

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

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

(наименование кафедры)

18.04.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки)

Рациональное использование природных и сырьевых ресурсов в химической
технологии и нефтехимии.

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Разработка эффективной системы переработки ПЭТ

Студент

М.Н. Гадакаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

М.В. Кравцова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

к.х.н., доцент, Ю.Н. Орлов

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.п.н., доцент, М.В. Кравцова

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019г.

Тольятти 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Теоретический анализ эффективности существующих способов переработки ПЭТ	7
1.1 Общая характеристика ПЭТ	7
1.2 Анализ накопления ТКО по Самарской области и доли ПЭТ в общем объеме	8
1.3 Требования к качеству ПЭТ	9
1.4 Направление методов современной переработки ПЭТ	12
1.5 Патентный поиск по переработки ПЭТ	24
1.6 Описание технологического процесса переработки ПЭТ на ООО «ЭкоРесурсПоволжье»	31
1.7 Выводы по главе 1	36
Глава 2. Совершенствование переработки ПЭТ	37
2.1 Техническое решение по совершенствованию технологического процесса по переработки ПЭТ	37
2.1.1 Моделирование процесса сепарации переработки ПЭТ	37
2.1.2 Расчет воздушного сепаратора для разделения ПЭТ-флекссы от примесей ПВХ	41
2.1.3 Расчет математической модели по параметрам данного сепаратора	45
2.2 Пример извещения о результатах испытаний сырья, на примере ЗАО «Комитекс Авто»	50
2.3 Расчет экономического эффекта	51
2.4 Выводы по главе 2	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	76
ПРИЛОЖЕНИЕ А	84

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. По официальным данным ежегодно в России образуется более 7,5 млрд. тонн отходов, в том числе 90-120 млн. тонн твёрдых коммунальных отходов (ТКО). В настоящее время на территории Российской Федерации в отвалах и хранилищах накопилось более 94 млрд. тонн твёрдых отходов.

В настоящее время потребление полимеров постоянно растет. Пластмассы заменяют бумагу, металл, картон, стекло (рисунок 1). Увеличиваются объемы упаковочных материалов, соответственно все образующиеся отходы из пластмассы размещаются на полигонах.

Известно, что сроки разложения традиционных пластмасс составляют от 10 до 500 лет, поэтому проблема утилизации отходов пластмассы становится все более актуальной.

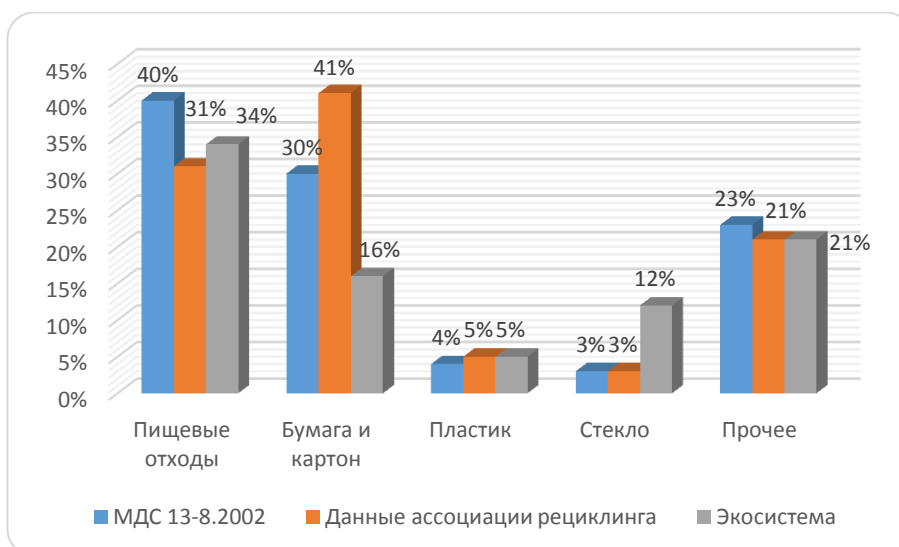


Рисунок 1 – Экспертная оценка структуры ТКО в России за 2018г.

Одной из главных проблем пластиковых отходов является присутствие в них различных примесей: красителей, стабилизаторов, пластификаторов, специальных добавок, содержащие металлы, ртуть, свинец, кадмий. Сжигание отходов не помогает решить данную проблему утилизации в окружающую среду. Решением данной проблемы может быть утилизации из пластмассы их вторичная переработка -

рециклинг. Одним из легко перерабатываемых пластиковых отходов, является полиэтилентерефталат (ПЭТФ, ПЭТ). Высокая технологичность отходов ПЭТ и широкие возможности их использования сделали их самыми перерабатываемыми в мире. Существуют значительные отличия в структуре распределения переработанных отходов ПЭТ. В США почти половина всех волокон производится из ПЭТ, а в Западной Европе – самый наивысочайший уровень (более 30%) переработки вторичного ПЭТ в бутылки. Каждый год рынок ПЭТ все больше и больше расширяется и рынок спроса растет, подверженный существенному влиянию экологических и экономических факторов. До 15 млн тонн в 2019г. Прогнозируется рост к вторичной переработке ПЭТ-тары и использованию продуктов ее переработки, такая же, как и при переработке тары из алюминия. Оба случая играют важную роль как в экологическом плане так и в экономическом.

Таким образом, можно сформировать **проблему исследования:** необходимость принятия первоочередных задач по снижению доли пластика в ТКО, поступающего на полигоны, с учетом существующих мощностей предприятий по переработке пластиковых отходов.

Цель исследования: повышение эффективности переработки ПЭТ для увеличения доли его использования во вторичное сырье с целью снижения на окружающую среду.

Объект исследования: технологии переработки ПЭТ на базе существующего оборудования в ООО «ЭкоРесурПоволжье».

Предмет исследования: качественные характеристики ПЭТ-флекс.

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

1. Провести анализ существующих способов переработки ПЭТ определение показателей, которые способствуют увеличению получения вторичного продукта.
2. Совершенствование технологии переработки ПЭТ на примере ООО «ЭкоРесурПоволжье».

3. Провести расчет экономической эффективности предложенной технологии.

Теоретической и методологической основой исследования являются научные труды отечественных ученых в области переработки пластмасс таких, как Чупрова Л.В., Айзенштейн Э.М., Керницкий В.И., Митикаев А.К., Филимонов О.И., Калугина Н.Л. Варламова И.А., Супрун Л.В., Клинков А.С., Петров К.М., Еремин В.Г., Протасов В.Ф., Коузов П.А.

Теоретическая значимость исследования заключается в подробном анализе существующих технологий по переработки ПЭТ с учетом современных требований к качеству ПЭТ-флекссы, представлению показателей для выбора эффективного способа сепарации. Составлением математической модели и расчет воздушного сепаратора с учетом получения продукции с минимальным количеством примесей и высоким экономическим показателем.

Практическая значимость исследования представлена практическими решениями и внедрением оборудования на базе существующей линии по переработки ПЭТ, которые позволят снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду, за счет снижения образования технологических отходов при минимизации примесей в продукции.

Защищаемые положения:

1. Техническое решение по совершенствованию переработки ПЭТ, способствующие снижению примесей ПВХ в готовой продукции.
2. Математическая модель и выбора технологических параметров для линии по переработки ПЭТ.

Состояние изученности выбранной темы:

В работах российских и зарубежных ученых проведено изучение проблемы существующих способов переработки ПЭТ, а также изучен вопрос увеличения объемов переработки и качества сырья.

Практика показывает, что при переработке ПЭТ, снижение доли примесей в промежуточном продукте (ПЭТ-флекссы), приводит к снижению

не перерабатываемых технологических отходов при производстве конечного продукта – полиэфирного волокна, тем самым уменьшая объем пластиков, попадающих на полигон для захоронения.

Структура диссертации: Диссертация состоит из введения, двух глав, заключения, списка используемых источников, включающего 73 наименования. Объем работы составляет 83 страницы машинописного текста, содержит 15 рисунка, 20 таблиц, 1 приложение.

Глава 1. Теоретический анализ эффективности существующих способов переработки ПЭТ

1.1 Общая характеристика ПЭТ

«Полиэтилентерефталат (ПЭТФ, ПЭТ) – термопластик, наиболее распространенный представитель класса полиэфиров, известен под разными фирменными названиями. Продукт поликонденсации этиленгликоля с терефталевой кислотой (или её диметиловом эфиром); твердое, бесцветное, прозрачное вещество в аморфном состоянии и белое, непрозрачное в кристаллическом состоянии. Переходит в прозрачное состояние при нагреве до температуры стеклования и остается в нем при резком охлаждении и быстром проходе через так называемую зону кристаллизации. Одним из важных параметров ПЭТ является характеристическая вязкость, определяемая длиной молекулы полимера. С увеличением присущей вязкости скорость кристаллизации снижается. Прочен, износостоек, хороший диэлектрик не разлагается в природе длительное время (процесс разложения занимает свыше 500 лет)» [4].

«Товарный полиэтилентерефталат выпускается обычно в виде гранул 2-4 мм. Обозначение полиэтилентерефталата на российском рынке – ПЭТ или ПЭТФ. В глобальном масштабе ПЭТФ изначально выпускался как волокнообразующий пластик, но быстро обрел популярность как альтернатива существующим материалам для упаковки. ПЭТ были предъявлены и установлены требования эксплуатации, которые определяются «ГОСТ 51695-2000. Полиэтилентерефталат. Общие технические условия» [12].

Основные сферы применения ПЭТ в России – производство заготовок (пресс форм) различного вида, из которых затем изготавливаются (выдуваются) пластиковые контейнеры различного вида и назначения (в основном, пластиковые бутылки). В меньшей степени в России ПЭТ

применяется для производства плёнок и волокон. В мире ситуация противоположная. Основная техническая характеристика ПЭТ – вязкость, благодаря этому свойству он и нашел широкое применение – в первую очередь в качестве универсальной тары под напитки» [42].

1.2 Анализ накопления ТКО по Самарской области и доли ПЭТ в общем объеме

За последние 5-8 лет объем образующихся отходов в процессе жизнедеятельности человека в России возрос в 1,8 раза. По исследованиям в среднем один житель России в год образует от 1 до 1,5 м³ ТКО. Ускоренным ростом накопления и образования отходов отмечается коммунальный сектор, что связано, с возросшим использованием пластиковой упаковки и упаковочных материалов.

«Морфологический состав ТКО, индивидуален для каждого населенного пункта и зависит от множества факторов, например, от климатических и социально-экономических условий» [48].

По официальным данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, объем образований ТКО за 2018г. по Самарской области составил 1 460 808 тн.

Анализ морфологической оценки состава ТКО необходимо для определения оптимальных способов их переработки, утилизации, обезвреживания и максимального использования ТКО в качестве вторичного сырья.

«Морфологический состав твердых коммунальных отходов -это содержание их составных частей, выраженное в процентах к общей массе. Основными составляющими ТКО являются бумага, пищевые отходы, полимерные материалы, стекло, отсев» [10].

В диаграмме 1 представлен усредненный морфологический состав ТКО по Самарской области, средние значения соответствуют морфологическому

составу отходов, поступающих на полигон ТКО для захоронения или мусоросортировочные заводы.

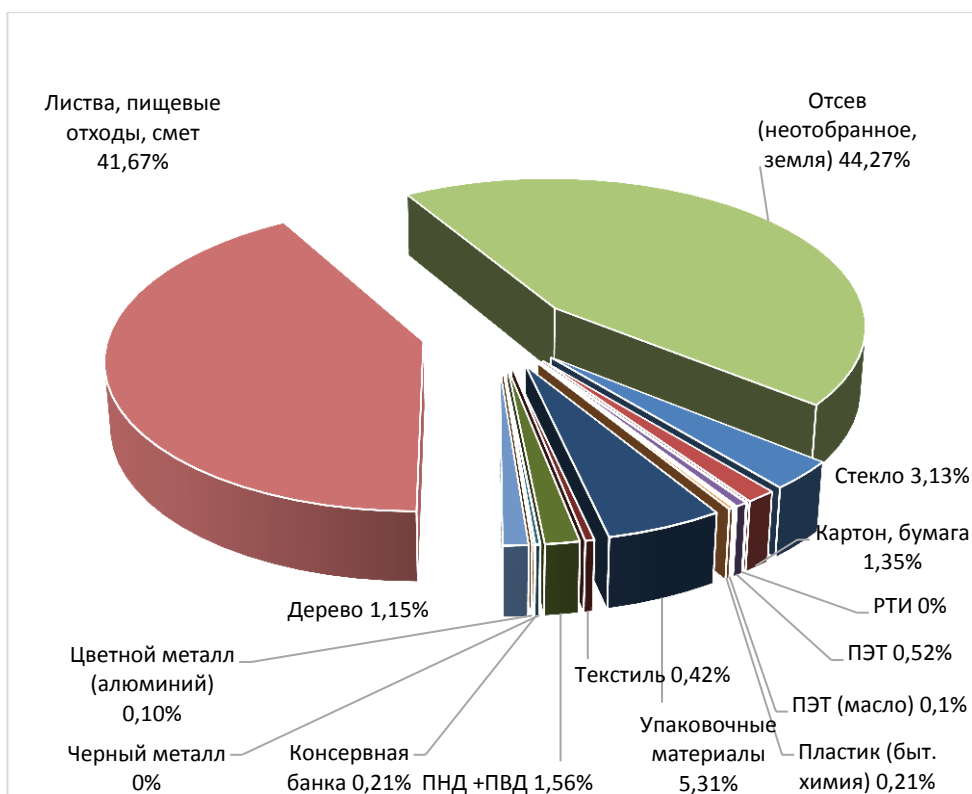


Диаграмма 1 - Морфологический состав ТКО по Самарской области за 2018г.

Сезонные изменения состава ТКО характеризуются увеличением содержания пищевых отходов с 20-25% весной до 40-55% осенью, что связано с большим употреблением овощей и фруктов в рационе питания [23].

1.3 Требования к качеству ПЭТ

Основные направления применения ПЭТ в России – производство заготовок различных типов, из которых в дальнейшем изготавливаются пластиковые контейнеры различных типов и назначения. Меньше в России, ПЭТ используются в производстве пленок и волокон. ПЭТ обладает вязкостью, которая является основной технической характеристикой, благодаря чему он нашел широкое применение – прежде всего, как универсальная тара для напитков. Обладая достаточно стабильными механическими свойствами, ПЭТ легко поддается переработке, не меняя

своих физических и механических свойств, что явилось толчком бурного развития вторичного ПЭТ не только в мире, но и в России.

Технология переработки ПЭТ-тары не требует введение в них труднолетучих низкомолекулярных веществ (пластификаторов), повышающих их пластичность и эластичность. Они отсортировываются на мусороперерабатывающих комплексах вручную или автоматически от других полимеров и по цветовой гамме, затем измельчаются, промываются, сушатся. В итоге получается промежуточный полуфабрикат ПЭТ-флекса, которые представляют собой частицы разной формы и цвета.



Рисунок 1 – Бело-голубая ПЭТ-флекса

Основное направление использования ПЭТ-флексы — это производство полиэфирного волокна. Данное волокно имеет самый широкий спектр применения: от текстильной промышленности до автомобилестроения. Это пустотелое волокно, которая имеет вид спиральной пружины. Эти единичные составляющие, переплетаясь между собой, образуют сильную пружинистую структуру волокна.

Одним из критериев качества ПЭТ-флексы является минимальное количество примесей, особенно ПВХ, который имеет отличную от ПЭТ температуру плавления при производстве полиэфирного волокна.



Рисунок 2 – Полиэфирное волокно

При прохождении через экструдер, примеси ПВФ вскипают и выделяют пары соляной кислоты, которые проходя через фильеры, разрывают сформированные волокна. В этом случае образуется большое количество не перерабатываемых технологических отходов. Поэтому существуют технические требования к ПЭТ-флексам, сформированные на основании рекомендации европейского агентства PETCOR представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к качеству ПЭТ

Показатель	Для невымытых флексов	Для мытых флексов
1	2	3
Внешний вид	Частицы неправильной формы	
Сортировка	100% сортировка по группам: 1. Прозрачные 2. Голубые 3. Коричневые 4. Зеленые 5. Смеси	
Включение флейков ПЭТ другого цвета	не более 0,5% от массы	
Размеры флейков ПЭТ в т.ч. фракция		
- от 0 до 3 мм	не более 5%	
- от 3 до 20 мм	не менее 95%	
Температура плавления, °С	248 ± 2	
Характеристическая вязкость, не менее, мг/л	70	
Содержание прочих пластиков	не допускается	
Содержание металла, в том числе цветного	не допускается	

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Содержание бумаги и др. не полимерных примесей	не регламентировано.	0,15%
Содержание полимерной этикетки	не регламентировано.	0,05%
Насыпная плотность, г/л	260-280	
Качество промывки	-	отсутствие серо-коричневого налета после термообработки при $t=180^{\circ}\text{C}$ в течение 60 мин
Влажность (при взвешивании), % масс.	не регламентировано.	до 1

1.4 Направление методов современной переработки ПЭТ

Одним из возможных направлений является вторичная переработка ПЭТ-бутылок в высокоэнергетическое топливо. Опытные установки, где передробленная пластмасса проходила дополнительную обработку, отличаются высокой производительностью. В результате испытаний из одного килограмма сырья было получено 0,9 литра бензина

В данные установки, достаточно требовательные к качеству изначального сырья и углеродосодержащие компоненты разлагаются под воздействием температуры. Затем от используемого специального катализатора, и при помощи реактора где и происходит взаимодействие водорода и углерода, что и позволяет получить бензин любого октанового числа, дизельное топливо, и конечный продукт мазут.

Утилизации пластиковых отходов – сжигание часто применяется на практике. Высокий потенциал при сжигании в энергетическом плане дает широкое применение данного вида утилизации (теплотворная способность ПЭТ - 23540 кДж / кг). В странах Европы часто используют данный метод утилизации отходов, таким образом экономя средства на содержание мусорных полигонов. ТБО сжигаются в специальных печах, дымы которых проходят через специальные фильтры, к сожалению фильтры не могут очистить весь дым на 100% или даже не могут соответствовать нормам.

Изделия из пластика имеют огромное количество примесей и добавок, стабилизаторы и активно химические элементы, металлы и соли. Пластик при температуре 700-850 °С переходит в газообразное состояние. При охлаждении такого пластика водой, она сильно загрязняется, что требует сильной очистки от загрязнения. Огромные затраты при использовании такого тепла, которые иногда не целесообразны, так при сгорании необходимо большое количество кислорода.

Одним из способов переработки, является химический метод, но он отличается дороговизной, так как оборудование имеет сложную конструкцию и стоит больших денег.

Химический способ чаще всего направлен на пластик, которые не был привлечен и сам не имеет химический св-в. Также данный способ используется если пластик нельзя переработать механически.

Эта тенденция включает в себя более известный и экономичный непрерывный процесс, который является более экологически чистым способом переработки отходов деполимеризации ПЭТ. «Деполимеризация полиэтилентерефталата осуществляется несколькими методами, в результате чего образуются продукты в первичный ПЭТ и новые продукты, которые используются в других областях химической промышленности. Данный способ не отличается дешевизной, а даже наоборот – он чрезвычайно энергозатратен, что сильно сказывается на его цене.

Существует еще один способ переработки ПЭТ отходов и это производство полиэфирной смолы. Влажность ПЭТ-отходов не должна превышать 0,1-10%, ее подвергают гликолизу и поликонденсации с добавлением α -; β -ненасыщенные многоосновные кислоты или ангидриды с целью получения ненасыщенной полиэфирной смолы.

Для вторичного использования текстиля из полиэстера использует метод двухступенчатый алкоголизм смеси. Результатом этого процесса является получение продукта – диалкиловый эфир [74].

Пиролиз - это тепловой процесс органических веществ с целью создания полезного продукта в отсутствие кислорода. При низких температурах (600 ° C) образуется большая часть жидких продуктов, а при 600°C - газы. Производство углерода и металлических соединений в основном из твердых отходов. Хотя есть много недостатков, пиролиз обеспечивает промышленные продукты для дальнейшей переработки» [5] по сравнению с процессом сжигания.

По мнению британских ученых, «химический суп» образуется при пиролизе крупного рогатого скота при температуре 550°C, который используется в нефтяной и сырьевой промышленности.

«Концепция сольволиза включает методы различной деполимеризации (ухудшение качества метанола, гидролиз, кислотный гидролиз, гликолиз, алкоголизм), в зависимости от качества исходного материала, например, гликолиз или метанолиз не могут быть удалены.

Компания UnitedRecovery провела исследование в ходе технологию химической переработки ПЭТ-отходов. На первой стадии битый полимер обрабатывается с использованием гидроксида металла; Этиленгликоль и терефалат металла. После примерно 200-300 ° C острый и этиленгликоль выпаривали. Соль металла терефталатной кислоты отделяют и очищают при 105 ° C. Преимущества загрязненных термостабилизирующих солей и драгоценных мономеров - это преимущества низкой стоимости и высокой чистоты [70].

««PureTech InternationalIn» (США) перерабатывает отходы различных материалов. Компания разработала технологию для повторного использования сильно загрязненных отходов ПЭТ, включая производство волокна. «После регенерации компания производит чистый ПЭТ в Германии, метод расщепления ПЭТ разработан в эстафете, которая состоит из переэтерификации и поликонд диазита, диализ может занять 1-5 минут и 3-20 кг при экстратерпсии / см 2. В результате получается полибутилен Терефалат

содержит 0,16% этиленгликоля и обладает интимной слепотой 1,0 мл / г» [76].

«Управление маркетингом «United Resource Corporation» предлагает простой и недорогой способ создания мономеров из ПЭТФ. «Процесс называют «Un-PET». Он не требует больших капиталовложений по сравнению с другими методами, позволяет удалять загрязнения, даже с полностью испорченных изделий, снимать серебро с рентгеновских пленок из ПЭТ» [74].

ПЭТ перерабатывают (под высоким давлением при температуре 200°C) метанолом в небольшом количестве катализатора. Происходит деполимеризация, из которого и получается диметилтерефталата (DMT) и этиленгликоля (EG). DMT очищается дистилляционным способом для получения высококачественного продукта - полуфабриката, который подвергается рециклингу для синтеза ПЭТ. После очистки, этиленгликоль может использоваться по разным направлениям, включая изготовление антифриза и производство ПЭТ» [78].

«Фирма «DuPont» разработал технологию метанолиза полиэтилентерефталатных отходов при температуре 400 °C и давлении 28 кг/см² до диметилфталата и этиленгликоля для дальнейшего синтеза ПЭТ. Согласно этой технологии, называемой Petretec, отходы металлизированной пленки можно перерабатывать на объекте мощностью 30 тыс. Тонн » [75].

«Корпорация «Hoechst» представила новый метод о метанолизе отходов ПЭТ, прежде чем превратить их в новый оригинальный химический продукт, добавляя его в основной ПЭТ, улучшая процесс выдувания при производстве бутылок для напитков. В то же время их стоимость значительно снижается. Например, они производят приправу для салатов в бутылках из ПЭТ с добавлением 25% химически восстановленного ПЭТ» [68].

Известен также способ, основанный «на различии точек плавления отдельных компонентов смеси. При этом пластическая масса перемалывается

и нагревается, причем частицы ПВХ, имеющие более низкую температуру плавления, прилипают к вращающимся валкам и извлекаются из смеси. Так как процесс плавления протекает очень медленно, этот метод может быть использован только для небольших количеств и поэтому не находит применения в крупном промышленном масштабе» [74].

Известен также метод разделения, основанный на использовании рентгенодетектора. При применении этого способа ПВХ емкости идентифицируется методом рентгеновской спектроскопии и сортируются механическим путем.

«Пропускная способность таких установок относительно невелика. Способ ограничивается целыми изделиями. При этом пластмассовую смесь измельчали до однородного размера частиц величиной от 3 до 7 мм, затем заряжали трибоэлектрическим методом и загружали в разделитель, между электродами которого поддерживали электростатическое поле 3 5 кВ/см.

При этом часть измельченной массы соответственно заряду осаждается на электродах, в то время как остальная часть в виде так называемого промежуточного продукта проходит через разделитель, поскольку ввиду недостаточного электростатического заряжения не способна притягиваться ни к одному из электродов. Кроме того, до сих пор пластмассы одинаковой плотности не разделялись методом электростатического разделения» [74].

Недостатком же этого метода можно считать весьма значительное количество промежуточного продукта, образующегося при этом.

«Недавно было установлено, что степень разделения можно значительно повысить, а при определенных смесях вообще возможно обеспечить эффективное разделение, если перед проведением трибоэлектрического заряжения подвергать смесь тепловой обработке при 70 100оС в течение по меньшей мере 5 мин.

При этом одновременно происходит просушивание смеси и удаление из нее остаточного количества влаги. Это также способствует более

эффективному разделению пластмассовой смеси, состоящей из веществ одинаковой или близкой плотности.

Можно предположить, что в процессе тепловой обработки происходит изменение поверхности массы, что также способствует более эффективному электростатическому зарядению» [49].

«Последующее трибоэлектрическое зарядение смеси целесообразно проводить при 15-50 °С, предпочтительно при 20-35 °С, и относительной влажности окружающего воздуха 10-40% предпочтительно 15-20%. Для обрабатываемой в этих условиях смеси достаточно, чтобы напряженность поля в разделении поддерживалась на уровне 23 кВ/см.

При столь низкой напряженности поля уменьшается опасность так называемого коронного эффекта, способного вызвать возгорание частиц пластмассы или взрыв пыли.

Предпочтительно, чтобы пластмассовая смесь имела размер частиц менее 10 мм, оптимально менее 6 мм, для чего пластмассовые одноразовые емкости перед обработкой рекомендуется разрезать, предварительно очистив от мусора, например, бумаги или остатков напитков, путем взмучивания в воде. Очистка производится, например, с помощью промывной мельницы или турбомшины, причем в зависимости от степени загрязнения могут потребоваться и несколько стадий очистки. Обезвоживание промытой, а следовательно, мокрой смеси производится с помощью осушительного устройства, например центрифуги, до остаточной влажности около 2%. После тепловой обработки смесь подается в сушилку с псевдоожиженным слоем для трибоэлектрического зарядения» [49].

Для более высокого трибоэлектрического зарядения сухую смесь можно дополнительно пропускать через спиральный шнек достаточной длины или подавать пневматическим путем на определенное расстояние.

В случае, если количество промежуточного продукта, образующегося в процессе однократного разделения, еще слишком велико, последний можно

еще раз подвергнуть подобному разделению, исключив при этом процесс дополнительной промывки.

«Для дальнейшего разделения продукт подают в последовательно подключенный разделитель, работающий по принципу свободного падения, причем промежуточный продукт предварительно еще раз заряжают трибоэлектрическим зарядом во второй сушилке с псевдооживленным слоем.

Остаточную фракцию можно подводить к первой сушилке с псевдооживленным слоем. В случае смешивания с влажным продуктом недостаточно заряженные частицы пластмассы перед новым зарядом рекомендуется разрядить, что окажет в последующем положительный эффект на достижение высоких выходов при разделении в системе, работающей по принципу свободного падения» [50].

Пример. Использование смеси пластмассовых емкостей от напитков без учета остатков напитков имела следующий состав: 19,8% поливинилхлорид; 76,9% полиэтилентерефталат; 2,1% полиэтилен; 1,2% бумага.

Смесь емкостей через дозирующее устройство непрерывно подавали на мельницу, работающую по принципу мокрой резки, и при добавлении воды размельчали до размера частиц около 6 мм. Промывной раствор вместе с бумагой сливали.

Затем смесь интенсивно перемешивали в промывателе и подавали во фракционной отделитель, где производили отделение промывных вод, содержащих остатки бумаги, песок и другие примеси.

Измельченную смесь пластмасс снова заливали водой и подавали на гидроциклон с целью отделения полиолефинов. Оставшуюся смесь, состоящую из ПВХ и ПЭТ, отделяли от жидкости на вибрационном сите, центрифугировали и подвергали тепловой обработке в сушилке с псевдооживленным слоем в течение 6 мин при температуре 70-100°C с последующим высушиванием.

В сушилке с псевдооживленным слоем отделяли с помощью отработанного воздуха последние остатки бумаги и удаляли их при использовании гидроциклона. Предварительно просушенный материал выдерживали затем в течение 3 мин в другой сушилке при 30 °С, после чего производили выгрузку.

Смесь, отгруженную от сушилки с псевдооживленным слоем, по непрерывному методу подавали в систему, состоящую из двух разделителей, работающих по принципу свободного падения. Прошедший первую стадию разделения концентрата ПВХ с помощью спирального шнека подавали во второй разделитель, производя заново селективное заряджение частиц пластмассы.

Заряженную смесь разделяли в последовательно подключенной системе разделения на концентрат, содержащий высокий процент ПВХ, промежуточный продукт и обогащенную фракцию, содержащую 53% ПЭТ. Последнюю вместе с промежуточным продуктом возвращали на первую стадию разделения для повторного заряджения во псевдооживленном слое.

В основном всю смесь удавалось разделить на фракцию ПВХ, содержащую 99,3% ПВХ, фракцию ПЭТ, содержащую 99,4% ПЭТ, и фракцию ПЭ, содержащую 97,6% ПЭ.

Достигнутая степень чистоты составляла свыше 95% что давало основание говорить о сортовом разделении пластмасс и о возможности дальнейшей переработки, не связанной ни с какими проблемами.

Выход (абсолютное количество) составил: 96,2% ПВХ, 94,6% ПЭТ, 89,7% ПЭ.

Схема, к примеру: разделение смеси пластмасс, состоящей из опорожненных емкостей из-под напитков (100 кг): 19,8% ПВХ, 76,9% ПЭТ, 2,1% ПЭ, 1,2% бумага.

Устройство сепарации пластикового лома, который представляет собой полимерные отходы разной фактуры, имеющие различную плотность и аэродинамические характеристики, и может быть использовано для

сепарации измельченных отходов, образующихся при переработке ПЭТ бутылки.

Устройство сепарации измельченных полимерных отходов, содержащих две фракции с различным удельным весом, содержит сепарационную камеру с одним впускным окном для подачи потока измельченных отходов, размещенным в верхней части упомянутой камеры, и по меньшей мере двумя выпускными окнами, одно из которых, предназначенное для приема тяжелой фракции, выполнено в нижней части камеры и размещено непосредственно под впускным окном, а другое для приема легкой фракции, циклон для отделения воздуха от потока измельченных отходов, выходной, патрубков которого расположен над упомянутой сепарационной камерой, и нагнетающий вентилятор для подачи потока воздуха с измельченными отходами в циклон. Устройство снабжено, по меньшей мере одним воздуховодным агрегатом, связанным воздуховодом с входным окном, выполненным в боковой стенке сепарационной камеры, для формирования в верхней части последней, в зоне впускного окна, горизонтально направленного рабочего потока воздуха, и негерметично примыкающим к выходному патрубку циклона распределителем потока измельченных отходов, связывающим его с впускным окном сепарационной камеры. Впускное окно сепарационной камеры выполнено в ее верхней стенке, имеет щелевидную форму и расположено вдоль боковой стенки камеры для образования в сепарационной камере двух перекрещивающихся потоков воздуха - рабочего, подаваемого в горизонтальном направлении через упомянутое входное отверстие, и второго - несущего вышеупомянутые измельченные отходы, поступающие сверху через впускное окно в сепарационную камеру. Выпускное окно тяжелой фракции снабжено диффузором, расширяющимся в сторону впускного окна. Выпускное окно легкой фракции выполнено в нижней части камеры и расположено за выпускным окном тяжелой фракции по направлению движения горизонтального воздушного потока в сепарационной камере.

Недостатком известного устройства является недостаточная эффективность, обусловленная низкой степенью сепарации тяжелой и легкой фракции, связанной с тем, что влажные измельченные отходы, подаваемые с помощью винтового конвейера на сепарацию в сепарационную камеру, являются частично слипшимися, что связано с эффектом слеживаения тяжелой и легкой фракций в потоке материала при его перемещении посредством винтового конвейера. В результате этого та часть легкой фракции отходов, которая слиплась с тяжелой фракцией, образует с ней более крупные и тяжелые конгломераты, которые оказываются в составе тяжелой фракции и отводятся вместе с тяжелой фракцией из сепарационной камеры.

Известен способ обработки ПЭТФ, основанный на разделении частиц материала с разной проводимостью, содержащий дозатор для материала, в котором сформировано выходное отверстие, зарядное устройство размещено внутри дозатора в месте его выхода с возможностью непосредственного заряжают частицы с одинаковым зарядом и содержат, по меньшей мере, один коронный электрод для увеличения разряда окружающей проводящей плазмы, а также вращающееся средство переноса, расположенное рядом с разрядом из дозатора «Эрсте». Средство зарядки выполнено с возможностью создания множества одинаково заряженных частиц, выходящих из дозатора через сопло и осажденных на вращающемся средстве переноса, по существу, в форме одного слоя. Проводящие частицы дополнительно отдают свой заряд транспортному средству переноса, и в результате они падают с его поверхности.. Способ, в котором дозатор используют для размещения материала, в котором сформировано выходное отверстие, по меньшей мере, одного разрядного электрода, который создает окружающую проводящую плазму для прямой зарядки частиц по существу одинаковым зарядом, прежде чем они покинут дозатор через выходное отверстие и формирование множества одинаково заряженных частиц и вращающегося транспортного средства, расположенного рядом с выходным отверстием дозатора.

Обеспечить осаждение заряженных частиц в транспортной среде в виде одного слоя с последующей передачей его заряда в среду переноса проводящими частицами, чтобы они падали с ее поверхности. Диэлектрические элементы или менее пропускающие частицы остаются заряженными и притягиваются к поверхностному слою устройства переноса, так что они впоследствии подлежат удалению электрическими или механическими средствами.

В настоящем способе предлагается блок для разделения крупных и мелких частиц конечного продукта, имеющую разную удельную проводимость, содержащее дозатор размещения смеси частиц в выпускном сопле. Зарядное устройство размещено внутри оболочки дозатора и в зоне его выпускного сопла. Вследствие чего возможна постоянная зарядка зерен с абсолютно одинаковым электрическим зарядом. При этом заряженные частицы отдают свой заряд средству переноса и вследствие чего падают с его поверхности, в то время как непроводящие или менее проводящие частицы остаются заряженными и в результате притягиваются к поверхности средства переноса с возможностью их дальнейшего удаления электрическими или механическими средствами при вращении средства переноса.

В перерабатывающей промышленности используют способ, который включает измельчение, грубую и тонкую очистку, сушку, гранулирование и агломерацию полимерного материала, причем в процессе переработки вторичного сырья скорость его транспортировки на всех стадиях поддерживают постоянной. Грубую очистку измельченного материала производят в сухом состоянии. После сушки очищенный материал выгружают в виде отдельных хлопьев измельченного материала, которые гранулируют в ламинарном потоке воздуха, разогретого до температуры плавления материала путем каплеобразования. Устройство для очистки вторичного сырья включает расположенные по ходу движения сырья камеру грубой очистки, заполненную водой смесительную камеру и камеру тонкой очистки. Смесительная камера содержит средство для наддува насыщенного

кислородом воздуха. Устройство для сушки и агломерации сырья включает термокамеру, дозатор, агломерационную камеру и нагнетатель горячего воздуха. В агломерационной камере расположены коаксиально внешний и внутренний цилиндры, при этом внутренний цилиндр соединен с выпускным патрубком разгрузочного циклона и с нагнетателем горячего воздуха, а в свободной полости внешнего цилиндра установлены крыльчатка и распылитель воды. Приемная емкость с перфорированной цилиндрической поверхностью расположена на противоположном конце внешнего цилиндра и соединена с выгрузателем гранулированного агломерата. Способ переработки вторичного сырья и соответствующие устройства обеспечивают переработку широкого спектра полимеров в непрерывном режиме с получением агломерата без применения механического гранулятора, обладающего высокой степенью очистки.

Для осуществления данного способа применяется устройство для очистки вторичного сырья из измельченных отходов полимерных материалов, включающее заполненные промывочной жидкостью камеры грубой и тонкой очистки, смесительную камеру с вращающимся в горизонтальной плоскости перегружателем сырья, заполненный промывочной жидкостью и сообщающийся со смесительной камерой расширительный бак, трубопроводы для транспортирования сырья вместе с промывочной жидкостью и вихревой сепаратор, содержащий установленный внутри камеры тонкой очистки неподвижный перфорированный барабан с размещенной внутри него крыльчаткой, при этом камера грубой очистки установлена после смесительной камеры по ходу движения сырья и соединена с ней посредством трубопровода для транспортирования сырья вместе с промывочной жидкостью [33].

Патентные исследования технического уровня и тенденций развития объектов исследования выявленных по теме работы: «Способы отделения на фракции ПЭТ-флексы».

1.5 Патентный поиск по переработки ПЭТ

Патентный поиск проведен в соответствии с заданием № 1 от 01.04.2018 и Регламентом поиска на способ и устройство (Таблица 2).

Таблица 2- Патентная документация

Патент	Краткое описание	Недостатки
1	3	5
RU 2091224	Способ разделения смеси полимерных частиц, состоящей из частиц полимеров различного типа, но у которого есть примерно одинаковый диапазон плотностей, к таким относятся ПЭТ, путем электронизация частиц при использовании разделителя, работающего по принципу действующим на гравитации, имеет отличие, что перед трибоэлектрическим заряджением микс подвергают тепловой обработке при температуре 70-120оС в течение 5-7 минут.	Способ энергоемкий, сложное оборудование для трибоэлектрического заряджения частиц, низкая производительность.

Продолжение таблицы 2

1	2	3
<p>RU 2101091 МПК</p> <p>B03C 7/00 B29B 17/00</p>	<p>«Полимерные частицы разделяются способом, состоящей из полимерных частиц разных по химическому составу, с частично перекрывающимся и частично различающимся диапазоном плотностей, например полиэтилена, полиэтилентерефталата, полипропилена, полистирола, поливинилхлорида, в несколько стадий с использованием разделения по плотности посредством разделительной жидкости и электростатического разделения, при этом разделяемая смесь измельчается, промывается и перед электросортировкой сушится, отличающийся тем, что разделение проводят по меньшей мере в две стадии, причем на первой стадии полимерные частицы, имеющие различный диапазон плотностей, отделяют друг от друга по принципу разделения плотностей, полученные фракции отделяют от разделительной</p>	<p>Способ энергоемкий, сложное оборудование электросортировки и сушки частиц, низкая производительность.</p>

Продолжение таблицы 2

1	2	3
	<p>жидкости, на второй стадии поверхность полученных полимерных частиц с одинаковым диапазоном плотностей дополнительно обрабатывают и после их заряжения разделяют электростатически.</p>	
<p>RU2640453 МПК B07B 9/00 Опубликовано: 09.01.2018</p>	<p>устройство сепарации измельченных полимерных отходов, получаемых при переработке ПЭТ бутылки и содержащих две фракции с различным удельным весом - одну, более легкую, имеющую больший объем и лучшую парусность, и другую, более тяжелую и дробную, содержащее сепарационную камеру с одним впускным окном для подачи потока измельченных отходов, размещенным в верхней части упомянутой камеры, и по меньшей мере двумя выпускными окнами, одно из которых, предназначенное для приема тяжелой фракции, выполнено в нижней части камеры и размещено непосредственно под впускным окном, а другое для</p>	<p>Метод позволяет исключить попадание более легкой фракции(примесей) в бункер приема передробленного ПЭТ</p>

Продолжение таблицы 2

1	2	3
	<p>приема легкой фракции, циклон для отделения воздуха от потока измельченных отходов, выходной патрубком которого расположен над упомянутой сепарационной камерой</p>	
<p>RU2640453 МПК B29B 17/00 Опубликовано: 09.01.2018</p>	<p>Способ характеризуется тем, что сортировку осуществляют так, что первое количество, состоит, по меньшей мере, примерно на 95%, в частности, по меньшей мере, на 98%, из полимерных хлопьев от толстых частей емкости, в частности горлышка бутылки, а второе количество - по меньшей мере, примерно на 95%, в частности, по меньшей мере, на 98%, из полимерных хлопьев от тонких частей емкости и дальнейшей воздушной сепарацией</p>	<p>необходима установка дополнительного оборудования для сортировки хлопьев до воздушной сепарации – это приводит к значительному снижению производительности оборудования</p>

Продолжение таблицы 2

1	2	3
<p>RU 2360741</p> <p>Опубликовано: 10.07.2009</p>	<p>Приспособление , которое разделяет частицы с разным электрическим потенциалом, содержащее дозирующее устройство для размещения продукта, в котором образовано выходное сопло, зарядное оборудование, размещенное внутри дозирующего устройства в месте его выпускного выхода с возможностью зарядки частиц, по существу, одинаковым зарядом и включающее по меньшей мере один коронирующий электрод, устройство, которое вращается, расположенное параллельно с выпускным соплом дозирующего устройства и в итоге падают с его поверхности, в то время как непроводящие или менее проводящие крупницы остаются заряженными и в итоге притягиваются к верхнему слою устройства переноса с вероятности их дальнейшего удаления электрическими или механическими средствами при перекачивании устройства</p>	<p>Трудоемкий процесс с низким экономическим эффектом, высокая энергоемкость</p>

Продолжение таблицы 2

1	2	3
<p>RU 2326899</p> <p>МПК C08J11/00C0B2 9B17/00</p> <p>Опубликовано: 20.06.2008</p>	<p>Способ переработки вторичного сырья из полимерных материалов, включающий измельчение перерабатываемого материала, грубую и тонкую очистку измельченного материала с его замачиванием, первичной и вторичной промывкой и отжатием, сушку с выгрузкой очищенного материала, его гранулирование, агломерацию</p>	<p>Не способствует снижению примесей ПВХ в конечном продукте (гранулы)</p>
<p>RU 2001128661</p> <p>МПК C08J 11/14 B29B 17/00 B29K 101/00</p> <p>Опубликовано: 10.07.2003</p>	<p>Способ переработки, по меньшей мере, ПЭТ - компонентов из пластиковых бутылок для напитков, измельченных в содержащую ПЭТ -хлопья смесь частиц, при котором хлопья подвергают моеющей обработке, по меньшей мере, в одной моечной машине, отличающийся тем, что хлопья обрабатывают, по меньшей мере, в моечной машине при повышенной более 70°C температуре и в течение более 20 мин в содержащем едкую щелочь чистящем растворе механически и одновременно гидравлически.</p>	<p>Превышение примесей ПВХ в конечном продукте, низкая производительность и экономическая эффективность</p>

Таким образом, на основе результатов проведения патентного поиска можно сделать вывод: механический способ очистки методом воздушной сепарации на базе существующих мощностей, является самым оптимальным с экологической и экономической точки зрения.

1.6 Описание технологического процесса переработки ПЭТ на ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

Самым распространенным способом переработки вторичного ПЭТ в промежуточный продукт – флексу является механический.

Этапы переработки ПЭТ:

1. **Первоначальное измельчение до фракции 20-30 мм.** При помощи подающего конвейера ПЭТ-бутылка попадает в дробилку №1. Конвейер оснащен магнитным сепаратором, исключающий попадание металлических предметов в дробилку и выхода из строя статорных и роторных ножей.



Загрузочная
площадка



Дробилка №1

Подающий конвейер

Рисунок 3- Загрузочная площадка

Рисунок 4- Дробилка №1

2. **Очистка измельченной массы от тяжелых примесей.** Загрязнение делится на три основные категории: физическое загрязнение (макроскопический уровень), физическое загрязнение (микроскопический уровень) и химическое загрязнение. Макроскопическое физическое загрязнение партии ПЭТ включает легко удаляемую грязь: осколки стекла, камни, песок, почву, бумагу, клеи и другие пластики, такие как ПВХ и ПЭ.

Более стойкие загрязнения, возникающие в результате трения или измельчения (при упаковке, транспортировке или примитивной обработке), трудно удалить с помощью обычной мойки и требуют специальных методов очистки. Значительное количество грязи и песка очищается в двухвинтовой флотационной ванне, наполненной водой. В процессе перемешивания происходит отделение тяжелой фракции от основной массы измельченных продуктов. Через нижнюю часть флотационной ванны, снабженной фильтрующими элементами, она сливается в автономный коллектор остатков грязи после промывки.



Рисунок 5- Каскад флотационных ванн

2. Термическая очистка и обеззараживание. При помощи вертикальных шнеков, промытая дробленая масса попадает в емкости с 3%-ым щелочным раствором и температурой 90-95 °С, где происходит полное обеззараживание дробленой массы и отделение остатков этикетки от частиц ПЭТ. Щелочная среда строго контролируется в течение смены.



Набор температуры

Пульт
управления
температурой
парогенератора

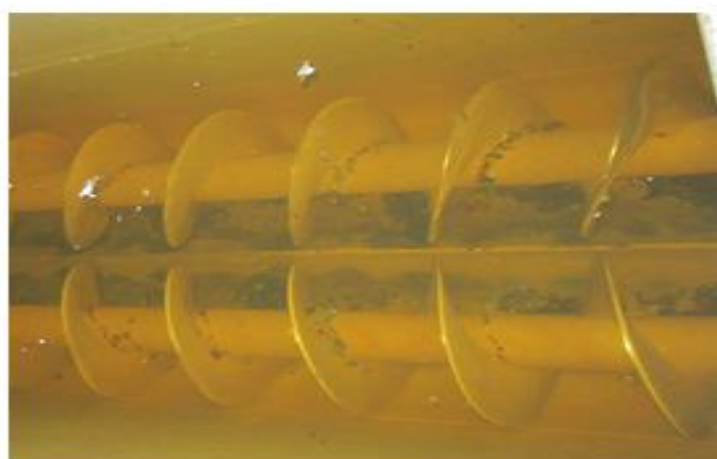


Слив конденсата

Рисунок 6 - Парогенератор

Рисунок 7 –Горячая мойка

3. **Промывка от щелочи.** После прохождения термохимической обработки ПЭТ, масса попадает в каскад флотационных ванн. В чистой проточной воде происходит отмывка от щелочи и легкой фракции этикетки, которая всплывает на поверхность. Вся система флотационных ванн имеет полную автономность, которая исключает попадание отработанной воды в общую систему канализации.



Вода во флотационной ванне чистая

Рисунок 8 – Двухшнековая флотационная ванна

4. **Измельчение до фракции 8-10мм.** Окончательное измельчение ПЭТ до фракции 8-10мм происходит в роторной дробилке, с ячейкой на сетке до 10 мм.

5. **Удаление основного объема влаги из общей массы флексы.** Основная часть воды стекает самотеком в процессе окончательного измельчения ПЭТ. Так как вся масса еще имеет достаточно большой процент влажности, то она проходит через вертикальную центрифугу, где происходит отжим ПЭТ-флексы.

6. **Сушка сырья.** Из центрифуги по пневмотранспорту флекса попадает в циклон-сушилку. В завихрениях горячего воздуха при температуре 110-120 °С, происходит окончательная сушка и упаковка готовой ПЭТ-флексы в биг-беги.



Показания температуры

Рисунок 8 – Сушилка



Рисунок 9 -Технологическая схема переработки ПЭТ

Проведенный анализ современных технологий переработки ПЭТ, показывает, что эффективность каждого способа обоснована экономической целесообразностью, зависимостью от потребности в высококачественном продукте и объемов производства.

1.7 Выводы по главе 1

1. Проанализировав количественный и качественный состав ТКО, следует сделать вывод, что в Самарской области ежегодно увеличивается объем пластмассовых отходов. Доля образования ТКО за последние три года увеличилась с 15% до 24 %. ТКО содержат пластмасса, бумага, картон, кожа, резина, текстиль, ПЭТ, поэтому обладают высоким ресурсным потенциалом, который необходимо максимально использовать для извлечения максимального количества вторичного сырья.

2. Для формализации параметров эффективности переработки ПЭТ, необходимо определить степень чистоты ПЭТ-флексы (влажность сырья, фракционный состав, предельное количество примесей) и параметры технологического процесса.

3. Для эффективности переработки ПЭТ, требуется повысить качество получаемого продукта. К основным качественным показателям относятся низкая влажность сырья и минимальное количество примесей в ПЭТ-флексе. Для этого необходимо производить дополнительную очистку от примесей ПВХ. Низкое содержание примесей ПВХ позволяет получить минимальное количество не перерабатываемых технологических отходов при производстве полиэфирного волокна.

5. На основании проведенного анализа методов переработки ПЭТ, следует вывод, что наиболее экологичным и экономичным методами являются механическая переработка с применением воздушного сепаратора для отделения ПВХ. Выбранный способ является оптимальным на базе существующих мощностей и объемов выпуска продукции, определена эффективная технология переработки получения продукта (ПЭТ-флексы) с минимальным содержанием примесей ПВХ, которая позволит снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Глава 2. Современные переработки ПЭТ

2.1 Техническое решение по совершенствованию технологического процесса по переработки ПЭТ

На базе существующей линии по переработки ПЭТ-тары, принципом, которого является механический способ, целесообразно использовать воздушный сепаратор для разделения конечного продукта (ПЭТ-флекс) от примесей ПВХ. Необходимо провести математическое моделирование для определения типа воздушного сепаратора, габаритов, диаметров пневмотранспорта и мощностей электродвигателей.

На основании расчетов математической модели, спроектировать, изготовить и ввести в эксплуатацию оборудование по очистки от примесей ПВХ.

2.1.1 Моделирование процесса сепарации переработки ПЭТ

«Вакуумно-пневматические технологии сепарации [1] и горизонтальной сепарации воздушных потоков [2], которые в последние годы развития способны решать задачи разделения тяжелой и легкой фракций, имеют высокие технико-экономические показатели. Следующая задача-решить оптимизацию процессов и усовершенствовать используемое оборудование. Решение данной задачи возможно с помощью пневмосепаратора, процесс сепарации которого математически моделируется с помощью. В то же время значительное внимание следует уделить разработанной модели адекватности улучшения, а именно путем деления рабочей зоны воздушного потока на пространственные нелинейные с учетом [39].

Моделирование основных принципов представляло собой комбинированную модель воздухозаборника, использующую аэродинамику

воздушного потока, практические данные сепаратора для рабочей зоны и аэродинамику дисперсных систем по фундаментальным уравнениям» [47].

«Задача моделирования состояла в получении количественных зависимостей ускорения, скорости и пути, пройденного частицей при изменении размера и плотности частиц, скорости и координат потока и скорости доставки зерен воздушным потоком; создании элементов, обеспечивающих высокую эффективность разделения:

Таблица 3 – Исходные данные

«Производительность»		
Флексы	450	кг/ч
ПВХ	0,31	кг/ч
Масса одной частицы		
Флексы	0,01	гр
ПВХ	0,001	гр
Плотность материала		
Флексы	285,7142857	кг/м ³
ПВХ	47,61904762	кг/м ³
Объем 1-ой частицы		
Флексы	0,000000035	м ³
ПВХ	0,000000021	м ³
Скорость воздуха в сепараторе	2,5	м/с
Плотность воздуха	1,2	кг/м ³
Сила Архимеда действующая		
На Флексу	4,1202E-07	Н
На ПВХ	2,47212E-07	Н
Аэродинамическое сопротивление		
Флексы	10,79988277	Н
ПВХ	26,99997131	Н»

Для этого была составлена модель в программном комплексе Ansys FLUENT.

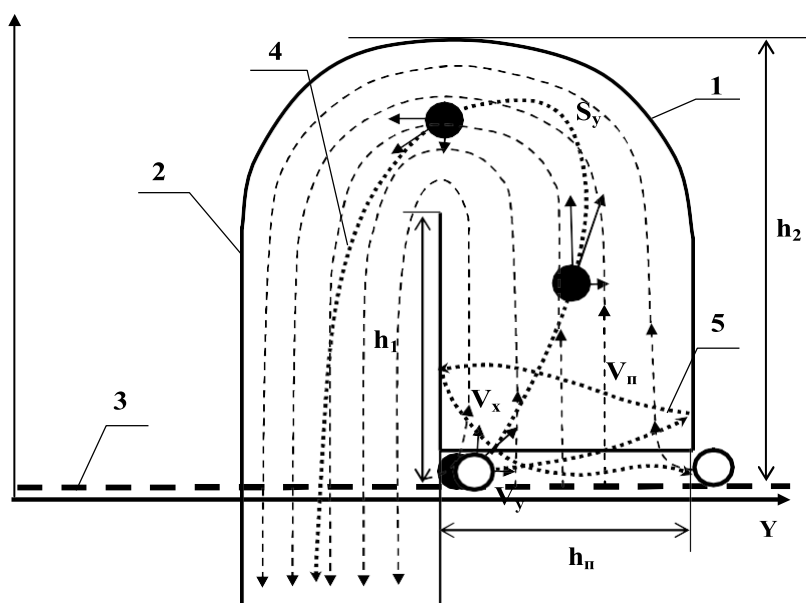


Рисунок 10 - Схема движения частиц в нелинейном потоке с боковой разгрузкой

1 – сопло; 2 – патрубок разгрузки; 3 – сетчатый конвейер; 4 – траектория движения легкого зерна; 5 – траектория движения тяжелой частицы; h_p – ширина воздушного потока; V_x – скорость частиц в направлении оси X; V_y – скорость частицы в направлении оси Y; $V_{п}$ – скорость воздушного потока» [3].

Исследования были отобраны для объекта, на котором осуществляется отделение пластиковых частиц от воздуха в процессе сепарации.

«Последовательность математического моделирования процесса разделения частиц в горизонтальном газодисперсном потоке состоит из нескольких этапов, представленных в виде алгоритма:

- Установка начальных характеристик (или размер d и плотность ρ_t с пластичными частицами, средняя промежуточная скорость (v) и ширина (h_p) воздушного потока, высота перегородки (H_1) и высота рабочей зоны (h_2).

- Создание скорости воздуха в области рабочей зоны (v_p, i);

- Расчет ускорения, скорости частиц (v_x, v_y, v_z) и пути воздушного потока (s_x, s_y, s_z);

- Определить координаты положения частиц:
- Определить скорость (v_x, v_y, v_z) после столкновения со стенкой сопла

Ремонт пути

На начальном этапе рассчитывают скорость потока пластических частиц v_x .» [47].

«Моделирование второго этапа, предполагающего, что скорость воздушного потока области $v_r = f(x, y)$ должна быть задана. В этом случае частица приобретает импульс в вертикальном линейном направлении. Спецификация скорости была применена с использованием данных из воздушный поток. На заключительном этапе в отсутствие материала, который должен быть отделен, и плотность данных материала должна быть отделена от стабильных условий.

Математическое моделирование третьей ступени, ускорение и скорость, с которой рассчитывается частица (v_x, v_y) и ее траектория (s_x, s_y), приобрело скорость воздушного потока при наличии времени.

Четвертым этапом является вычисление новой координаты пластической частицы, которая входит после прохождения расстояния s_x, s_y .

Пятый этап заключается в оценке вероятности соударения пластикового зерна со стенкой сопла. В случае с пластиковыми зерно пересекает границу зоны работы, сделанные до удара и расчет изменения динамических характеристик частиц после удара.

Шестой этап заключается в оценке вероятности выхода пластиковых частиц из рабочей зоны через разгрузочное отверстие.

Если частица покидает рабочую зону, алгоритм завершается этапом 7, на котором фиксируются траектория, время и другие параметры движения зерна в зоне сепарации.

Если частицы не покидают рабочую зону, алгоритм продолжает работу, возвращаясь к третьему этапу новых условий, изменяющих скорость воздушного потока при изменении положения зерна в зоне разделения» [47].

2.1.2 Расчет воздушного сепаратора для разделения ПЭТ-флексы от примесей ПВХ

Скорость движения зерна в данный момент времени определяется как сумма скорости частицы в предыдущий момент времени и ускорения (g) зерна за промежуток времени между текущей и предыдущей точками.

Необходимо учитывать, что в уравнении включены векторные величины. Для ортогональной системы координат справедлива система уравнений:

$$V_{x,i+1} = V_{x,i} + a_{x,i} \cdot \Delta\tau, \quad (1)$$

$$V_{y,i+1} = V_{y,i} + a_{y,i} \cdot \Delta\tau, \quad (2)$$

$$V_{z,i+1} = V_{z,i} + a_{z,i} \cdot \Delta\tau, \quad (3)$$

Ускорение частицы в вертикальном направлении определяется силой тяжести и силой лобового сопротивления частицы движущейся воздушной среде:

$$a_{y,i} = g - F_{y,i}/m(4)$$

Ускорение частицы в горизонтальных направлениях Y и Z определяется силой лобового сопротивления частицы движущейся воздушной среде.

В условиях рассматриваемой методики было принято, что ускорение частицы является функцией его координаты.

Ускорение движения частицы под действием воздушного потока (a_x) определяется отношением разности силы тяжести ($F_{тяж}$) и силы сопротивления среды ($F_{сопр}$) к массе частицы (m):

$$a = (F_{\text{тяж}} - F_{\text{сопр}})/m; \quad (5)$$

Или

$$a = (mg - \lambda \rho_{\Gamma} \pi r^2 V_{\Pi}^2)/m; \quad (6)$$

где χ – коэффициент формы; ρ_{Γ} – плотность газа (для воздуха – 1,3 кг/м³); r – радиус частицы; V_{Π} – скорость падения.

Учитывая, что $m = (4/3) \pi r^3 \rho_{\Gamma}$, где ρ_{Γ} – плотность частицы, получаем

$$a = (4/3 \pi r^3 \rho_{\Gamma} g - \lambda \rho_{\Gamma} \pi r^2 V_{\Pi}^2)/(4/3 \pi r^3 \rho_{\Gamma}) \quad (7)$$

Ускорение по вертикали (по оси X) рассчитывается по уравнению

$$a = g - \lambda \rho_{\Gamma} V_x^2 / (4/3) r \rho_{\Gamma} = g - K (V_{\text{хп}} - V_x)^2 \quad (8)$$

$$\text{где } K = \lambda \rho_{\Gamma} \pi r^2 / m = \lambda \rho_{\Gamma} / (4/3 r \rho_{\Gamma})$$

Ускорение частицы под действием воздушного потока по горизонтали (по оси Y) рассчитывается по зависимости:

$$a_y = (\lambda \rho_{\Gamma} \pi r^2 (V_{\Pi} - V_y)^2) / m = K (V_{\Pi} - V_y)^2 \quad (8.1)$$

В ортогональной системе координат получаем систему уравнений:

$$\bar{a}_{x,i} = g - K \tilde{V}_{x,i} \quad (9)$$

$$\bar{a}_{y,i} = g - K \tilde{V}_{y,i} \quad (10)$$

$$\bar{a}_{z,i} = g - K \tilde{V}_{z,i} \quad (11)$$

Частица, входящая в зону разделения, обладает начальной скоростью $V_x = 0$. $V_y = V_{\Pi}$. При этом оно находится в ячейке ($X=0$, $Y=0$). В ячейке 0,0 на зерно действует воздушный поток, характеризующийся вектором скорости $\{V_x, V_y, V_z\}$. С учетом сделанных допущений о незначительности перемещения зерна по оси Z, мы предполагаем, что частица движется в плоскости X-Y ($V_z=0$). За момент времени Δt частица пролетает путь, длина которого рассчитывается по уравнениям:

$$S_y = V_{y0} \tau + a_i \cdot \Delta \tau_i^2 \quad (12)$$

$$S_x = V_{x0} \tau + a_i \cdot \Delta \tau_i^2 \quad (13)$$

где $a_{ix} = g - KV^2_x$; $a_{iy} = KV^2_y$ – среднее ускорение (торможение) в i–

том интервале времени пребывания частицы в потоке; Δt_i – продолжительность интервала времени.

При достижении зерном вертикальной или дугообразной стенки (ударе о стенку) происходит изменение, как величины, так и направления вектора скорости частицы (рис. 4).

Изменение вектора скорости частицы при ударе (касании) вертикальной стенки определяется зависимостями:

$$V_{x,i+1} = K_B \cdot V_{x,i}; \quad V_{y,i+1} = V_{y,i}; \quad (14)$$

где K_B – коэффициент восстановления.

Значения коэффициента восстановления (K_B) определены эмпирическим путем и составляют для частиц крупнее 10 мм при угле столкновения от 25 до 90° величину 0,033 для флексы и 0,00043 для ПВХ.

Изменение скорости зерна при ударе (касании) наклонной стенки определяется с учетом зависимостей:

$$V_x = V_{i+1} \cdot \cos \alpha_{i+1}; \quad V_y = V_{i+1} \cdot \sin \alpha_{i+1} \quad (15)$$

$$\text{где } V_{i+1} = \sqrt{((KV)^2 + V_{ti}^2)};$$

$$\alpha_{i+1} = \arctg(K \cdot V_{ni}/V_{ti}); \quad V_{n,i+1} = K \cdot V_{n,i}; \quad V_{t,i+1} = V_{t,i}$$

После преобразования получаем:

$$V_{n,i} = V_y (\cos \beta_i / \cos \alpha_i); \quad V_{ti} = V_x (\sin \beta_i / \sin \alpha_i) \quad (16)$$

$$\text{где } \beta_i = \alpha_i - \theta_i$$

«Рабочая зона воздушного сепаратора была представлена в виде набора блочных ячеек, внутри которых скорость и направление воздушного потока считались постоянными ($V_x, y, z = \text{const}$). Вектор скорости потока в каждой ячейке рассчитывается как среднее значение относительно линейных векторов скорости воздуха для точек сетки рабочего пространства. При моделировании число экспериментальных измерений значительно уменьшается с необходимой погрешностью расчетов» [47].

При расчете возможных траекторий движения было учтено, что в процессе разделения воздуха разделение потоков осуществляется при различных концентрациях изгибов ПЭТФ в зоне прямого разделения. Это существенно влияет на линейную скорость полета. Но высокая концентрация

тяжелой фракции приводит к увеличению относительной скорости воздушного потока, а с другой стороны, увеличение аэродинамического сопротивления в зоне с повышенной концентрацией твердой фазы приводит к перераспределению потоков относительно «уплотненным» в пользу «неуплотненных» частей рабочей зоны. В таких условиях предлагается оценить увеличение относительной скорости воздуха в районах с ограниченным падением согласно:

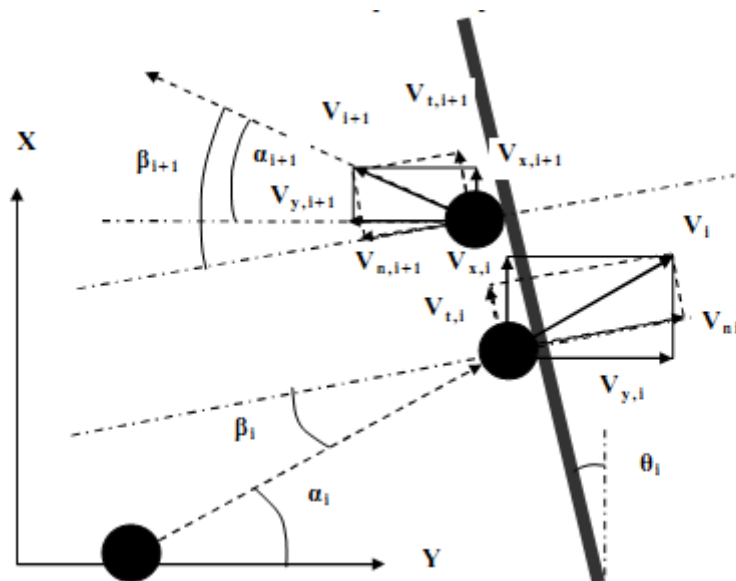


Рисунок 11 - Схема скоростей зерна при столкновении наклонной стенкой

где $K\gamma = (\gamma_{cp}/\gamma)n$ - коэффициент учета аэродинамического сопротивления участка;

$$n = 0,3-0,4$$

В областях, где количество тяжелой фракции превышает среднюю, наблюдается существенное увеличение аэродинамического сопротивления. В зонах, где концентрация тяжелой фракции меньше более легкой, будет снижение аэродинамического сопротивления

2.1.3 Расчет математической модели по параметрам данного сепаратора

«Для того, что бы соблюдены условия сепарации, необходимо создать стенку сопла в верхней части так, что бы вертикальный воздушный импульс скорости в максимально трансформировался в горизонтальный, в сторону разгрузочного сопла. Это возможно достигнуть за счет изменением профиля части сопла, путем его уменьшения или изменения кривизны, а так же снижения точки прохода из прямоугольного сектора сопла в криволинейную плоскость (Рисунок 12)» [47].

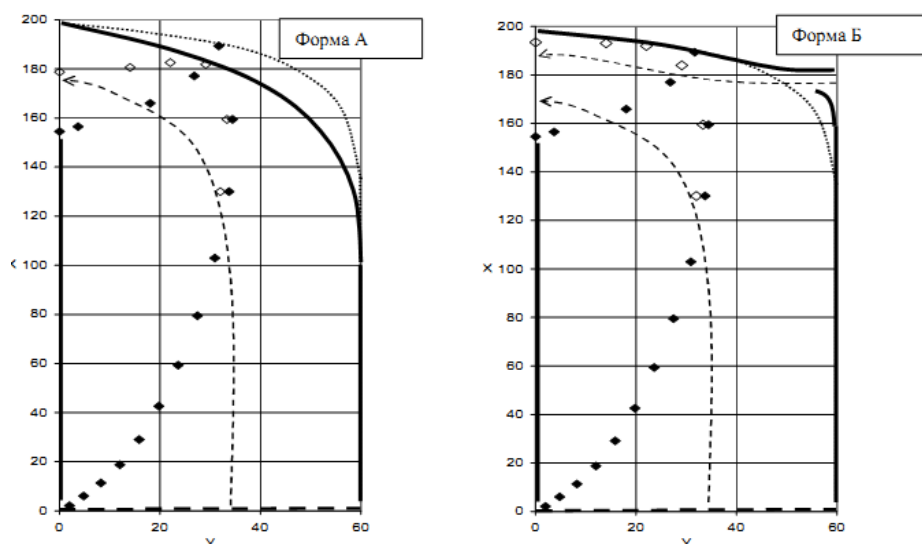


Рисунок 12 - Траектории движения среднего зерна (7 мм) в сепараторах с измененной формой сопла

Одним из вариантов модернизации поверхности и формы выходящего сопла является включение дополнительного к имеющимся, воздушного потока в верхнем секторе рабочей зоны воздушного сепаратора, при которой произойдет облегчение разгрузки легких фракций, а именно ПВХ. В результате достигается такое давление воздушного потока, при котром траектория движения частицы снижает вероятности его возврата в сектор разделения на легкую и тяжелую фракции. В результате моделирования необходимо изменить формы выходящего сопла, что позволит значительно уменьшить продолжительность нахождения частиц флексы и

ПВХ в рабочей зоне. И время нахождения частиц размерами 14-18 мм снижается в 1,15 – 1,35 раза [47].

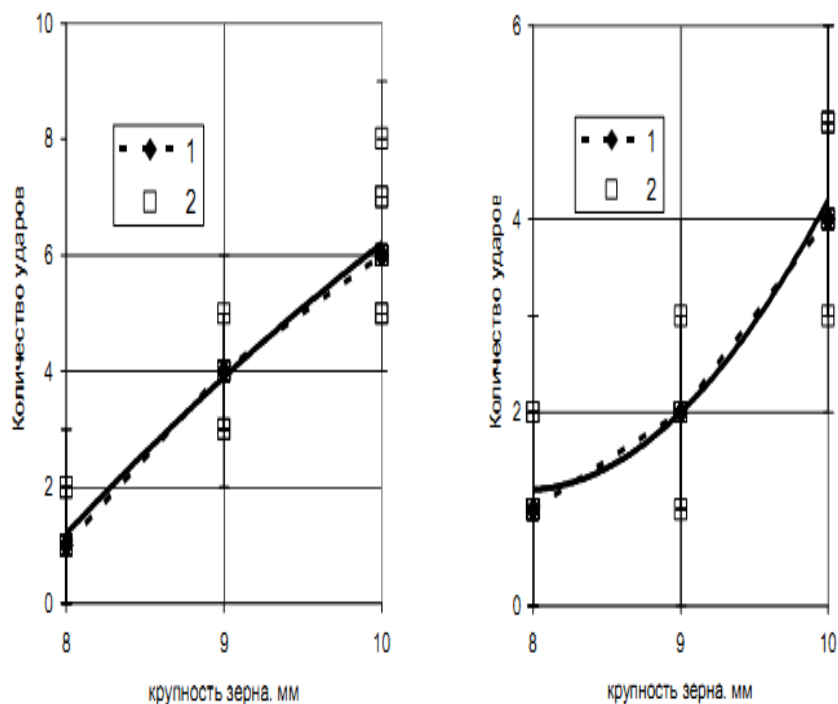


Рисунок 13 - Траектория движения частицы (10 мм) в сепараторе с измененной формой выходного сопла

«В расчетах использовались данные из воздуха, нелинейного потока в поперечных сечениях сепаратора на разных высотах. В режиме ожидания воздушного сепаратора использовался датчик скорости воздуха Veloport 20. Этот датчик имеет возможность измерять скорость воздуха без каких-либо искажений из-за его небольшого размера (6 мм).

От 30 до 45 измерений было выполнено в поперечном сечении аппарата (в прямоугольной части нижнего сектора сопла и нижнего сектора в изогнутой части сопла) до 15 измерений (верхнего сектора изогнутой части насадка). Всего было выполнено 12 измерений уровня. Исходные данные содержат 380 единичных измерений» [47].

При использовании интерполяционных данных объем рабочего воздуха воздушного сепаратора был разделен на 5528 ячеек. В этом случае время прохождения частицы между промежуточными точками изменения скорости было выбрано

$\Delta\tau = 0,02$ с.

«Результаты математического моделирования, рассчитанные траектории частиц размером 5-15 мм, со средней линейной скоростью воздушного потока 10 м / с, показывают, что все частицы попадают в стенку выходного сопла. В результате создается «улитка», в которой в результате отскока частицы пересекаются в потоке воздуха и возвращаются в зону сепарации. Степень «амортизации» отскока (коэффициент восстановления) существенно влияет на «отскок» частицы. В «мягком» режиме удара частица выгружается под воздействием горизонтального нелинейного воздушного потока.

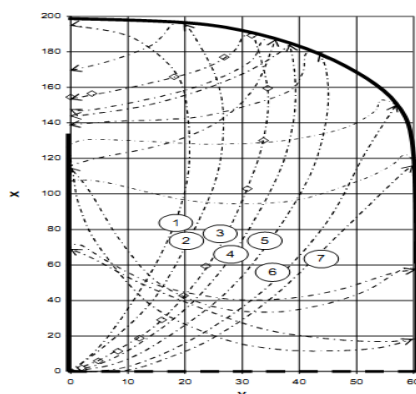


Рисунок 14 - Траектории движения частиц флексы различной крупности (d) в нелинейном восходящем воздушном потоке в рабочей зоне вакуумно-пневматического сепаратора

Из полученных данных следует, что частицы размерами от 4 до 8 мм попадают в выходящее сопло и максимально при нескольких соударении со стенками выходящего сопла. Частицы размерами 10 и 12 мм после первого удара отбрасываются в зону распределения и попадают в разгрузочное сопло после 5-7 соударений о стенки выходящего сопла. Граничные по аэродинамическим размера частицы более легкой фракции производят многократные соударения со стенками выходящего сопла, что многократно увеличивает время их пребывания в рабочей зоне воздушного сепаратора» [47].

Таким образом, в результате видоизменений конструкции сепаратора может быть обеспечена более эффективная сепарация ПЭТ-флексы.

Проверка расчетов проводилась на основании анализа звукового ряда движения единичной частицы. Все соударения фиксировались по количеству тональности звуковых сигналов. Для получения максимально корректных результатов необходимо качественное измерение количества соударений для двадцати опытов. Результаты проведенного эксперимента, показали хорошую эффективность разработанной математической модели, так и правильность сделанных выводов о необходимости улучшения режима воздушной сепарации за счет конструктивного изменения формы сопла и поверхности бункера.

Принцип работы устройства основан на методе удельного веса для отделения флексы и этикеток. В герметичный резервуар одновременно попадают хлопья и этикетки, и в то же время всасывающие вентиляторы выходят на их пути и образуют отрицательное давление. Более тяжелая флекса будет падать, а более легкие этикетки будут высасываться благодаря отрицательному давлению, и таким образом флекса и этикетки будут разделены.

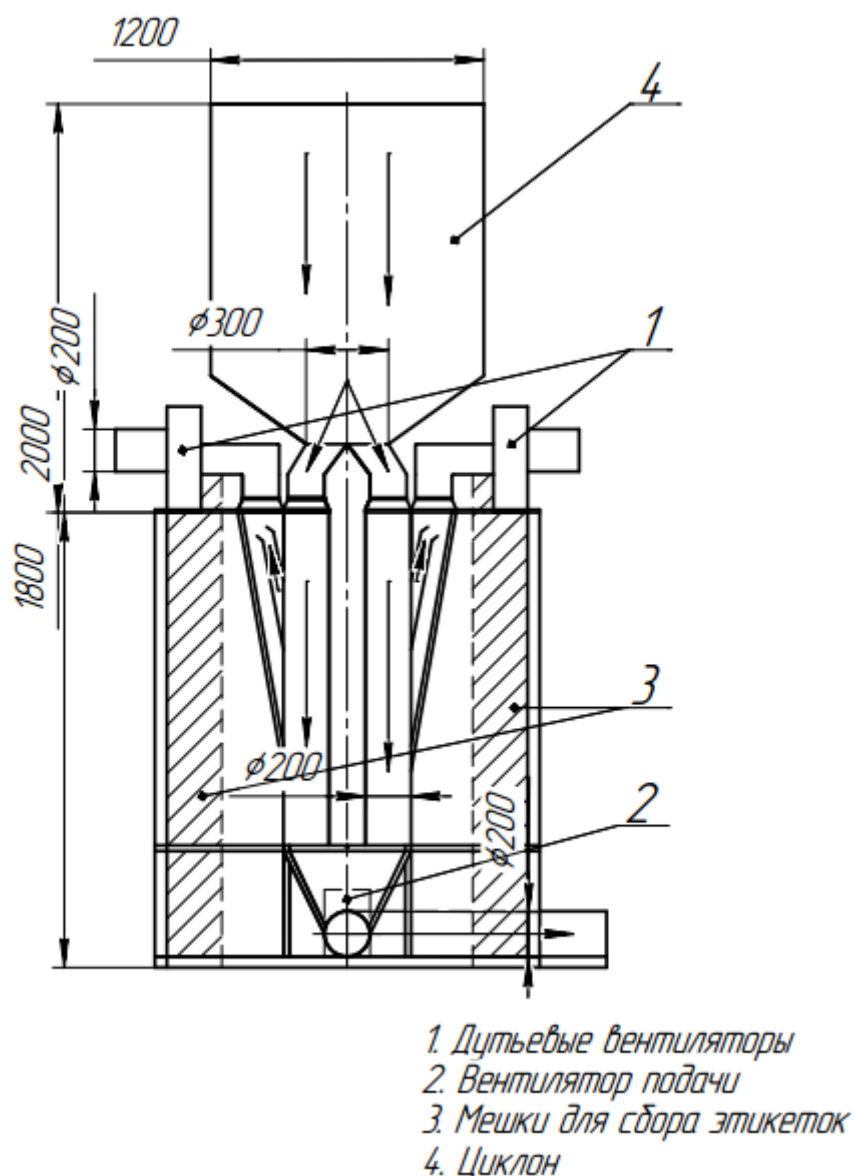


Рисунок 15 – ПВХ Сепаратор

Внутреннее пространство обработано, считать шероховатость не более чем 0.5 мкм, соответственно не более Ra 3,2. Разделение смеси проход за счет разности веса разделяемых смесей и подобран оптимальный режим высасывающих насосов.

Таблица 4 – Фактические данные

Скорость всасывания воздуха	2,7	м/с
Давление внутри сепаратора	0,8-0,95	Атм

Движение считать: Турбулентным с числом Re в пределах от 1000 до 10000.

Анализ, проведенный, в программном комплексе ANSYSFLUENT показывает, что:

1. Для увеличения производительности требуется увеличение сепарационного пространства и увеличение производительности насосов.
2. Для создания более эффективного разделения уменьшить влажность разделяемой смеси до 0,01 %.

Таблица 5 - Нормы контроля для флексы

Остаточная щелочность (показатель pH)		6,5 – 7,5
Остаточное содержание клея	ppm	не более 80
Содержание ПВХ (PVC)	ppm	не более 150
Содержание полиэтилена, полипропилена (всплывающие загрязнения, другие пластики)	ppm	не более 150
Содержание других не расплавляющихся загрязнений (камень, стекло, бумага, дерево, этикетка)	ppm	не более 50
Содержание эластомеров	ppm	не более 100
Содержание металла	ppm	не более 50

2.2 Пример извещения о результатах испытаний сырья , на примере ЗАО «Комитекс Авто»

ЗАО «Комитекс-Авто» является крупнейшим производителем нетканых материалов в России, являющегося членом Европейской ассоциации производителей предметов гигиены и нетканых материалов (EDANA), а так же переработчиком вторичного сырья ПЭТ-флексы. Политика предприятия в сфере экологии направлена на снижение объемов не перерабатываемых отходов образующихся в процессе изготовления полиэфирного волокна.

Одним из крупных поставщиков ПЭТ- флексы является ООО «ЭкоРесурсПоволжье». До данного момента существовала проблема качества поступаемого сырья, а именно примесей ПВХ, которая требовала дополнительной промывки и сушки ПЭТ-флексы. Это затратный процесс, который в итоге приводил к значительному снижению стоимости ПЭТ-флексы.

Согласно требованиям к чистоте ПЭТ-флексы европейского агентства PETCOR, на ЗАО «Комитекс Авто» проведены испытания сырья, полученного после модернизации (монтаж воздушного сепаратора) линии по переработке ПЭТ на ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Результаты испытания, приведенные в извещении 81/3, пункт 2, показывают присутствие примесей ПВХ в пределах допустимой концентрации не более 0,02 %, что соответствует техническим требованиям.

2.3 Экономический расчет от внедрения технического решения

Полный экономический расчет представлен в таблицах 6-20. Было рассмотрено собственное вложение в модернизацию, инвестиции и кредитование.

Таблица 6 – Основные параметры расчетов

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСЧЕТОВ	ПОКАЗАТЕЛЬ	
Наименование предприятия	Предприятие	
Наименование проекта	модернизация линии переработки Пэт бутылки	
<u>Временные параметры расчетов. Отчетные даты</u>		
Продолжительность интервала планирования, дни	180	дней
Количество интервалов планирования	10	п/год.
Отчетные даты в шапках таблиц: 1 - отражать, 2 - не отражать	1	Отражать
Описание проекта начинается со следующей даты:		
год	2019	
полугодие (1-2)	1	
<u>Расчетные денежные единицы</u>		
При описании цен и затрат на единицу продукции	руб.	
При отражении итоговых значений	тыс. руб.	
Отличия в размерности выбранных расчетных единиц	1 000	
<u>Система налогообложения, применяемая в проекте</u>		
1 - Основная система налогообложения с описанием доходов и затрат с НДС. 2 - Основная система налогообложения с описанием доходов и затрат без учета НДС. 3 - Льготный режим налогообложения (УСН или ЕНВД)	1	Основная система налогообложения; описание доходов и затрат с НДС
<u>Количество позиций доходов и затрат</u>		
Количество рассматриваемых видов продукции, товаров, работ, услуг	1	
Количество позиций капитальных затрат	1	
Количество привлекаемых долгосрочных кредитов	1	
Количество привлекаемых краткосрочных кредитов	1	

Таблица 7 – Цены реализации продукции

		I п/год. 2019	II п/год.2019	I п/год.20	II п/год.20	I п/год.21	II п/год.21	I п/год.22	II п/год.22	I п/год.23	II п/год.23	
ОБЪЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ (РАБОТ, УСЛУГ) В НАТУРАЛЬНОМ ВЫРАЖЕНИИ	натуральные единицы	1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.	ИТОГО
Производство флексы	тонн	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	12 000

Таблица 8 – Цены реализации продукции

		I п/год.19	II п/год.19	I п/год.20	II п/год.20	I п/год.21	II п/год.21	I п/год.22	II п/год.22	I п/год.23	II п/год.23
ЦЕНЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ (РАБОТ, УСЛУГ)	с НДС	1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.
Производство флексы	руб./тонн	66 950	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645

Таблица 9 –Выручка от реализации

		И п/год. 2019	II п/год. 2019	И п/год. 2020	II п/год. 2020	И п/год. 2021	II п/год. 2021	И п/год. 2022	II п/год. 2022	И п/год. 2023	II п/год.2023		тыс. руб.
ВЫРУЧКА ОТ РЕАЛИЗАЦИИ		1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.		ИТОГО
Производство флексы	тыс. руб.	80 340	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374		875 706
Прочие доходы	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Прочие доходы	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
ИТОГО выручка от реализации с НДС	тыс. руб.	80 340	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	964 080
Ставка НДС	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%		
ИТОГО выручка от реализации без НДС	тыс. руб.	66 950	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	729 755
НДС к выручке	тыс. руб.	13 390	14 729	14 729	14 729	14 729	14 729	14 729	14 729	14 729	14 729	14 729	145 951

Таблица 10 – Производственные затраты

		I п/год. 2019	II п/год. 2019	I п/год. 2020	II п/год. 2020	I п/год. 2021	II п/год. 2021	I п/год. 2022	II п/год. 2022	I п/год. 2023	II п/год.2023		тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЗАТРАТЫ (ТЕКУЩИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ, ОПЕРАЦИОННЫЕ)	с НДС	1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.		ИТОГО
1. Переменные затраты	на единиц у прод.												
ПЭТ бутылка пресованная	руб. / единиц у прод.	Темп роста цен	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Производство флексы тыс. руб.	60700,5	72 841	72 768	72 768	72 768	72 768	72 768	72 768	72 768	72 768	72 768		727 750
Гидроксид натрия	руб. / единиц у прод.	Темп роста цен	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Производство флексы тыс. руб.	1198,0	1 438	1 438	1 438	1 438	1 438	1 438	1 438	1 438	1 438	1 438		14 376
Комплекующие	руб. / единиц у прод.	Темп роста цен	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Производство флексы тыс. руб.	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Технологическая энергия (энергия переменного характера)	руб. / единиц у прод.	Темп роста цен	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Производство флексы тыс. руб.	1257,0	1 508	1 961	1 961	1 961	1 961	1 961	1 961	1 961	1 961	1 961		19 156
Переменные затраты на оплату труда	руб. / единиц у прод.	Темп роста зарплат	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Производство флексы тыс. руб.	1000,0	1 200	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500		14 700

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Для торговых компаний: стоимость закупаемых товаров	Торговая наценка	Темп роста цен	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Производство флексы тыс. руб.	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Затраты на оплату труда, определяемые как процент от выручки (от выручки без НДС)	0,0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Отчисления на социальные нужды	30,8%	370	462	462	462	462	462	462	462	462	462		4 528
ИТОГО переменные затраты (с НДС)	тыс. руб.	77 356	78 128	78 128	78 128	78 128	78 128	78 128	78 128	78 128	78 128	78128	780 510
2. Постоянные затраты	тыс. руб. с НДС за п/год.	1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.		
Заработная плата постоянного характера: основные рабочие	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Заработная плата постоянного характера: вспомогательные рабочие	тыс. руб.	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194		1 944
Заработная плата постоянного характера: специалисты	тыс. руб.	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405		4 050
Заработная плата постоянного характера: АУП	тыс. руб.	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450		4 500
Отчисления на социальные нужды	30,8%	323	323	323	323	323	323	323	323	323	323		3 232
Текущий ремонт зданий и сооружений	тыс. руб.	28	58	58	58	58	58	58	58	58	58		550
Текущий ремонт оборудования	тыс. руб.	576	1 037	1 037	1 037	1 037	1 037	1 037	1 037	1 037	1 037		9 907
Коммунальные платежи 1	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Коммунальные платежи 2	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Арендные платежи	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Складские расходы	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Административные расходы	тыс. руб.	29	37	37	37	37	37	37	37	37	37		366
Сбытовые расходы	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Рекламные расходы	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Амортизация	тыс. руб.	0	0	63	63	63	63	63	63	63	63		500
ИТОГО постоянные затраты (с НДС)	тыс. руб.	2 005	2 505	2 567	2 567	2 567	2 567	2 567	2 567	2 567	2 567		25 049
ИТОГО производственные затраты (с НДС)	тыс. руб.	79 362	80 633	80 696	80 696	80 696	80 696	80 696	80 696	80 696	80 696	80 696	805 560
Ставка НДС	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%		
ИТОГО производственные затраты без НДС	тыс. руб.	66 625	67 750	67 813	67 813	67 813	67 813	67 813	67 813	67 813	67 813	67 813	676 875
НДС к производственным затратам	тыс. руб.	12 737	12 883	12 883	12 883	12 883	12 883	12 883	12 883	12 883	12 883		128 684
Неавансируемые элементы затрат: затраты на оплату труда с начислениями и амортизационные отчисления	тыс. руб.	2 942	3 335	3 397	3 397	3 397	3 397	3 397	3 397	3 397	3 397	3 397	33 454

Таблица 11 – Инвестиционные затраты

		I п/год. 2019	II п/год. 2019	I п/год. 2020	II п/год. 2020	I п/год. 2021	II п/год. 2021	I п/год. 2022	II п/год. 2022	I п/год. 2023	II п/год.2023	13	тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		14
ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ		1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.		ИТОГО
Момент ввода активов в эксплуатацию	Номер п/год.												
Капитальные затраты	2												
Сепаратор													
Распределение капитальных затрат во времени в денежном выражении	Кап. затраты с НДС												
Капитальные затраты	тыс. руб.	0	750	0	0	0	0	0	0	0	0		750
Сепаратор	750												
ИТОГО капитальные затраты (с НДС)	тыс. руб.	0	750	0	0	0	0	0	0	0	0		750
Потребность в финансировании оборотного капитала (+) рост потребности, (-) высвобождение средств	тыс. руб.	531	-961	8	0	0	0	0	0	4	0		-418
ИТОГО инвестиционные затраты периода	тыс. руб.	531	-211	8	0	0	0	0	0	4	0		332
Первоначальная стоимость внеоборотных активов без НДС	Ставка НДС												
Капитальные затраты	20%	0	625	625	625	625	625	625	625	625	625		-
ИТОГО внеоборотные активы на балансе (без НДС)	тыс. руб.	0	625	625	625	625	625	625	625	625	625		-
Амортизационные отчисления	Ставка аморт.												
Капитальные затраты	20%	0	0	63	63	63	63	63	63	63	63		500

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ИТОГО амортизация	тыс. руб.	0	0	63	63	63	63	63	63	63	63		500
Инвестиционные затраты		531	750	8	0	0	0	0	0	4	0		1289
Затраты по основным средствам, принимаемые к учету по УСН "доходы-расходы"		0	750	0	0	0	0	0	0	0	0		750

Таблица 12 – Источники финансирования

Таблица 8		I п/год. 2019	II п/год. 2019	I п/год. 2020	II п/год. 2020	I п/год. 2021	II п/год. 2021	I п/год. 2022	II п/год. 2022	I п/год. 2023	II п/год. 2023		тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ, привлечение и возврат финансовых ресурсов		I п/год.	II п/год.	III п/год.	IV п/год.	V п/год.	VI п/год.	VII п/год.	VIII п/год.	IX п/год.	X п/год.		ИТОГО
Свободные денежные средства (остаток средств на расчетном счете)	тыс. руб.	729	5 425	9 996	14 457	18 876	23 603	28 331	33 059	37 783	42 511		-
Собственные средства вложение (+)													
Увеличение уставного капитала (средства инвесторов, эмиссия акций)	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Средства от текущей деятельности компании (только при рассмотрении проекта отдельно)	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Целевые финансирование и поступления	тыс. руб.		0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
ИТОГО вложенные собственные средства	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кредиты и займы: (+) привлечение (-) возврат основного долга	Сумма кредита в начале первого периода												
Долгосрочный кредит	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
ИТОГО задолженность по долгосрочным кредитам (основной долг)	тыс. руб.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		-
Краткосрочный кредит	0	1 000	-200	-250	-250	-300	0	0	0	0	0		0
ИТОГО задолженность по краткосрочным кредитам (основной долг)	тыс. руб.	1 000	800	550	300	0	0	0	0	0	0		-
Проценты по кредитам и займам (-)	Проц. ставка	1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.		ИТОГО
Долгосрочный кредит	8%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Краткосрочный кредит	8%	0	-38	-30	-21	-11	0	0	0	0	0		-99
ИТОГО проценты по кредитам и займам, уплаченные в текущем периоде	тыс. руб.	0	-38	-30	-21	-11	0	0	0	0	0		-99
Коэффициент покрытия долга по кредитам		0,0	16,2	17,3	17,5	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		

Таблица 13 – Отчет о финансовых результатах

		И п/год. 2019	II п/год. 2019	И п/год. 2020	II п/год. 2020	И п/год. 2021	II п/год. 2021	И п/год. 2022	II п/год. 2022	И п/год. 2023	II п/год.2023		тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ОТЧЕТ О ФИНАНСОВЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ (ОТЧЕТ О ПРИБЫЛЯХ И УБЫТКАХ)	тыс. руб.	1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.		ИТОГО
Выручка от реализации (с НДС)		66 950	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645	73 645		729 755
Производственные затраты (с НДС)		-66 625	-67 750	-67 813	-67 813	-67 813	-67 813	-67 813	-67 813	-67 813	-67 813		-676 875
Проценты по кредитам и займам		0	-38	-30	-21	-11	0	0	0	0	0		-99
Налоги до налога на прибыль		0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0		-7
Прибыль до налогообложения		325	5 857	5 801	5 811	5 820	5 832	5 832	5 832	5 832	5 832		52 773
<i>Убытки предыдущих периодов, перенесенные на текущий период</i>		<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>		0
<i>Непокрытый убыток (-)</i>		<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>		0
Налогооблагаемая прибыль		325	5 857	5 801	5 811	5 820	5 832	5 832	5 832	5 832	5 832		52 773
	Ставка налога на прибыль												
Налог на прибыль	20%	-65	-1 171	-1 160	-1 162	-1 164	-1 166	-1 166	-1 166	-1 166	-1 166		-10 555
Единый налог при льготной системе налогообложения		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Чистая прибыль		260	4 685	4 641	4 649	4 656	4 665	4 665	4 665	4 666	4 666		42 218
Чистая прибыль нарастающим итогом		260	4 945	9 586	14 235	18 891	23 556	28 222	32 887	37 553	42 218		-

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Процент от чистой прибыли												
Дивиденды (-)	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Нераспределенная прибыль		260	4 685	4 641	4 649	4 656	4 665	4 665	4 665	4 666	4 666		42 218
Нераспределенная прибыль нарастающим итогом		260	4 945	9 586	14 235	18 891	23 556	28 222	32 887	37 553	42 218		-

Таблица 14 – Отчет о движении денежных средств

Таблица 11		1 п/год. 2019	II п/год. 2019	I п/год. 2020	II п/год. 2020	I п/год. 2021	II п/год. 2021	I п/год. 2022	II п/год. 2022	I п/год. 2023	II п/год. 2023		тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ОТЧЕТ О ДВИЖЕНИИ ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ (II)	тыс. руб.	1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.		ИТОГО
<u>Составляющие притоков денежных средств</u>													
Выручка от реализации (с НДС)		80 340	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374		875 706
Высвобождение средств из оборотного капитала		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1
Вложение собственных средств		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Привлечение кредитов		1 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1 000
ИТОГО приток денежных средств		81 340	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374		876 707
Производственные затраты (с НДС) без учета амортизации		-79 362	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633		-805 060

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Приобретение внеоборотных активов (с НДС)		0	-750	0	0	0	0	0	0	0	0		-750
Потребность в финансировании оборотного капитала		-531	0	-8	0	0	0	0	0	-4	0		-544
Налоги, кроме НДС		-65	-1 172	-1 162	-1 163	-1 165	-1 167	-1 167	-1 167	-1 167	-1 167		-10 562
НДС в бюджет (-), из бюджета (+)		-670	-1 968	-1 730	-1 855	-1 839	-1 839	-1 829	-1 840	-1 845	-1 846		-17 262
Дивиденды уплаченные		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Возврат кредитов (погашение основного долга)		0	-200	-250	-250	-300	0	0	0	0	0		-1 000
Выплата процентов по кредитам и займам		0	-38	-30	-21	-11	0	0	0	0	0		-99
ИТОГО отток денежных средств		-80 628	-84 761	-83 813	-83 922	-83 948	-83 639	-83 630	-83 640	-83 649	-83 646		-835 276
Поток денежных средств периода		712	3 613	4 561	4 452	4 426	4 735	4 745	4 734	4 725	4 728		41 430
Свободные денежные средства (остаток средств на расчетном счете)		712	4 325	8 886	13 338	17 763	22 499	27 243	31 977	36 702	41 430		-

Таблица 15 – Показатели эффективности инвестиционных затрат

Таблица 12		I п/год. 2019	II п/год. 2019	I п/год. 2020	II п/год. 2020	I п/год. 2021	II п/год. 2021	I п/год. 2022	II п/год. 2022	I п/год. 2023	II п/год.2023		тыс. руб.
ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ЗАТРАТ		1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.		ИТОГО
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Чистый поток денежных средств в то числе		-288	3 843	4 835	4 718	4 735	4 735	4 745	4 734	4 725	4 728		41 510
- Выручка от реализации		80 340	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374		875 706
- Производственные затраты без учета амортизации		-79 362	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633		-805 060
- Капитальные затраты		0	-750	0	0	0	0	0	0	0	0		-750
- Рост потребности в финансировании оборотного капитала (отток денежных средств)		-531	0	-8	0	0	0	0	0	-4	0		-544
- Сокращение потребности в финансировании оборотного капитала (высвобождение ден.средств)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1
- Налоги		-735	-3 148	-2 898	-3 023	-3 006	-3 006	-2 997	-3 007	-3 012	-3 013		-27 844
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Чистый поток денежных средств нарастающим итогом		-288	3 555	8 390	13 108	17 843	22 578	27 323	32 056	36 781	41 510		-
Ставка сравнения (ставка дисконтирования)	8%												
Индексы дисконтирования		1,00	0,96	0,92	0,89	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70		-

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Дисконтированный поток		-288	3 695	4 470	4 195	4 047	3 892	3 750	3 597	3 453	3 322		34 133
Дисконтированный поток нарастающим итогом		-288	3 407	7 877	12 072	16 119	20 011	23 761	27 358	30 811	34 133		-
Простой срок (период) окупаемости, лет	0,5	с начала реализации проекта											
Дисконтированный срок (период) окупаемости, лет	0,5	с начала реализации проекта											
NPV, чистая текущая стоимость	34 133	-288	3 407	7 877	12 072	16 119	20 011	23 761	27 358	30 811	34 133		34 133
NPV с учетом остаточной стоимости проекта	33 927	-757	2 946	7 499	11 875	16 133	19 973	23 674	27 228	30 642	33 927	33 927	33 927
PI, прибыльность (рентабельность) инвестиций Сумма дисконтированных чистых потоков без учета инвестиционных затрат / Дисконтированная величина инвестиционных затрат	28,0	0,5	3,7	7,3	10,6	13,8	16,9	19,9	22,7	25,4	28,0	28	28,0
IRR, внутренняя норма доходности (рентабельности)	2714%	-	2467%	2699%	2713%	2714%	2714%	2714%	2714%	2714%	2714%	27	2714%
ОЦЕНКА ДОПУСТИМОЙ СТОИМОСТИ ПРИВЛЕКАЕМЫХ ЗАЕМНЫХ СРЕДСТВ													

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Собственные средства, направляемые на финансирование проекта		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Дивиденды		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Чистый поток денежных средств с учетом вложения собственных средств		-288	3 843	4 835	4 718	4 735	4 735	4 745	4 734	4 725	4 728		41 510
Ставка процентов по кредитам и займам, которую может выдержать проект с учетом вложения собственных средств и выплаты дивидендов	2714%	-	2467%	2699%	2713%	2714%	2714%	2714%	2714%	2714%	2714%	27	2714%
Инвестиционные затраты периода		531	750	8	0	0	0	0	0	4	0		1 293
Дисконтированные инвестиционные затраты периода		531	721	8	0	0	0	0	0	3	0		
Дисконтированная величина инвестиционных затрат нарастающим итогом		531	1 253	1 260	1 260	1 260	1 260	1 260	1 260	1 263	1 263		
Чистые потоки денежных средств без учета инвестиционных затрат		243	4 593	4 843	4 718	4 735	4 735	4 744	4 734	4 729	4 728		42 803
Дисконтированные чистые потоки денежных средств без учета инвестиционных затрат		243	4 416	4 478	4 194	4 047	3 892	3 750	3 597	3 455	3 322		
Сумм дисконтированных чистых потоков без учета инвестиционных затрат		243	4 660	9 138	13 332	17 379	21 271	25 021	28 618	32 073	35 395		

Таблица 16 - Баланс

		I п/год. 2019	II п/год. 2019	I п/год. 2020	II п/год. 2020	I п/год. 2021	II п/год. 2021	I п/год. 2022	II п/год. 2022	I п/год. 2023	II п/год.2023
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
БАЛАНС	тыс. руб.	1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.
= ИТОГО Внеоборотные активы (остаточная стоимость)		0	625	563	500	438	375	313	250	188	125
Запасы сырья и материалов		186	186	186	186	186	186	186	186	186	186
Незавершенное производство		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Готовая продукция		1 110	1 129	1 130	1 130	1 130	1 130	1 130	1 130	1 130	1 130
Дебиторская задолженность покупателей и заказчиков		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Авансы выданные поставщикам		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Денежные средства		729	5 425	9 996	14 457	18 876	23 603	28 331	33 059	37 783	42 511
Прочие оборотные активы		0	125	0	0	0	0	0	0	0	0
= ИТОГО Оборотные активы		2 025	6 865	11 312	15 773	20 191	24 919	29 647	34 375	39 099	43 827
= ИТОГО активы		2 025	7 490	11 874	16 273	20 629	25 294	29 959	34 625	39 286	43 952
Уставный капитал		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Нераспределенная прибыль или накопленный убыток		260	4 945	9 586	14 235	18 891	23 556	28 222	32 887	37 553	42 218
= ИТОГО Собственный капитал		260	4 945	9 586	14 235	18 891	23 556	28 222	32 887	37 553	42 218
= ИТОГО Долгосрочные обязательства		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Задолженность по краткосрочным кредитам		1 000	800	550	300	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кредиторская задолженность перед поставщиками и подрядчиками		266	292	240	184	228	272	372	406	405	405
Авансы полученные от покупателей		286	1 020	1 075	1 131	1 088	1 044	945	910	907	907
Расчеты с бюджетом и внебюджетными фондами		119	327	317	317	316	316	315	316	316	316
Расчеты с персоналом		94	106	106	106	106	106	106	106	106	106
= ИТОГО Краткосрочные обязательства		1 765	2 545	2 287	2 037	1 737	1 737	1 738	1 737	1 734	1 734
= Итого Заемный капитал		1 765	2 545	2 287	2 037	1 737	1 737	1 738	1 737	1 734	1 734
= ИТОГО пассивы		2 025	7 490	11 874	16 272	20 628	25 294	29 959	34 625	39 287	43 952
Разница итогов Активов и Пассивов Баланса		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 17 – Показатели финансового состояния

		I п/год. 2019	II п/год. 2019	I п/год. 2020	II п/год. 2020	I п/год. 2021	II п/год. 2021	I п/год. 2022	II п/год. 2022	I п/год. 2023	II п/год.2023
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ПОКАЗАТЕЛИ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ		1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.
Точка безубыточности в денежном выражении <i>Постоянные затраты</i> (Выручка - Переменные затраты)*Выручка	тыс. руб.	53 997	21 606	22 145	22 145	22 145	22 145	22 145	22 145	22 145	22 145
Отличие фактической выручки от точки безубыточности	тыс. руб.	33%	76%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Прибыльность продаж (Чистая прибыль/Выручка от реализации)		0,4%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
Рентабельность активов в годовом выражении (Чистая прибыль/Всего активов)		26%	125%	78%	57%	45%	37%	31%	27%	24%	21%
Рентабельность собственного капитала в годовом выражении (Чистая прибыль/Собственный капитал)		200%	189%	97%	65%	49%	40%	33%	28%	25%	22%
Оборачиваемость активов в годовом выражении (Выручка от реализации/Всего активов)		66,1	19,7	12,4	9,1	7,1	5,8	4,9	4,3	3,7	3,4
Доля собственного капитала в пассивах		13%	66%	81%	87%	92%	93%	94%	95%	96%	96%
Коэффициент общей ликвидности (Оборотные активы/Краткосрочные обязательства)		1,1	2,7	4,9	7,7	11,6	14,3	17,1	19,8	22,5	25,3
Коэффициент абсолютной (мгновенной) ликвидности (Денежные средства/Краткосрочные обязательства)		0,4	2,1	4,4	7,1	10,9	13,6	16,3	19,0	21,8	24,5

Таблица 18 – Анализ чувствительности

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ	
Показатели эффективности	
при уровне параметров (100%), заложенных в расчетах	
Простой срок (период) окупаемости, лет	0,5
Дисконтированный срок (период) окупаемости, лет	0,5
NPV без учета остаточной стоимости проекта	34 133
IRR	2714%
Уровень доходов и затрат в % от базового (100%-ного) уровня, заложенного в расчетах	
Выручка от реализации	100%
Производственные затраты	100%
Капитальные вложения	100%

Таблица 19 – Потоки денежных средств

		1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.		ИТОГО
Поток денежных средств		-288	3 843	4 835	4 718	4 735	4 735	4 745	4 734	4 725	4 728		41 510
<i>в том числе</i>													
- Выручка от реализации		80 340	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374	88 374		875 706
- Производственные затраты без учета амортизации		-79 362	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633	-80 633		-805 060
- Приобретение внеоборотных активов		0	-750	0	0	0	0	0	0	0	0		-750
- Рост потребности в финансировании оборотного капитала		-531	0	-8	0	0	0	0	0	-4	0		-543
- Налоги		-735	-3 148	-2 898	-3 023	-3 006	-3 006	-2 997	-3 007	-3 012	-3 013		-27 844
- Выплата процентов за кредиты		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Поток денежных средств нарастающим итогом		-288	3 555	8 390	13 108	17 843	22 578	27 323	32 056	36 781	41 510		-
Ставка сравнения	8%												
Индексы дисконтирования		1,00	0,96	0,92	0,89	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70		-
Дисконтированный поток		-288	3 695	4 470	4 195	4 047	3 892	3 750	3 597	3 453	3 322		34 133
Дисконтированный поток нарастающим итогом		-288	3 407	7 877	12 072	16 119	20 011	23 761	27 358	30 811	34 133		-

Таблица 20 – Показатели финансового состояния

ПОКАЗАТЕЛИ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ		1 п/год.	2 п/год.	3 п/год.	4 п/год.	5 п/год.	6 п/год.	7 п/год.	8 п/год.	9 п/год.	10 п/год.
Точка безубыточности в денежном выражении <i>Постоянные затраты</i> (Выручка - Переменные затраты)*Выручка	<i>тыс. руб.</i>	53 997	21 606	22 145	22 145	22 145	22 145	22 145	22 145	22 145	22 145
Отличие фактической выручки от точки безубыточности	<i>тыс. руб.</i>	33%	76%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
Прибыльность продаж (Чистая прибыль/Выручка от реализации)		0,4%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
Рентабельность активов в годовом выражении (Чистая прибыль/Всего активов)		26%	125%	78%	57%	45%	37%	31%	27%	24%	21%
Рентабельность собственного капитала в годовом выражении (Чистая прибыль/Собственный капитал)		200%	189%	97%	65%	49%	40%	33%	28%	25%	22%
Оборачиваемость активов в годовом выражении (Выручка от реализации/Всего активов)		66,1	19,7	12,4	9,1	7,1	5,8	4,9	4,3	3,7	3,4
Доля собственного капитала в пассивах		13%	66%	81%	87%	92%	93%	94%	95%	96%	96%
Коэффициент общей ликвидности (Оборотные активы/Краткосрочные обязательства)		1,1	2,7	4,9	7,7	11,6	14,3	17,1	19,8	22,5	25,3

2. 4 Выводы по главе 2

1. Представлено математическое моделирование процесса сепарации при механической переработке ПЭТ. Для расчета скорости потока воздуха и сепарационного пространства предложена математическая модель, согласно которой частица флексы и ПВХ рассматриваются как условное тело с аэродинамическими свойствами.

2. Представлено математическое описание для расчета эффективных значений скоростей воздушного потока и сепарационного пространства основе принципа по известным аэродинамическим свойствам материалов.

3. В процессе сушки ПЭТ-флексы содержание ПВХ примесей не уменьшается и снижается её качество, поэтому предложено повышение качества ПЭТ-флексы достичь с помощью установки воздушного сепаратора. Для этого выбрана установка воздушной сепарации, отвечающая указанным требованиям. Для определения режимных и конструктивных параметров сепаратора выбранной установки и оценки его эффективности выполнен расчет сепарационного пространства и воздушных потоков.

4. Обоснована работа воздушного сепаратора, которая возможна в диапазоне изменения влажности сырья от 0 до 2%. Фракцию размером менее 8-12 мм загружали в воздушный сепаратор и приводили его в действие с производительностью 446 кг/ч. Наклон и скорость потока воздуха задавали так, чтобы тяжелые хлопья ПЭТ-флексы независимо от своего размера не могли скатываться вниз. С этими параметрами получали степень чистоты фракций свыше 99,8 %. Легкая фракция ПВХ завихренным воздушным потоком отделялась специальный накопитель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проанализировав количественный и качественный состав ТКО, следует сделать вывод, что в Самарской области ежегодно увеличивается объем пластмассовых отходов. Доля образования ТКО за последние три года увеличилась с 15% до 24 %. ТКО содержат пластмасса, бумага, картон, кожа, резина, текстиль, ПЭТ, поэтому обладают высоким ресурсным потенциалом, который необходимо максимально использовать для извлечения максимального количества вторичного сырья.

2. Для формализации параметров эффективности переработки ПЭТ, необходимо определить степень чистоты ПЭТ-флекс (влажность сырья, фракционный состав, предельное количество примесей) и параметры технологического процесса.

3. Для эффективности переработки ПЭТ, требуется повысить качество получаемого продукта. К основным качественным показателям относятся низкая влажность сырья и минимальное количество примесей в ПЭТ-флексе. Для этого необходимо производить дополнительную очистку от примесей ПВХ. Низкое содержание примесей ПВХ позволяет получить минимальное количество не перерабатываемых технологических отходов при производстве полиэфирного волокна.

5. На основании проведенного анализа методов переработки ПЭТ, следует вывод, что наиболее экологичным и экономичным методами являются механическая переработка с применением воздушного сепаратора для отделения ПВХ. Выбранный способ является оптимальным на базе существующих мощностей и объемов выпуска продукции, определена эффективная технология переработки получения продукта (ПЭТ-флекс) с минимальным содержанием примесей ПВХ, которая позволит снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду.

6. Представлено математическое моделирование процесса сепарации при механической переработке ПЭТ. Для расчета скорости потока воздуха и

сепарационного пространства предложена математическая модель, согласно которой частица флексы и ПВХ рассматриваются как условное тело с аэродинамическими свойствами.

7. Представлено математическое описание для расчета эффективных значений скоростей воздушного потока и сепарационного пространства основе принципа по известным аэродинамическим свойствам материалов.

8. В процессе сушки ПЭТ-флексы содержание ПВХ примесей не уменьшается и снижается её качество, поэтому предложено повышение качества ПЭТ-флексы достичь с помощью установки воздушного сепаратора. Для этого выбрана установка воздушной сепарации, отвечающая указанным требованиям. Для определения режимных и конструктивных параметров сепаратора выбранной установки и оценки его эффективности выполнен расчет сепарационного пространства и воздушных потоков.

9. Экономический эффект от внедрения новой единицы оборудования показал высокую маржинальную прибыль и короткие сроки окупаемости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айзенштейн, Э.М. Производство волокон на основе полиэтилентерефталата в мире и в России. Доклад на конференции «Полиэтилентерефталат-2014», «Альянс - Аналитика», Москва, 24 ноября 2014 г.
2. Алексеенко, С.В., Басин, А.С. Универсальная технология использования твердых бытовых отходов в качестве нетрадиционного топлива // Энергосбережение. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2004. – № 4. – С. 42-44, 46, 48, 50.
3. Баранова, Ю.Г. Стратегия минимизации отходов в Российской Федерации: перспективные решения в области управления и технической политики //15 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, Минск, 24-29 мая. Минск: Беллит, 1993. – Т. 1. – С. 74-75.
4. Богоявленский, Р.Г., Рыжов, В.А. Мировые тенденции в области современных технологий утилизации твердых промышленных и бытовых отходов // ЭКОС. М.: ИСТИНА, 2000. – Т.1. – № 8-12. – С. 42-51.
5. Бордунов, В.В. Вариант комплексной переработки твердых бытовых отходов Текст. // Экология и промышленность России. М.: ЗАО «КАЛВИС», 2004. – № 10. – С. 32-33.
6. Букреев, Е.М. Твердые бытовые отходы вторичные ресурсы для промышленности // Экология и промышленность России. М. :ЗАО «КАЛВИС», 1999. – №5. – С. 38-41.
7. Бушихин, В.В., Ломтев, А.Ю., Пахтинов, В.М. Альтернативное топливо из твердых бытовых отходов // Твердые Бытовые отходы. М.: Издательский дом «Отраслевые ведомости», 2015. – №4. – С.38-40.
8. Вандраш, Я.В. Классификация отходов в Польше и рекомендуемые методы их переработки // М.: Издательство ОНТО, 1999. – № 3. – С.86-88.
9. Варианты компоновки производственных перерабатывающих линий: // Линия переработки отходов ПЭТ в чистыйфлекс. URL: <http://ppt->

rus.ru/liniya-pererabotki-othodov-pet-v-fleksu-ekonom (дата обращения 12.05.2018)

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

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

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

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

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

15. Галицкая, И.В. Экологические проблемы обращения и утилизации бытовых и промышленных отходов // Геоэкология. Инженерная геология Гидрогеология. Геокриология, 2005. № 2. - С. 144-147.

16. Гонопольский, А.М., Федоров Л.Г. Превентивная защита окружающей среды при промышленной переработке твердых бытовых отходов // Чистый город. Волгоград: ООО «ГК «Чистый город», 2000. – № 1. – С. 10–12.

17. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 27 с.

18. ГОСТ Р 54235-2010 Топливо твердое из бытовых отходов. Технические характеристики и классы. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 14 с.

19. Данилин, Г.Д. Битва с мусором продолжается // Энергия: Экономика, технология, экология, 1993. № 10. - С. 42-47.

20. Дементьев, С.Ю. Трансформация процессов преобразования твердых бытовых отходов // Геология, 2000. № 1. - С. 135-142.

21. Дрейер, А.А. и др. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка. М., 1997, - 237с
22. Евростат базы данных [электронный ресурс] URL : <http://www.azs-agzs.ru/showdoc.do?docid=94> (дата обращения_08.04.2019)
23. Евтушенко, Е.И. Некоторые аспекты переработки твердых бытовых и промышленных отходов // Технол. и сан.-экол. проблемы утилизации и захоронения твердых бытовых отходов, пути их решения в Белгородской области: сб. матер. обл. семинара-совещания. - Белгород, 1998. - С.62-64.
24. Журкович, В.В. Методические подходы и опыт разработки и создания технических средств обращения ТКО // Институт проблем региональной экономики РАН. СПб.: РАН, 2002. – 39 с.
25. Иванова, О. А., Реховская, Е. О. Утилизация и переработка пластиковых отходов // Молодой ученый. — 2015. — №21. — С. 54-56.
26. Игнатович, Н.И. Что нужно знать о твердых бытовых отходах? // Экологический вестник России, 1998. № 1. - С. 53-60; № 2. - С. 48-60; № 3. - С. 8-60.
27. Ильиных, Г.В. Морфологический состав отходов: основные тенденции изменения // Твердые бытовые отходы. М.: Издательский дом «Отраслевые ведомости», 2011. – №8. – С. 12-16.
28. Ильиных, Г.В. Современные методические подходы к анализу морфологического состава ТКО с целью оценки их ресурсного потенциала // Экология и промышленность России. М. : ЗАО «КАЛВИС», 2012. – №7. – С. 25-29.
29. Кайгородов, О. Переработка ТБО – сочетание многих технологий // Химический журнал. М.: МГУ, 2015. – № 1-2. – С. 66-72.
30. Калугина, Н.Л., Варламова И.А., Гиревая Х.Я., Бодьян Л.А., Чурляева Н.А. Исследование продуктов химической деструкции полиэтиленгликольтерефталата. Современные проблемы науки и образования. – 2015.

31. Керницкий, В.И., Жир Н.А. Переработка отходов полиэтилентерефталата (ПЭТ) // Полимерные материалы. — 2014. — №8. — С. 12-21. 7.
32. Керницкий, В.И., Жир, Н.А., АРПЭТ: «Будущее ПЭТ зависит от технологий сбора и переработки отходов» «Аqua Индустрия» 1-2/2014
33. Керницкий, В.И., Микитаев, А.К. Производство и переработка полиэтилентерефталата. — М.: Изд. РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. — 282 с.
34. Киселева, Т.В. Методы оценки и управление эколого-экономическими рисками как механизм обеспечения устойчивого развития эколого-экономической системы / Т.В. Киселева, В.Г. Михайлов // Системы управления и информационные технологии, 2012. — Т. 48. — № 2. — С. 69-74.
35. Клинков, А.С. [и др.] Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов. — Тамбов: Издательство ТГТУ, 2013. — 100 с.
36. Костовецкий, В. П. Система обеспечения обращения с отходами потребления в Московском регионе // Управление твердыми бытовыми отходами в Московском регионе сегодня и завтра: Материалы 1-го научно-методического семинара / Московский общ. научный фонд. — М., 1999. — С.76–86.
37. Коузов, П.А. Указания по расчету циклонов. Методические материалы для проектирования / П.А. Коузов. — М. : ВНИИОТ ВЦСПС, 1971. — 53 с.
38. Лебедев, В.Н., Шубов Л.Я. О рациональных методах переработки твердых бытовых отходов // Экол. вестн. Подмосковья. - 1993. - N 4. - С.8-13.
39. Куркин, П.Ю. Организация переработки и использования твердых бытовых отходов опыт США и проблемы России: Автореф. дисс. канд. экон. наук. - М.: Институт США и Канады РАН, 2000. - 28 с.

40. Лифшиц, А.Б. Современная практика управления твердыми бытовыми отходами//Чистый город. Волгоград: ООО «ГК «Чистый город», 2002. – №1. – С.16-23.
41. Лихачев, Ю.М., Селиванова, С.В., Глазов, И.Г. Анализ и оценка зарубежного опыта обращения с твердыми бытовыми отходами// Комплексная переработка твердых бытовых отходов наиболее передовая технология: сборник трудов. СПб.: СПбГТУ, 2001. – С. 72-88.
42. Лозовецкий, В.В. и др. Обеспечение экологической безопасности полигонов для захоронения отходов на базе систем утилизации биогаза // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. М.: ВИНТИ РАН, 2011. – №1. – С.72.
43. Маркетинговое исследование «Твердые бытовые отходы (ТБО) в России», Москва ООО «Инвентика», 2010 г., 143 с.
44. Матвеев, Н. Эффективный способ переработки твердых бытовых отходов // Жилищное и коммунальное хозяйство, 2003. № 2. — С. 33-34.
45. Мельникова, Д.А. Оптимизация системы управления движением отходов ТБО с целью улучшения экологической ситуации на территории г.о. Тольятти // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2012. — Т. 14 — № 1—3. — С. 771—776.
46. Методика исследования свойств твердых отбросов. – М.: Стройиздат, 1970. – 215 с.
47. Методическое указание по использованию программного комплекса AnsysFLUENT. KNRTU, Казань 2012г, 204с.
48. Научно-производственное предприятие «Экопром» академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова научно-исследовательский институт экологии человека. М.: Стройиздат, 1970 г. – 218 с.
49. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон Российской Федерации от 24 июня 1998 года, №89-ФЗ: принят Гос. Думой Российской Федерации 22 мая 1998 г.: одобр. Советом Федерации 10 июня 1998г.

50. Остапчук, Е., Переработка пластиковой бутылки: // Технология и оборудование. 2015. URL: https://www.syl.ru/article/180196/new_pererabotka-plastikovoy-butyilki-tehnologiya-i-oborudovanie (дата обращения 12.05.2018)
51. Охрана окружающей среды в России: Стат. сб./Росстат. -0-92 М., 2008. – 253 с.
52. Петров, К.М. Общая экология: Взаимодействие общества и природы: Учебное пособие для вузов– 4-е изд., СПб: Химия, 2014- 27 с
53. Пономарева, В.Т. Использование пластмассовых отходов за рубежом / В.Т. Пономарева, Н.Н. Лихачева, З.А. Ткачик // Пластические массы, 20012. – № 5. – С. 44-48.
54. Постановление Правительства Самарской области от 06.08.2009 № 372. «Совершенствование системы обращения с отходами производства и потребления и формирование кластера использования вторичных ресурсов на территории Самарской области» на 2010-2012 годы и на период до 2020 года»
55. Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 664 от 22.08.2016г.// Национальный правовой Интернет- портал Республики Беларусь, 26.08.2016, 5/42518.
56. Протасов, В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России - М.:Финансы и статистика, 2012.-672с.
57. Пути отходов // Вокруг света. — 2012. — № 7. — С. 22.
58. Российская Федерация. Постановления правительства. О правилах разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение № 461: пост. правит.: [утвержден пост. правит. 16 июня 2000 г.]. – 2007 г. – 3 с.
59. Свергузова, С.В., Гаврилова О.В. Способ утилизации твердых бытовых отходов // Наука производству, 2001. - № 3(41). - С. 44-46.
60. Супрун, Л.В. Анализ и решение проблемы утилизации и вторичной переработки полиэтилентерефталат (ПЭТ) отходов в городе

Томске / Л.В. Су-прун, С.В. Романенко, Т.С. Цыганкова // Вестник науки Сибири, 2012. – № 4 (5). – С. 107-112.

61. Тараканов, В.А. Методика сравнительной технико-экономической оценки технологий переработки ТБО вторичного сырья. М.: Издательство ИЛИ РАН, 2006. - 12 с.

62. Тараканов, В.А. Основы организации индустрии и развития рынка вторичного сырья: Монография. -М.: ИГА, 2005.

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

64. Филимонов О.И. Особенности ПЭТ–тары как вторичного антропогенного сырья и ценообразование в сфере ее переработки // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2.;

65. Чупрова, Л. В., Муллина Э. Р. Технологические особенности производства упаковки из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) // Молодой ученый. — 2013. — №5. — С. 123-125. — URL <https://moluch.ru/archive/52/6954/> (дата обращения: 19.12.2017).

66. Шварц, Д. Отходы, упаковка и окружающая среда. – Рига, Латвия: Клуб защиты среды, 1995. 68 с.

67. Шнайдер, И.М. Проблема твердых бытовых отходов и пути ее решения // Академический вестник, 2002. № 1. — С. 25-31.

68. Angel B. Polyester Fibres. The 23RD PCI Consulting Group European Polyester Industry Conference, 3 October, Berlin.

69. Comparing life cycle energy and GHG emissions of biobased PET, recycled PET, PLA, and man-made cellulose, 2012, Li Shen, Ernst Worrell and Martin K Patel, , Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com), DOI: 10.1002/bbb.1368, <http://www.scopus.com/>

70. Dussimon K. Unipack.ru, официальная газета выставок «Упаковка/Упак Италия-2015» и «Интерпластика-2015».

71. New Study Gives "Green" Light to PET Bottles over Glass or Aluminum. 2014.

72. PET bottles recycling waste – utilization and properties. MajaRujnić-Sokele, Mladen Šercer, Ana Pilipović, 12th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2008, Istanbul.

73. Recycling of PET, 2005, Firas Awaja, Dumitru Pavel, European Polymer Journal 41, 1453–1477, URL: <http://www.elsevier.com/locate/europolj> (дата обращения 25.04.2019).

ПРИЛОЖЕНИЕ А



ИЗВЕЩЕНИЕ О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЙ СЫРЬЯ № 81/3

Наименование сырья: ПЭТФ флейки чистые

Поставщик: ЗАО «Комитекс Авто» г. Тольятти

Наименование и № транспортной единицы: а/м X 238 ММ

Дата поступления: 04.02.2018

№ ПО 183885

Внешний вид, цвет: зеленые

Вес, кг: 7 б/б — 3798 кг

№ п/п	Наименование показателей	Норма	Факт
	Размеры флейков в т.ч.:		
	от 0 до 2 мм	Не более 5 %	1,11
	от 2 до 12 мм	Не менее 93 %	98,02
	от 12 до 15 мм	Не более 2 %	0,87
	от 15 мм и более	Не допускается	отсутствует
2	Инородные примеси, %:		
	- бумага, металл, песок и другие МЕ	Не более 0,15 %	отсутствует
	- полимерная этикетка	Не более 0,03 %	отсутствует
	Посторонние полимерные примеси, %:		
- полиэтилен (крышка)	Не более 0,02 %	отсутствует	
- ПВХ	Не более 0,02 %	отсутствует	
- Прочие	Не допускается	отсутствует	
3	Температура плавления	260-280 °С	267,6
4	Качество промывки	Хорошее, удовлетворительное	хорошее
5	Влажность	Не более 2 %	0,89
6	Размер упаковки, см длина*ширина*высота	95-110*95-110*100-200 4 стропы; верхняя крышка; нижний люк	Размер соответствует требованиям; 4 стропы; верхняя крышка и нижний люк имеются; состояние упаковки удовлетворительное

Заключение по результатам входного контроля: Соответствует условиям договора 7 б/б — 3798 кг, код 1088968.

Дата: 04.02.2018

/Испытания провел лаборант: Поелуева Е.В.

Решение: 7 б/б — 3798 кг, код 1088968 (высший сорт).

Дата: 05.02.2018

/Начальник лаборатории: Кокорина Г. И.