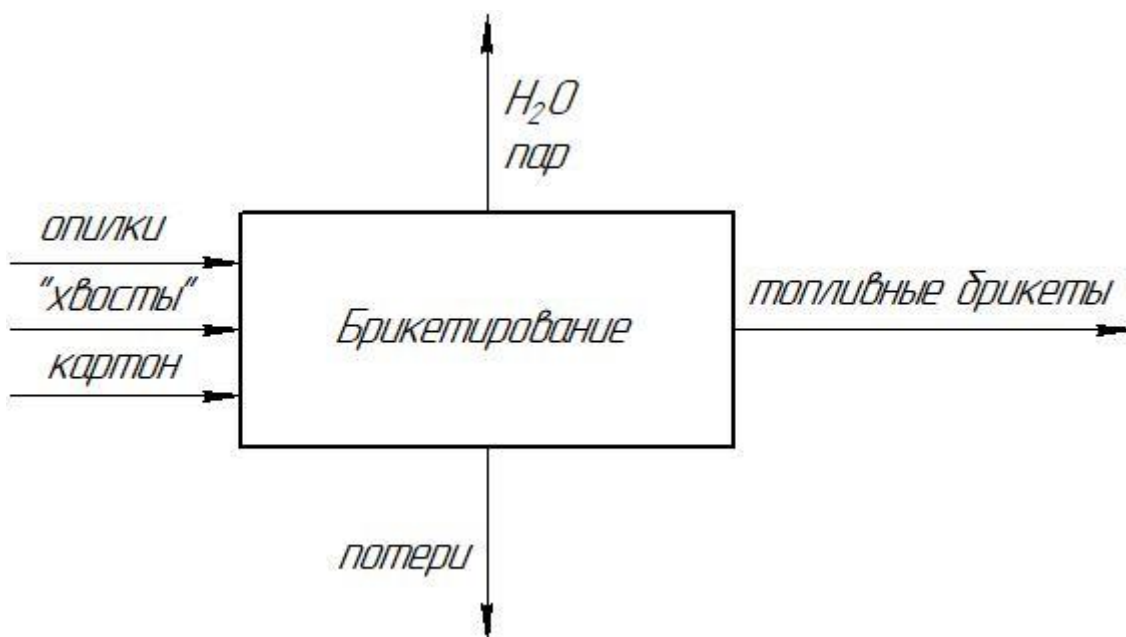


Рисунок 17 – Материальные потоки процесса изготовления топливных брикетов

Расчет производится на 1 тонну брикетируемого материала.

Расчетные параметры процесса брикетирования:

- брикетируемый материал $G_{\text{брикет.мат.}} = 1000$ кг (опилки – 50%, хвосты – 40%, картон – 10%);
- температура брикетирования – 105°C;
- влажность материала $\varphi = 40$ %;
- давление при прессовании $p = 250$ Бар = 25000 кПа.

Уравнение материального баланса имеет вид (3.1):

$$G_{\text{брикет.мат.}} = G_{\text{топ.бр.}} + G_{\text{потери}} + G_{\text{H}_2\text{O}} \quad (3.1)$$

где $G_{\text{брикет.мат.}}$ – масса брикетируемого материала;

$G_{\text{топ.бр.}}$ – масса получаемых топливных брикетов;

$G_{\text{потери}}$ – масса потерь материала;

$G_{\text{H}_2\text{O}}$ – масса испаряемой влаги в процессе сушки и нагрева

материалов.

Массу получаемых брикетов находим по формуле (3.2):

$$G_{\text{топ.бр.}} = G_{\text{брикет.мат}} - (G_{\text{потери}} + G_{\text{H}_2\text{O}}) , \quad (3.2)$$

Согласно полученным данным H_2O составляет 30% от общей массы перерабатываемого материала, в соотношении 0,4:0,6. По формуле (3.3) найдем количество выделившегося пара

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = G_{\text{брикет.мат}} \cdot 0,3 \cdot 0,4, \quad (3.3)$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \cdot 0,3 \cdot 0,4 = 120 \text{ кг}$$

Произведем расчет потерь, которые составляют 10%, по формуле (3.4):

$$G_{\text{потери}} = G_{\text{брикет.мат}} \cdot 0,10 \quad (3.4)$$

$$G_{\text{потери}} = 1000 \cdot 0,10 = 100 \text{ кг}$$

Рассчитаем массу получаемых топливных брикетов

$$G_{\text{топ.бр.}} = 1000 - (120 + 100) = 780 \text{ кг}$$

На основании проведенных расчет составим материальный баланс (таблица 27).

Таблица 27 – Материальный баланс производства топливных брикетов

Приход			Расход		
Компонент	Масса, кг	Содержание, %	Компонент	Масса, кг	Содержание, %
Опилки	500	50	Топливные брикеты	780	78
«Хвосты»	400	40	Пар	120	12
Картон	100	10	Потери	100	10
Итого:	1000	100	Итого:	1000	100

3.3.2 Тепловой баланс процесса брикетирования

Исходные данные:

- удельная теплоемкость $Q_1 = 2720 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;
- удельная теплоемкость картона $Q_2 = 1340 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;
- удельная теплоемкость «хвостов» складывается из составляющих в процентном соотношении, которой указано в таблице 27 и составляет $Q_3 = 1480 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;
- масса получаемых топливных брикетов принимаем 100 кг.

Тепловой баланс процесс брикетирования выражается по формуле (3.5)

$$Q_{\text{брикет.мат.}} + Q_{\text{возд}} = Q_{\text{потери}} + Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{\text{топл.брик.}} + Q_{\text{луч}}, \quad (3.5)$$

где $Q_{\text{брикет.мат.}}$ – тепло, вносимое брикетируемым материалом;

$Q_{\text{возд}}$ – тепло, вносимое воздухом аэрации;

$Q_{\text{потери}}$ – тепло, уносимое с переработанными отходами;

$Q_{\text{H}_2\text{O}}$ – тепло, затрачиваемое на испарение влаги;

$Q_{\text{топл.брик.}}$ – оставшееся тепло готовых топливных брикетов;

$Q_{\text{луч}}$ – тепло, расходуемое лучеиспусканием от наиболее нагретого тела (компостный ряд) к менее нагретому (окружающая среда).

Теплом, вносимым с воздухом и подаваемым на аэрацию топливных брикетов, в первой фазе можно пренебречь, так как в зависимости от условий оно может быть как положительным, так и отрицательным.

Тепло, вносимое с брикетируемым материалом $Q_{\text{брикет.мат.}}$, найдем по формуле (3.6)

$$Q_{\text{брикет.мат.}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (3.6)$$
$$Q_{\text{брикет.мат.}} = 2,72 + 1,34 + 1,48 = 5,54 \text{ кДж}$$

Тепло, выделяемое в процессе компостирования на 1 кг брикетируемого материала, составляет 5,540кМДж, соответственно, для компостируемой массы $m_1 = 100$ кг находится по формуле (3.7):

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{биомасса}} \cdot m_1 \quad (3.7)$$
$$Q_{\text{общ}} = 100 \cdot 5,54 = 554 \text{ кДж}$$

Для расчета расходуемого тепла используем справочные данные. Так как наибольшую составляющую в общей массе компонентов для брикетирования составляют опилки, то принимаем, что тепло, уносимое с не переработанными отходами, составляет 30% от общего количества потерь, подаваемых на брикетирование. Таким образом, $Q_{\text{потерь}}$ просчитываем по формуле (3.8):

$$Q_{\text{потери}} = \frac{Q \cdot C}{100 \%} \quad (3.8)$$

где Q – удельная теплоемкость, кДж;

C – содержание не переработанных отходов, %.

$$Q_{\text{потери}} = \frac{2,72 \cdot 30}{100 \%} = 0,816 \text{ кДж}$$

Для расходуемого тепла используем справочные данные, тепло готового брикета найдем с учетом 30 % убыли брикетируемого материала по формуле (3.9):

$$Q_{\text{топл.брик}} = Q_{\text{брикет.мат}} - \frac{Q_{\text{брикет.мат}} \cdot C}{100 \%} \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{топл.брик}} = 5,54 - \frac{5,54 \cdot 30}{100 \%} = 1,662 \text{ кДж}$$

Из материального баланса процесса известно, что количество испарившегося – 120 кг, поэтому $Q_{\text{H}_2\text{O}}$ рассчитаем по формуле (3.10):

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 4,2 \quad (3.10)$$

где 4,2 кДж – удельная теплоемкость воды.

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = 120 \cdot 4,2 = 504 \text{ кДж}$$

Количество тепла, переходящего от более нагретого тела к менее нагретому посредством лучеиспускания, определим по формуле (3.11):

$$Q_{\text{луч}} = C \cdot \varphi \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (3.11)$$

где C – коэффициент излучения, Вт/(м²· К⁴);

F – площадь поверхности излучения, м²,

φ – угловой коэффициент, безразмерный (примем = 1)

T_1 – температура поверхности более нагретого тела (поверхность испарения влаги), К;

T_2 – температура поверхности менее нагретого тела (температура воздуха), К;

C – коэффициент лучеиспускания.

Коэффициент лучеиспускания находится по формуле (3.12):

$$C = e \cdot C_{\text{ч}}, \quad (3.12)$$

$C_{\text{ч}} = 5,244 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела;

e – степени черноты поверхности тела (примем $e = 0,92$).

$$C = 0,92 \cdot 5,244 = 4,824$$

Так как температура поверхности испарения брикетируемого материала может изменяться в течение процесса с 95 до 105 °С, определим теплоту для нескольких температур поверхности.

Подставим исходные данные в формулу (3.12):

$$Q_{\text{луч1}} = 4,824 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{368}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 52,919 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{луч2}} = 4,824 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{373}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 57,839 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{луч3}} = 4,824 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{378}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 62,953 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{луч об}} = 52,919 + 57,839 + 62,953 = 173,711 \text{ кДж}$$

На основе расчетов теплового баланса процесса брикетирования ТКО составим таблицу 28.

Таблица 28 – Тепловой баланс процесса брикетирования ТКО

Начало процесса		Конец процесса	
Компонент	Тепло, кДж	Компонент	Тепло, кДж
Бригетируемый материал	5,54	Топливные брикеты	1,662
Процесс брикетирования	554	Не переработанные отходы	0,816
Аэрация	-	Пар	504,0
		Остывание массы (излучение)	173,711
Итого:		Итого:	680,189

Из таблицы 26 следует, что наибольшее количество тепла уходит на излучение и на испарение воды. Также видно, что тепло, образующееся во время процесса, будет компенсировать данные теплотери, а также потери, связанные с остыванием массы, значит, дополнительно вводить тепло в процесс не нужно.

3.4 Расчет экономической эффективности предлагаемой технологии

Для определения рентабельности и эффективности изготовления топливных брикетов из ТКО необходимо произвести расчеты.

В технологическом процессе используются материалы, которые есть в ООО «ЭкоРесурсПоволжье» и не требует приобретения, соответственно, отсутствуют затраты на сырье.

Капитальные затраты на приобретение и монтаж оборудования складываются из прямых затрат на его приобретение и сопутствующих затрат: формула (3.13):

$$K_{П.об} = K_{об} + K_{соп}, \quad (3.13)$$

где $K_{П.об}$ – капитальные затраты на оборудование;

$K_{об}$ – прямые затраты на приобретение оборудования;

$K_{соп}$ – сопутствующие затраты на оборудование.

Прямые капитальные вложения на приобретение линии для производства топливных брикетов составляют $K_{об} = 600000$ руб.

Затраты на доставку и монтаж оборудования принимаются по укрупнённым нормам в процентах от стоимости оборудования:

– доставка – 2 % ($K_{дост}$);

– монтаж оборудования – 10...15% ($K_{монт}$);

– пуско-наладочные работы – 2...3% ($K_{пн}$);

Сопутствующие капитальные затраты на оборудование рассчитываются по формуле (3.14):

$$K_{соп} = K_{об} \frac{K_{дост} + K_{монт} + K_{пн}}{100\%}, \quad (3.14)$$

$$K_{соп} = 600000 \frac{2 + 10 + 2}{100\%} = 84000 \text{ руб.}$$

$$K_{соп} = 600000 + 84000 = 684000 \text{ руб.}$$

В статье расходов на содержание и эксплуатацию оборудования учтены следующие затраты:

- амортизация оборудования (при отсутствии данных принята норма амортизации 15% от стоимости оборудования). Амортизацию оборудования рассчитали по формуле 3.15:

$$H_{ам} = 0,15 \cdot C_{об}, \quad (3.15)$$

$$H_{ам} = 0,15 \cdot 600000 = 90000 \text{ руб.}$$

- текущий ремонт и содержание оборудования (затраты на запасные

части, материалы и накладные расходы) – составляет 30% от амортизации оборудования;

– износ и восстановление инструментов и приспособлений – 5% от амортизации оборудования;

– прочие расходы – 1% от амортизации оборудования.

Полученные данные свели в таблицу 29.

Таблица 29 – Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Наименование статей	Сумма, руб., $P_{об}$
Амортизация оборудования. $H_{ам} = \%$	90000
Текущий ремонт и содержание оборудования	27000
Износ и восстановление инструментов	4500
Прочие расходы	900
Итого:	122400

Затраты содержание и эксплуатацию оборудования, исходя на 1 кг продукции, находится по формуле (3.16):

$$P_{об.уд} = \frac{P_{об}}{M} \quad (3.16)$$

$$P_{об.уд} = \frac{122400}{435,5} = 281,07 \text{ руб.}$$

Далее проведем расчет расходов на топливо и энергию. Годовой расход электроэнергии рассчитывается по формуле (3.17):

$$P_{Э.год} = \frac{\sum N_{дв} \cdot K_{Здв} \cdot K_{ЗН} \cdot \Phi_{эф}}{\eta_{дв} \cdot \eta_c} \quad (3.17)$$

где, $\sum N_{дв}$ – суммарная мощность электродвигателей;

$K_{з\delta\delta}$ – коэффициент загрузки электродвигателей по времени;

$K_{зN}$ – коэффициент загрузки электродвигателей по мощности (0,7...0,9);

$\eta_{\delta\delta}$ – КПД электродвигателей (0,85...0,95);

η_c – КПД электросети завода (0,9...0,95).

$$P_{\text{Э.год}} = \frac{\sum 47 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 4520}{0,85 \cdot 0,9} = 194389,54 \text{ Вт/год} = 194,39 \text{ кВт/год}$$

Расход электроэнергии на один килограмм продукции находится по формуле (3.18):

$$P_{\text{Э.дв}} = \frac{P_{\text{Э.год}}}{M} \tag{3.18}$$
$$P_{\text{Э.дв}} = \frac{194,39}{435,5} = 0,45 \text{ кВт/кг}$$

Расчет фонда заработной платы производится в соответствии с принятой системой оплаты труда на линии по производству топливных брикетов и включает основную и дополнительную зарплату. В таблице 30 приведено штатное расписание установки.

Таблица 30 – Штатное расписание для обслуживания линии по производству топливных брикетов

Наименование должностей	Количество в смену, чел.	Штат, чел.	Оклад, руб.	Тариф за месяц
Механик	1	2	25000	50000
Оператор	2	4	23500	94000
Итого:	3	6		144000

Заработная плата обслуживающего персонала за год составляет:

$$\Phi_T = 144000 \cdot 12 = 1728000 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в ночное время равна 40% от тарифной ставки, в вечернее – 20%. Фонд оплаты труда в ночное и вечернее время определяем по формуле (3.19):

$$\Phi_{\text{н.и.в.}} = \frac{\Phi_T \cdot N_n}{3 \cdot 100\%} + \frac{\Phi_T \cdot N_v}{3 \cdot 100\%} \quad (3.19)$$

где $\Phi_{\text{н.и.в.}}$ – фонд оплаты за ночное и вечернее время, руб.;

N_n – норматив ночных, $N_n = 40\%$;

N_v – норматив вечерних, $N_v = 20\%$.

$$\Phi_{\text{н.и.в.}} = \frac{1728000 \cdot 40}{3 \cdot 100\%} + \frac{1728000 \cdot 20}{3 \cdot 100\%} = 345600 \text{ руб.}$$

Фонд оплаты труда в праздничные дни определяем по формуле (3.20):

$$\Phi_{\text{пр.д.}} = \text{Пр} \cdot C_T \quad (3.2)$$

где $\Phi_{\text{пр.д.}}$ – фонд за работу в праздничные дни, руб.;

Пр. – количество праздников в году;

Ст. час. – часовая тарифная ставка.

$$\Phi_{\text{пр.д.}} = 10 \cdot 24 \cdot 111 = 26640 \text{ руб.}$$

Основной заработный фонд определяем по формуле (3.21):

$$\Phi_o = \Phi_T + \Phi_{\text{н.и.в.}} + \Phi_{\text{пр.д.}} \quad (3.21)$$

$$\Phi_o = 1728000 + 345600 + 26640 = 2100240 \text{ руб.}$$

Дополнительный заработный фонд определяем по формуле (3.22):

$$\Phi_{\text{д}} = \frac{\Phi_{\text{т}} \cdot \text{Н}_{\text{д}}}{100\%} \quad (3.22)$$

где $\Phi_{\text{д}}$ – дополнительный фонд, руб.;

$\text{Н}_{\text{д}}$ – норматив дополнительной зарплаты.

$$\Phi_{\text{д}} = \frac{1728000 \cdot 67,6}{100\%} = 1168128 \text{ руб}$$

Годовой фонд заработной платы рабочих определяем по формуле (3.23):

$$\Phi_{\text{год.р}} = \Phi_{\text{о}} + \Phi_{\text{д}} \quad (3.23)$$

где $\Phi_{\text{год}}$ – годовой фонд рабочих, руб.

$$\Phi_{\text{год.р}} = 2100240 + 1168128 = 3268368 \text{ руб.}$$

Среднемесячную заработную плату определяем по формуле (3.24):

$$\Phi_{\text{ср.м}} = \frac{\Phi_{\text{год}}}{12 \cdot K_{\text{чел}}} \quad (3.24)$$

где $\Phi_{\text{ср.м}}$ – среднемесячная зарплата, руб.

$$\Phi_{\text{ср.м}} = \frac{3268368}{12 \cdot 6} = 45394 \text{ руб}$$

Рассчитаем единый социальный налог по формуле (3.25):

$$\mathcal{Z}_{\text{с.н.}} = \frac{\Phi_{\text{год}} \cdot \text{Н}_{\text{с.н}}}{100\%} \quad (3.25)$$

где $\text{Н}_{\text{с.н.}}$ – норматив на социальные нужды, %.

$$\mathcal{Z}_{\text{с.н.}} = \frac{3268368 \cdot 22\%}{100\%} = 719040,95 \text{ руб.}$$

По статье цеховых расходов учитываются следующие затраты:

– амортизация зданий (норма амортизации зданий принимается по данным базового предприятия или 2% его стоимости);

– содержание зданий (стоимость содержания одного квадратного метра здания определяется по данным базового предприятия);

– затраты на научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы и рационализацию (по данным базового предприятия или 2% от общей заработной платы всех работников);

– затраты на охрану труда – 5% от зарплаты всех работающих;

– прочие расходы – 1% от зарплаты всех работающих.

Результаты расчётов сводятся в таблицу 31.

Таблица 31 – Расчёт цеховых расходов

Наименование статей расхода	Сумма, руб., $P_{ц}$
Амортизация зданий	25000
Содержание зданий	1500
Затраты на НИОКР	65367,36
Затраты на охрану труда	163418,4
Прочие расходы	32683,68
Итого:	287969,44

Расчет цеховых расходов на 1 кг продукции:

$$P_{\text{Об.уд}} = \frac{287969,44}{435,5} = 661,24 \text{ руб.}$$

Анализ себестоимости одного килограмма продукции сводит все рассчитанные величины и производит окончательный расчет для нахождения

себестоимости одного килограмма продукции. Данные приведены в таблице 32.

Таблица 32 – Себестоимость продукции

Наименование статей	Сумма, руб.
Сырьё и материалы	0
Энергия	1,94
Основная заработная плата	45394
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	281,07
Цеховые расходы	661,24
Полная себестоимость	46338,25

Расчёт экономической эффективности

Стоимость годовой продукции определяется произведением цены единицы продукции на ее количество (формула 3.26):

$$R = Ц \cdot N \quad (3.26)$$

где R– стоимость продукции, рублей.

Для расчета прибыли берем стоимость продукции как 120% от ее себестоимости.

$$R = 46338,25 \cdot 1,2 \cdot 435,5 = 24216369,45 \text{ руб}$$

Прибыль рассчитывается по формуле (3.27):

$$Pr = R - C_{\pi} \quad (3.27)$$

Рентабельность производства находится по формуле (3.28):

$$РП = \frac{R - C_{п}}{C_{п}} \quad (3.28)$$

Индекс доходности рассчитывается по формуле (3.29):

$$ИД = \frac{R}{Ц \cdot М} \quad (3.29)$$

$$ИД = \frac{24216369,45}{46338,25 \cdot 435,5} = 1,2$$

$$Пр = 24216369,45 - (41657,09 \cdot 315,65) = 4035998,57 \text{ руб}$$

$$РП = \frac{24216369,45 - (46338,25 \cdot 435,5)}{(46338,25 \cdot 435,5)} = 0,2 \text{ руб/руб}$$

Далее определим налог на прибыль по формуле (3.30):

$$Н_{пр} = \frac{Пр_{ож} \cdot K_{нал}}{100} \quad (3.30)$$

где $K_{нал}$ – ставка налога на прибыль (20%).

$$Н_{пр} = \frac{4035998,57 \cdot 20}{100} = 807199,71 \text{ руб}$$

Определим чистую ожидаемую прибыль по формуле (3.31):

$$Пр_{чист} = Пр_{ож} - Н_{пр} \quad (3.31)$$

$$Пр_{чист} = 4035998,57 - 807199,71 = 3228798,86 \text{ руб}$$

После определения чистой прибыли определили расчётный срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций), необходимых для осуществления проектируемого варианта, по формуле (3.32):

$$T_{ок} = \frac{K_{общ}}{Pr_{чист}} \quad (3.32)$$

где $T_{ок}$ – срок окупаемости капитальных вложений.

$$T_{ок} = \frac{632500 + 122400}{3228798,86} = 0,23 \text{ года} = 2,76 \text{ месяца}$$

Полученные данные представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Показатели экономической эффективности

Наименование показателя	Сумма за 1 кг продукции, руб.
Ожидаемая прибыль	24216369,45
Налог на прибыль	807199,71
Чистая прибыль	3228798,86
Рентабельность производства	0,23 года

В заключении составили таблицу технико-экономических показателей (таблица 34).

Таблица 34 – Технико-экономические показатели представленной разработки

Показатели	Значение показателя
Производственная мощность	435,5 кг/год
Себестоимость продукции	4,63 руб./кг
Капитальные вложения	684000 руб.
Чистая прибыль	3228798,86 руб./год
Срок окупаемости	0,23 года

Выводы к главе 3

В ООО «ЭкоРесурсПоволжье» функционирует технологический процесс сортировки поступающих ТКО, благодаря этому возможно выделение требуемых компонентов для производства топливных брикетов. Для этого необходимо внедрение линии по их изготовлению на предприятии.

Проведение расчетов материального и теплового балансов показывают, что дополнительных затрат (кроме закупки оборудования) на производство топливных брикетов не требуется, так как вся материальная база присутствует в организации.

Таким образом, будет решен вопрос по утилизации части поступающих ТКО путем вторичной переработки.

Для обоснования эффективности монтажа линии по брикетированию ТКО в топливные брикеты проведены расчеты, по результатам которых видно, что данное внедрение имеет прямой экономический эффект и является быстро окупаемым.

Заключение

В большинстве стран мира самой распространенной практикой остается захоронение поступающих твердых коммунальных отходов, не разработано полностью безотходных технологий для обезвреживания или утилизации ТКО. Для того, чтобы повысить эффективность переработки поступающих отходов, необходимо повсеместно вводить практику раздельного сбора или сортировки в месте сбора отходов.

Для условий РФ при проектировании и создании предприятий отрасли обращения с отходами необходимо в обязательном порядке учитывать свойства, присущие российским ТКО (по морфологии с учетом отсутствия раздельного сбора).

На сегодняшний день получает развитие вопрос переработки поступающих ТКО во вторичное сырье. Большой интерес представляют компоненты, при сжигании которых выделяется достаточное количество теплоты и отсутствуют вредные выделения. Они могут быть использованы для изготовления топливных брикетов.

При изготовлении и использовании топливных брикетов необходимо уделять большое внимание экологическому аспекту. Предварительно должен осуществляться детальный анализ компонентов, которые будут входить в состав брикетов, а также изучать продукты горения. При сепарации поступающих ТКО следует следить за отсутствием вредных и опасных веществ, которые могут попасться в топливные брикеты.

Процесс производства топливных брикетов позволит решить такие задачи, как энергетическая и экологическая. Использование ТКО в качестве топлива – альтернативный источник энергии, который является доступным, дешевым и возобновляемым. С экологической точки зрения производство топливных брикетов позволяет решать проблему утилизации отходов потребления и снижает количество выбросов CO₂ в атмосферу.

Полученные результаты показывают, что характеристики и воздействие топливных брикетов со связующими компонентами картон и крахмал очень близки по значениям, но при производстве брикетов из ТКО на мусороперерабатывающем заводе экономически выгодно использовать картон.

Проведенные экспериментальные исследования топливных брикетов, изготовленных из ТКО с двумя связующими, на содержание тяжелых металлов в своем составе показали, что при сжигании и получении водных вытяжек исходные образцы не содержат вредных и опасных компонентов. Также изучен такой показатель, как зольность, который показал результаты значительно ниже традиционных топлив. Таким образом, использование топливных брикетов, изготовленных из ТКО, не будет оказывать негативного воздействия на окружающую среду, при этом теплота сгорания позволит заменить традиционные топлива.

Была разработана математическая модель зависимости свойств связующих веществ на теплотворную способность полученных топливных брикетов, которая позволила рассчитать теплотворность брикетов и сделать вывод, что оптимальным для применения является связующий компонент – картон (теплотворная способность составляет 8,0519 МДж/кг).

Проведение расчетов экономической эффективности приобретения и монтажа линии по производству топливных брикетов из ТКО показывают, что несмотря на большие прямые вложения 684000 руб. достигается положительный эффект для предприятия в виде прибыли в объеме 3228798,86 руб./год. Также стоит отметить, что для производства брикетов из ТКО не требуется закупка сырья, все необходимые компоненты присутствуют на предприятии при сортировке и переработке поступающих отходов.

Получаемые топливные брикеты из ТКО по себестоимости (4,63 руб./кг) не превышают среднерыночную стоимость топливных брикетов из природных материалов, имея более высокую теплотворность.

Список используемой литературы

1. Бушихин В.В., Кайгородов О.Н., Полозов Г.М., Федосеев О.Е. Альтернативные топлива из твердых отходов. Применение и легализация [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecovestnik.ru/index.php/obrashchenie-s-otkhodami/1737-alternativnye-topлива-iz-tverdykh-otkhodov-primeneniye-i-legalizatsiya> (дата обращения 15.07.2020).
2. Бушихин В.В., Ломтев А.Ю., Будко А.Г., Пахтинов В.М. Альтернативное топливо из твердых бытовых отходов. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.atr-sz.ru/rus/ipeg/articles/id/3117/> (дата обращения 15.07.2020).
3. Владимиров С.Н., Ермакова Л.С. Методы прессования твердых бытовых отходов. [Электронный ресурс]. URL: <https://research-journal.org/technical/metody-pressovaniya-tverdykh-bytovyx-otkhodov/> (дата обращения 23.07.2020).
4. Дейнеко И.П. Утилизация лигнинов: достижения, проблемы и перспективы // Химия растительного сырья. 2012. №1. С.5-20.
5. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям, введенного в действие 1 июля 2017 года Приказом Росстандарта от 15 декабря 2016 г. № 1887. [Электронный ресурс]. - URL: <http://base.garant.ru/71569790/> (дата обращения: 16.12. 2019).
6. Исмаилов Э.Ф. Эффективность комплексной переработки отходов в регион / Э.Ф. Исмаилов // Вестник Университета, ФГБОУ ВПО «ГУУ». – 2013. – № 11. – С. 39 – 41.
7. Латыпова М.В. Анализ развития системы обращения с твердыми коммунальными отходами в России: проблемы и перспективы с учетом европейского опыта // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2018. – Т. 14, № 4. – С. 741 – 758.
8. Марьев В.А., Смирнова Т.С., Киселева С.П. Экотехнопарки как основа комплексной системы управления отходами и вторичными ресурсами (мировой опыт). В сборнике: Эколого-ориентированное управление рисками

и обеспечение безопасности социально-экономических и общественно-политических систем и природно-техногенных комплексов Сборник материалов круглого стола. Государственный университет управления. 2017. С. 102-110.

9. Никишанин, М.С. Углеродосодержащие брикеты на разных связующих веществах, их теплофизические характеристики и использование в газогенераторах / М.С Никишанин, П.К. Сеначин // Ползуновский вестник. – 2009. - № 1-2. – С. 305-311.

10. Пат. РФ 2378325 (С2) МПК С10L5/10; С10L5/12; С10L5/14 Топливный брикет / И.М. Мазурин, Б.П. Пономаренко; заявл. 27.08.2009; опубл. 10.01.2010.

11. Патент RU 2396306 Способ изготовления топливного брикета. Автор(ы): Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. URL: <https://patentdb.ru/patent/2396306> (дата обращения 20.07.2020).

12. Патент RU 2484125 Способ изготовления топливных брикетов из биомассы. Автор(ы): Табакаев Р.Б., Заворин А.С., Казаков А.В., Плахова Т.М. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2484125> (дата обращения 20.07.2020).

13. Патент RU 2567861 Способ изготовления топливных брикетов из твердых бытовых отходов (ТБО). Автор(ы): Богачев А.П., Калинин А.В. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2567861C1> (дата обращения 20.07.2020).

14. Патент RU 2663020 С2 Способ использования традиционных бытовых отходов (ТБО) с использованием технологий двойного капсулирования, обеспечивающих 100% экологически чистую утилизацию ТБО. Автор(ы): Аверьянов Н.А., Себекин Р.С., Абрамов А.В. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2663020C2/ru> (дата обращения 20.07.2020).

15. ПНД Ф 14.1:2:4.48-96 Методика измерений массовой концентрации ионов меди в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с диэтилдитиокарбаматом свинца. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808608.htm#i171310> (дата обращения 10.12.2020).

16. ПНД Ф 14.1:2:4.52-96 Методика измерений массовой концентрации ионов хрома в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом с дифенилкарбазидом. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808599.htm> (дата обращения 10.12.2020).

17. ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.29-02. Методика выполнения измерений массовой доли золы в твердых и жидких отходах производства и потребления, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях гравиметрическим методом. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/556287221> (дата обращения 10.12.2020).

18. Загрутдинов Р.Ш. Подготовка и газификация твердых бытовых отходов в двухзонных газогенераторах прямого процесса, работающих в составе мини-ТЭЦ и комплексов по производству синтетических жидких топлив / Р.Ш. Загрутдинов, В.Н. Негуторов, Д.Г. Малыхин, П.К. Сеначин, М.С. Никишанин, С.А. Филипченко // Ползуновский вестник. – 2013. - № 4/3. – С. 47-62.

19. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06, Т 16.1:2:2:3:3.9-06 Методика измерения количества *Dafnia magna* straus для определения токсичности питьевых, пресных природных сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета. [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293767/4293767837.htm> (дата обращения 10.12.2020).

20. Правила обращения с твердыми коммунальными отходами, утвержденные постановлением Правительства РФ от 12 ноября 2016 г. № 1156. [Электронный ресурс]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/420382731> (дата обращения: 15.12. 2019).

21. Рязанов А.В. Анализ эффективности работы предприятия по сортировке и утилизации твердых бытовых отходов / А.В. Рязанов, А.Н.

Завершинский, А. В. Можаров // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 3 (45) Часть 2. – С. 110–111.

22. СНиП II-К.2-62 Планировка и застройка населенных мест. Нормы проектирования. [Электронный ресурс]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/464688377> (дата обращения: 10.12. 2019).

23. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-рВ. [Электронный ресурс]. - URL: <http://static.government.ru/media/files/y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf> (дата обращения: 10.12. 2019).

24. Судакова И.Г., Гарынцева Н.В., Иванов И.П. и др. Выделение и применение суберина из бересты коры березы // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2012. № 2(5). 168–177.

25. Файзуллина Л.М., Тельцова Л.З. Оценка эффективности раздельного сбора твердых коммунальных отходов на примере ООО «Экология РБ» ГК «Чистый Город». [Электронный ресурс]. - URL: <http://dokbsu.ru/archive/2018/3/5/> (дата обращения: 12.12. 2019).

26. Федеральная служба государственной статистики по образованию и управлению ТКО. [Электронный ресурс]. - URL: http://gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment (дата обращения: 23.12. 2019).

27. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 №89-ФЗ с изменениями от 27.12.2019 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения: 10.12. 2019).

28. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 №7-ФЗ с изменениями от 27.12.2019 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_.doc_LAW_34823/ (дата обращения: 10.12. 2019).

29. Федеральный закон от 29.12.2014 № 458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». [Электронный ресурс]. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172948/ (дата обращения: 20.12. 2019).
30. Экотехнопарки России. Твердые бытовые отходы. 2018. № 1 (138). С. 55.
31. Byoung J. A., Hee-sun C., Soo M. L., et.al. Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from *Larix kaemferi* C. and *Liriodendron* // *Renewable Energy*. 2014. N 62. P. 18-23
32. Chuen-Shii Chou, Sheau-Horng Lin, Wen-Chung Lu Preparation and characterization of solid biomass fuel made rice straw and rice bran // *Fuel Processing Technology*. 2009. Vol. 90. P. 980-987
33. Donghui Lu, Tabil Lope G., Wang D., Wang G. Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders // *Biomass and Bioenergy*. 2014. Vol. 69. P. 287-296.
34. European Commission - DG ENV, Brussels Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/index.htm> (дата обращения: 25.12. 2019).
35. Khitrin K.S., Fuks S.L., Khitrin S.V., et.al. Lignin utilization option and methods // *Russian Journal of General Chemistry*. 2012. Vol. 82, N5. P. 977-984
36. Pat. WO 2011062488 A1 IPC C10L5/44 Fuels pellets, their preparation and use / Meneva B.V., Renirie J.G., Van Der Meijden J. A. A., Van Soest J. J.G
37. Sotande O.A., Oluyeye A.O., Abah G.B. Physical and combustion properties of briquettes from sawdust of *Azadirachta indica* // *Journal of Forestry research*. 2010. N 21(1). P. 63 – 67
38. Sudakova I.G., Garyntseva N.V., Ivanov I.P., et al. Isolation and application of suberin of the outer layer birch bark // *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. 2012. № 2 (5). P. 168-177 in Russ.