

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго-ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и
биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Утилизация осадка переработки ПЭТ на ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

Обучающийся

Г.Д. Ганина

(И.О. Фамилия)

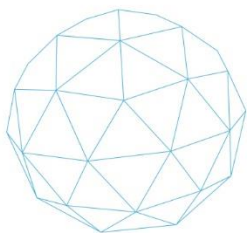
(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Мельникова

(ученая степень, ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022



Росдистант
ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнила Ганина Елена Дмитриевна.

Тема бакалаврской работы: «Утилизация осадка переработки ПЭТ».

Руководитель: Мельникова Дарья Анатольевна.

Целью работы являются - снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду за счет утилизации осадка от переработки ПЭТ (полиэтилентерефталата) в производстве полимерпесчаных изделий.

Объектом исследования является осадок переработки ПЭТ, с целью использования его в процессе производства полимерпесчаных изделий.

В ходе написания работы рассмотрены патенты технологий переработки ПЭТ и производства полимерпесчаного композита, патенты по технологии производства полимерпесчаного композита, и патенты по составу полимерпесчаного композита. Далее был рассмотрен технологический процесс переработки ПЭТ на ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Проведен эксперимент по добавлению осадка от переработки ПЭТ после фильтрации в агломерат с целью дальнейшего его использования в производстве полимерпесчаных изделий.

Произведен расчет материального баланса технологического процесса изготовления полимерпесчаных изделий из осадка после переработки ПЭТ.

Описаны стадии технологического процесса производства полимерпесчаных изделий и предложено оборудование, необходимое для запуска производственной линии на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье». Определен эколого-экономический эффект предложенного решения.

Работа состоит из введения, 3 глав, заключения, содержит 23 рисунков, 13 таблиц и 37 источников используемой литературы. Основной текст работы изложен на 60 листах. Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word и представлена на электронном носителе.

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Теоретический анализ эффективности существующих способов переработки ПЭТ	6
1.1 Общая характеристика ПЭТ	6
1.2 Патентный поиск технологий переработки ПЭТ и производства полимерпесчаного композита.....	16
Глава 2 Утилизация осадка переработки ПЭТ	32
2.1 Технологический процесс переработки ПЭТ на предприятии ООО "ЭкоРесурсПоволжье"	32
2.2 Утилизация осадка переработки ПЭТ на базе ООО«ЭкоРесурсПоволжье».....	41
2.3 Выбор оборудования для производства полимерпесчаных изделий	45
Глава 3 Расчетная часть.....	51
3.1 Расчет технологической линии производства полимерпесчаных лавок из отходов полиэтилентерефталата после переработки ПЭТ....	51
3.2 Расчет производства товарной продукции	53
Заключение	56
Список используемой литературы и используемых источников.....	58

Введение

В настоящее время полимерная индустрия продолжает активно развиваться. «Специалистами было подсчитано общее количество разных видов пластика, которые были произведены человечеством. За 50–60 лет с момента массового выпуска в середине прошлого века люди произвели около 8,3 миллиарда тонн, причем половина от этого количества произведена в последние 13 лет» [1]. Значительная часть изделий, а это примерно 50 % от произведенного пластика, используются одноразово (одноразовая упаковка, пластиковая посуда, пластиковые бутылки), после чего вся продукция, которая была указана, теряет свои потребительские свойства, примерно 90% твердых коммунальных отходов просто транспортируется и складывается на полигонах и свалках, а на переработку поступает только 7% от общей массы. В связи с этим, встает вопрос о вторичном использовании полимерных материалов.

Полимер песчаные изделия – новое направление в производстве строительных материалов. Уникальность этого композитного материала заключается в том, что сырьем для его производства служат полимерные отходы, которых в избытке можно найти на любом полигоне твердых бытовых отходов. Добавив к пластику песок и краситель, на выходе можно получить изделия, которые по своим эксплуатационным характеристикам и по своим свойствам (прочность, морозостойкость, долговечность) опережают свои традиционные аналоги. В настоящее время, отходы полимеров используются для изготовления различных изделий. Как правило техпроцесс изготовления изделий из вторичного пластика предусматривает требования к чистоте сырья. Использование загрязненных полимерных отходов может приводить к браку. Для изготовления агломерата и гранулята используют либо чистые отходы полимеров, либо в технический процесс включают дополнительный блок отмывки, что влечет за собой увеличение стоимости конечной продукции. При производстве полимерпесчаных

изделий нет высоких требований по качеству, это позволяет использовать загрязненные отходы полимеров в данном технологическом процессе. На основе данного материала производятся такие изделия как плитка тротуарная, черепица, канализационные люки, полимерпесчаные лавочки и другие.

В состав полимерпесчаного композита могут входить полимерные отходы в различных видах: упаковка, пластиковая тара, пришедшие в негодность изделия быта.

«Упаковочный материал изготавливается из термопластичных полимеров таких как: полиэтилен, полистирол, полиэтилентерефталат. При этом примерно 70% пищевой упаковки производится из полиэтилентерефталата» [1].

В бакалаврской работе рассмотрен процесс изготовления полимерпесчаных изделий из отходов полимеров, образующихся при переработке полиэтилентерефталата.

Целью бакалаврской работы является: снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду за счет утилизации осадка от переработки ПЭТ в производстве полимерпесчаных изделий. В соответствии с намеченной целью были поставлены следующие задачи:

- Изучить и проанализировать технологический процесс переработки ПЭТ и технологический процесс производства полимерпесчаных изделий;
- Оценить количество образования осадка при утилизации отходов полиэтилентерефталата;
- Провести качественный и количественный анализ состава осадка;
- Предложить решение использования осадка от переработки отходов полиэтилентерефталата;
- Рассчитать эколого-экономические показатели предложенного решения.

Глава 1. Теоретический анализ эффективности существующих способов переработки полиэтилентерефталата ПЭТ

1.1 Общая характеристика полиэтилентерефталата ПЭТ

«Полиэтилентерефталат (ПЭТ или ПЭТФ,) – это термопластичный полимер, являющийся самым распространенным среди полиэфиров. ПЭТ материал обладает прозрачностью, высокой прочностью, обладает очень хорошей химической стойкостью, превосходными механическими, электрическими свойствами, хорошей пластичностью (причем в нагретом состоянии, и в холодном)» [2]. Данный материал, переходит в прозрачное состояние при нагреве до температуры стеклования и остается в этом состоянии при резком охлаждении и быстром проходе через так называемую зону кристаллизации. «Данный материал поддается обработке сверлением, пилением, фрезерованием. Все свои характеристики ПЭТ материал сохраняет и при низких температурах, до -40, и при высоких, до +75 градусов. Достаточно прочен, износостоек, хороший диэлектрик не разлагается в природе длительное время (процесс разложения занимает свыше 500 лет)» [2].

«ПЭТ материал имеет высокую химическую стойкость к бензину, маслам, жирам, спиртам, эфиру, разбавленным кислотам и щелочам. Полиэтилентерефталат не растворим в воде и многих органических растворителях, растворим лишь при 40-150 град. С в фенолах и их алкил- и хлорзамещенных, анилине бензиловом спирте, хлороформе, пиридине, дихлоруксусной и хлорсульфоновой кислотах и др. Неустойчив к кетонам, сильным кислотам и щелочам. Имеет повышенную устойчивость к действию водяного пара» [2].

«Аморфный полиэтилентерефталат – твердый прозрачный с серовато-желтоватым оттенком, кристаллический – твердый, непрозрачный, бесцветный. Отличается низким коэффициентом трения (в том числе и для марок, содержащих стекловолокно). Термодеструкция ПЭТ имеет место в

температурном диапазоне 290-310 С. Деструкция происходит статистически вдоль полимерной цепи; основными летучими продуктами являются терефталевая кислота, уксусный альдегид и монооксид углерода. При 900 °С генерируется большое число разнообразных углеводородов; в основном летучие продукты состоят из диоксида углерода, монооксида углерода и метана. Для предотвращения окисления ПЭТ во время переработки можно использовать широкий ряд антиоксидантов» [2].

В таблице 1 представлены характеристики ПЭТ.

Таблица 1 - Характеристики ПЭТ (полиэтилентерефталат)

Коэффициент теплового расширения (расплав)	6,55 x10-4
Сжимаемость (расплав), МПа	6,99 x 106
Плотность, г/см ³ : аморфный, кристаллический	1,335, 1,420
Диэлектрическая постоянная (23 °С, 1 кГц)	3,25
Относительное удлинение при разрыве, %	12-55 %
Температура стеклования, аморфный, кристаллический	67, 81
Температура плавления, °С	250-265
Температура разложения	3500°С
Показатель преломления (линия Na): аморфный, кристаллический	1,576, 1,640
Предел прочности при растяжении, МПа	172
Модуль упругости при растяжении, МПа	1,41x104
Влагопоглощение ПЭТ	0,3%
Допустимая остаточная влага ПЭТ	0,02%
Морозостойкость, до	-500°С

Таким образом, при быстром охлаждении ПЭТ аморфен и прозрачен, при медленном он становится кристаллическим (до 50%).

«Товарный ПЭТ материал выпускается обычно в виде гранулята с размером гранул 2-4 миллиметра» [2].

На рисунке 1 представлена формула производства первичного полиэтилентерефталата.

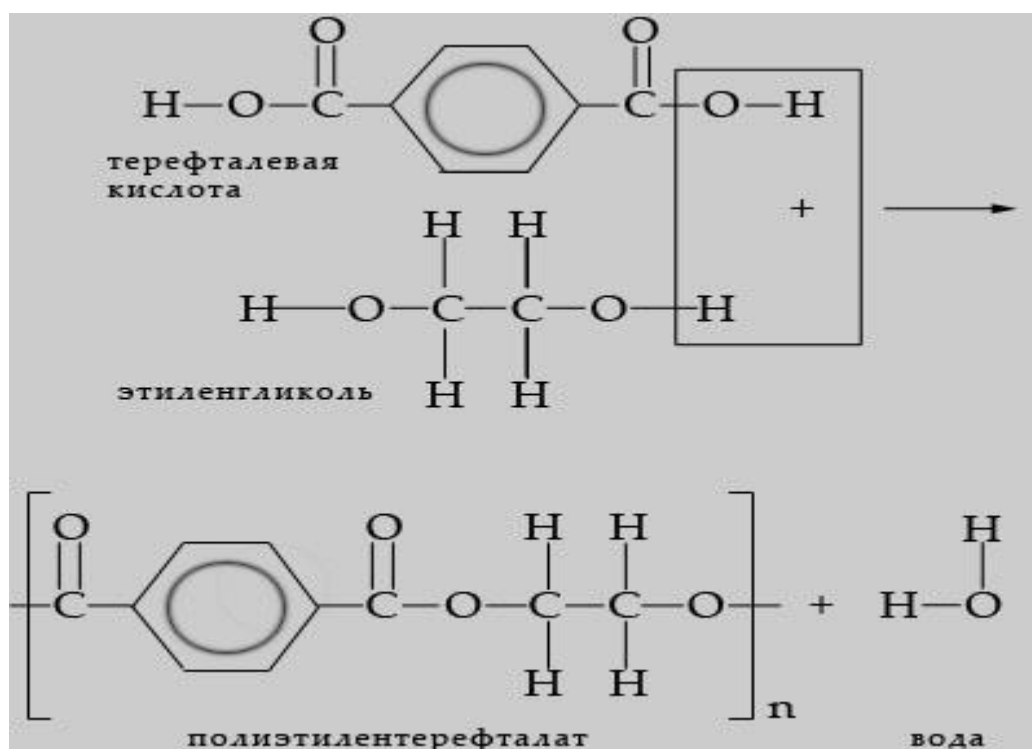


Рисунок 1 - Формула производства первичного полиэтилентерефталата

1.1.1 Методы современной переработки ПЭТ

«Выделяют несколько основных направлений переработки вторичного полиэтилентерефталата, которые условно можно разделить на три основные группы: механические, химические и термические (таблица 2)» [3].

Таблица 2- Методы переработки ПЭТ

Способ переработки ПЭТ отходов	Описание способа	Степень загрязнения поступающих отходов	Эффективность переработки от общего объема поступающих отходов, %	Возможное применение получаемого продукты	Плюсы и недостатки
Механический	Измельчение сырья с предварительной очисткой от примесей (Грануляция, экструзия)	Низкая, частично средняя	70 – 75	«Упаковка, сырье для производства волокон, используемых для изготовления напольных покрытий, искусственных тканей, пластиковых изделий для строительства и автомобилестроения»[3].	«Является самым распространенным и экономически выгодным методом переработки ПЭТ»[3].
Химический	Химическая переработка полимерных материалов, в результате которой полимерные молекулы превращаются в мономеры и олигомеры (деполимеризация, гликолиз)	Средняя, сильная	5	«Полиэфиры для клеев, покрытий, производство ПЭТ Возможность получения: масло (23,1%), воск (15,9%), кокс (12,8%), H ₂ (0,06%), этилен (1,27%), пропилен (1,6%), CO ₂ (24,3%) и CO (21,5%). Возможность использования в качестве топлива, сырья для нефтехимической промышленности» [3].	«Затраты на оборудование слишком высоки, для обеспечения рентабельности производства необходим большой товарооборот. Выделение вредных веществ при переработке» [3].

Продолжение таблицы 2

Способ переработки ПЭТ отходов	Описание способа	Степень загрязнения поступающих отходов	Эффективность переработки от общего объема поступающих отходов, %	Возможное применение получаемого продукты	Недостатки
Термический	ПЭТ отходы сжигают в специально оборудованных печах различной конфигурации (Пиролиз, термолиз)	Сильная	20 – 21	«Сжигание с целью получения тепловой энергии, пиролиз для получения газообразных и жидких топлив. Теплотворная способность 2 т. пластиковых отходов упаковки эквивалентна теплотворной способности 1 т. нефти (теплотворная способность нефти 46600 кДж/кг, ПЭТФ - 22700 кДж/кг)» [4].	«Фильтры, очищающие вредные газы, сложны в производстве и использовании и не всегда обеспечивают необходимую степень очистки» [4].

Рассмотрев подробнее все варианты обращения с отходами ПЭТ, можно выделить следующие методы.

«Захоронение полимерных отходов. Самый бесперспективный вариант, поскольку ценное полимерное сырье закапывается, а огромные территории становятся непригодными для сельскохозяйственных нужд» [4].

«Сжигание. Этот метод активно используют, в странах Европы и в США, вырабатываемую энергию используют для нужд населения. Метод экологически небезопасен и не является экономически целесообразным. Мусор сжигают в специальных печах различной конструкции, оборудованных фильтрами, улавливающими загрязненные вещества. Эти фильтры сложны в производстве и использовании и не всегда обеспечивают необходимую степень очистки. Пластмассы содержат различные стабилизирующие добавки и пигменты, в состав которых входят соли тяжелых металлов. При температуре свыше 700 °С, они переходят в газообразное состояние, и их последующее улавливание чрезвычайно затруднено. Вода, используемая для этих целей, загрязняется, это приводит к необходимости достаточно сложной очистки. Для сжигания требуются затраты, которые в настоящее время не могут быть компенсированы использованием выделяющейся тепловой энергии. Кроме того, для сжигания необходимо значительное количество кислорода» [5].

«Радиодеструкция. Метод подразумевает разрушение химических связей макромолекул полимеров с помощью нейтронов, гамма-излучения, бета-частиц, что способствует процессам фото- и термоокислительной деструкции, и образованию низкомолекулярных продуктов, которые могут быть задействованы в биоциклических процессах. В России этот метод практически не используется» [5].

«Термическое разложение – способ утилизации вторичного полимерного сырья, при котором оно «распадается» на низкомолекулярные соединения. К этому способу можно отнести: пиролиз и каталитический термолиз» [6].

«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» [5].

«Так в США при переработке пластиковой тары из ПЭТ получают мономеры – диметилтерефталат и этиленгликоль, которые в свою очередь, снова применяются для производства ПЭТ» [6].

«При химическом рециклинге, ПЭТ подвергается деполимеризации при взаимодействии с химическими веществами, такими как: метанол (метанолиз с получением мономера демитилтерефталата); этиленгликоль (гликолиз с получением мономера бисгидроэтилтерефталата); кислоты (гидролиз с получением терефталевой кислоты) или щелочи (омыление)» [6]. Этот метод химического рециклинга достаточно энергоемкий, требует высокотехнологичного оборудования и поэтому является дорогостоящим. Однако данный метод дает нам возможность использовать сырье более низкого качества, так как процессы, которые задействованы, позволяют производить дополнительную очистку.

«Химический рециклинг предполагает, проведение процесса деполимеризации отходов ПЭТ нейтральным гидролизом до терефталевой кислоты и этиленгликоля, снова идущих на синтез ПЭТ. Данный процесс является наиболее распространенным, непрерывным и безопасным для окружающей среды» [12].

«Так же распространенным способом химической переработки отходов полиэтилентерефталата является гликолиз и поликонденсация вторичного ПЭТ с добавлением ненасыщенных многоосновных кислот или их ангидридов с целью получения сравнительно недорогой насыщенной полиэфирной смолы» [6].

«Процесс деполимеризации является относительно дорогим способом переработки вторичного ПЭТ так как предполагает большие энергетические затраты или использование достаточно дорогих химических продуктов» [12].

Продукты деструкции ПЭТ широко используют повторно в синтезе ПЭТ, для получения пластификаторов, лаков, материалов для покрытий.

«К распространенным методам переработки, можно отнести грануляцию. В данном методе используют дробилки, мельницы, грануляторы. За счет механического и теплового воздействия, отходы переходят в смолоподобное состояние. Далее на выходе из гранулятора, этот расплав продавливают через калибровочные отверстия и нарезают на гранулы, которые в последствии охлаждаются. Иногда данный процесс проводят с использованием различных стабилизаторов, модификаторов, красителей и других добавок, повышающих и улучшающих качество гранулята» [14].

«Вторичный полиэтилентерефталат может быть использован в качестве добавки для улучшения физико-механических или электромеханических характеристик другого полимера» [5], [6].

«Равномерность загрузки пленочных отходов в перерабатывающее оборудование после промывки обеспечивается агломерацией. При агломерации из пленки получают окатыши (компактные зерна) произвольной формы с достаточно высокой насыпной плотностью и хорошей сыпучестью» [8].

«Агломерация менее энергоемка, более производительна, чем грануляция и поэтому позволяет снизить расходы на подготовку материала к дальнейшей переработке. Кроме того, агломерация протекает без изменения молекулярной массы материала, при этом в процессе агломерации возможно введение красителей, стабилизаторов, наполнителей. Наиболее эффективны дисковые агломераторы непрерывного действия, когда отходы ПЭТФ, измельченные до размера хлопьев 5-10 мм. Непрерывно поддаются в зону агломерации» [8].

Распространенный способ переработки измельченных отходов полиэтилентерефталата с использованием как одно - так и двухшнековых экструдеров, является – экструзия.

ПЭТ перерабатывается благодаря литью под давлением во всех типах литьевых машин, предназначенных для переработки термопластов.

Благодаря применению соэкструзии смесей из переработанного вторичного и первичного ПЭТ, деформационные свойства вторичного полимера улучшаются и данный метод делает его более пригодным для выдува.

«Так же возможен вариант, когда для литья, ПЭТ смешивают с полиэтиленом высокого давления и модификаторами до получения композиции, по свойствам близким к литьевому лавсану с температурой расплава -250-260°C. Полностью аморфная структура получается при температуре 50°C. Аморфные изделия обладают лучшей стойкостью к ударным нагрузкам, но более низкой температурой эксплуатации» [8].

«Способ переработки «бутылка-в-бутылку» (bottle-to-bottle) объединяет все методы получения продукта, который можно снова использовать для производства пищевой упаковки и бутылок для напитков. Несмотря на то, что в странах Европы рециркуляция "бутылка в бутылку" осваиваться относительно недавно (упаковка, изготовленная из вторичного сырья, в соответствии с законодательством ЕС не допускалась к контакту с продовольствием), уже в 2004 году переработка уже использованных ПЭТ-бутылок достигла 500 тысяч тонн, что дало 20%-ный рост их использования. В США данный вид переработки развивается уже в течение многих лет и еще более развит чем в Европе» [5].

Благодаря переработке по принципу «бутылка в бутылку», может применить «многослойную технологию», когда между двумя слоями первичного полимера оказывается вторичный полиэтилентерефталат. Многослойные бутылки могут содержать до 50 % вторичного ПЭТ, при этом отдельные емкости могут включать и большие количества вторичного материала. Данная технология широко используется сегодня во многих странах, например, в Швейцарии, Швеции и США.

«Методы переработки вторичного полиэтилентерефталата расширяются и совершенствуются. Интересными являются направления рециклинга ПЭТ за счет создания на его основе нанокомпозитных материалов с использованием различных нанонаполнителей (органомодифицированные алюмосиликаты, нанотрубки, фуллерены и др.) или методом переэтерификации вторичного ПЭТ ди- и триэтиленгликолем с целью получения низкоплавких сополиэфиров» [5].

«Большое внимание при переработке вторичного полиэтилентерефталата уделяется очистке и отмывке ПЭТ-отходов, поскольку это позволяет значительно повысить качество получаемых из них изделий. Поэтому технологии этих процессов постоянно совершенствуются. Наиболее простым и экономичным способом очистки принято считать отмывку отходов ПЭТ в водных и неводных средах на аппаратах непрерывного или периодического действия. Обычно, очистка ПЭТ-отходов производится в две-три ступени, затем очищенный материал измельчается и сушится до 0,5 % остаточной влажности» [6].

«Еще совсем недавно считалось, что, если в процессе очистки вторичного ПЭТ использовать больше воды, за счет этого лучше отмывается материал. Поэтому широкое распространение получили «мокрые» дробилки (материал попадает в воду уже на этапе предварительного дробления), пропитывающие шнеки (транспортируют предварительно замоченный в воде материал), многоэтапные моечные комплексы периодического действия. В итоге требуемая чистота материала достигалась беспрецедентно большим потреблением воды, а, следовательно, при этом использовалась сложнейшая системы водоочистки» [15]. «Таким образом, бывшие в употреблении пластмассовые изделия могут быть использованы вторично. Во многих странах принимаются программы по решению проблем, связанных с рециклингом ПЭТ. Так в США существует национальная программа по переработке полиэтилентерефталатной тары. В западной Европе каждая третья ПЭТ-бутылка изготовлена из вторичных материалов» [6].

1.2 Патентный поиск технологий переработки полиэтилентерефталата и производства полимерпесчаного композита

Таблица 3 – Результаты патентного анализа

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
Способ и устройство для переработки использованных ПЭТ-бутылок	Ru 2 349 451 C2	Фридлендер томас (de) Хофэрберт марен (de) Кирххоф тимм (de)	«Изобретение относится к способу и устройству для переработки использованных ПЭТ-бутылок. Способ переработки использованных ПЭТ-бутылок заключается в том, что сначала измельчают бутылки в полимерные хлопья. Затем сортируют полимерные хлопья по их толщине, по меньшей мере, на два количества. Проводят дополнительное измельчение первого количества с толстыми хлопьями и объединяют, по меньшей мере, два количества. Устройство для переработки использованных ПЭТ-бутылок содержит установку для измельчения пластиковых емкостей в полимерные хлопья, установку для сортировки полимерных хлопьев по одному критерию на два количества и установку для стерилизации части полимерных хлопьев. Кроме того, предусмотренную для обработки установку для стерилизации и/или повторного измельчения части полимерных хлопьев. С помощью способа и устройства, согласно изобретению, можно отделить труднее очищаемые полимерные хлопья резьбовой части ПЭТ-бутылки от легче очищаемых тонких полимерных хлопьев стенки бутылки и подвергнуть дальнейшей» [12].

Продолжение таблицы 3

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			обработке на собственных этапах обработки. 2 н. И 4 з.п. Ф-лы, 3 ил.
Способ и устройство повторной переработки использованной пластмассовой тары	Ru 2 335 394 C2	Фридлендер томас (de) Хофэрберт марен (de) Штраубингер ханс-юрген (de)	«Изобретение относится к способу и устройству для повторной переработки использованной пластмассовой тары, в частности бутылок из полиэтилентерефталата. Способы и устройства для повторной переработки использованной пластмассовой тары известны. При этом обычно сначала отделяют и удаляют этикетки. После этого на дальнейшей стадии используют измельчитель для размельчения тары в хлопья. Возникающую смесь промывают и очищают от имеющихся остатков клея. После этого выполняют разделение на различные виды пластмассы, например, полиэтилентерефталат и полиэтилен. После этого на стадии удаления загрязнений очищают так, что их можно снова использовать для изготовления новой пластмассовой тары» [20].
Способ переработки отходов полиэтилентерефталата	RU 2754972 C1	Сапунов В.Н. Воронов М.С Джабаров Г.В Макарова Е.М Сучков Ю.П Шадрина В.В Орел П.А Курнешова Т.А Коровина Н.С	Полиэтилентерефталат (ПЭТ) является одним из наиболее широко распространенных видов пластика и благодаря своим свойствам практически не поддается биологическому разложению в окружающей среде. В то же время отработанные изделия из ПЭТ являются

Продолжение таблицы 3

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			потенциальным сырьем для получения этиленгликоля, терефталатов щелочных металлов и терефталевой кислоты. Так этиленгликоль является основным компонентом антифризов и может, также, повторно использован для получения ПЭТ. Терефталаты лития, натрия и калия находят применение при производстве высокоэффективных литий-ионных аккумуляторов. Наиболее близким к заявленному изобретению является способ переработки ПЭТ путем его омыления сильным неорганическим основанием (гидроксидом натрия) в среде органического растворителя при атмосферном давлении и температуре кипения реакционной смеси. Процесс осуществляют в течение 5-20 мин. В качестве растворителя используют спирты различного строения (октанол, этиленгликоль, пентанол-1, бутанол-1, пропанол-1, этанол, метанол) или их смеси. Образующуюся при омылении натриевую соль терефталевой кислоты отфильтровывают, промывают этанолом для удаления из осадка остатков растворителя. После этого полученную

Продолжение таблицы 3

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			соль растворяют в дистиллированной воде. Из полученного раствора фильтрованием удаляют нерастворившиеся твердые примеси и непрореагировавший ПЭТ, а оставшийся водный раствор терефталата натрия раскисляют избытком соляной кислоты. В зависимости от условий проведения процесса конверсия ПЭТ составила 75-100%, а выход терефталевой кислоты 95-96% (US 7893122) Недостатком данного способа является использование относительно дорогих растворителей - спиртов и омыляющих агентов. Технической задачей изобретения является снижение затрат на переработку ПЭТ.

Патентные исследования показывают, что механический способ наиболее выгоден, так как отходы возвращаются во вторичный товарооборот.

1.2.1 Патентный поиск по технологии производства полимерпесчаного композита

Строительный рынок стремительно развивается. Крупные компании всегда находятся в поиске качественных, а главное — не затратных материалов. Фирмы ищут альтернативу стандартному бетону и популярному пластику. Спросом пользуется такой материал, на изготовление которого не требуется много денежных ресурсов, временных затрат и дорогостоящего

редкого оборудования. Поэтому изготовление полимерпесчаных изделий стало прорывом и востребованной новинкой в строительной сфере.

«Эта деятельность интересна не только для предпринимателей, но и для населения в целом, ведь данное решение позволяет решить сразу несколько проблем. Во-первых, сокращается объем вывозимых на полигон полимеров, это значительно снижает нагрузку на окружающую среду. Во-вторых, полученная полимерпесчаная продукция составляет достойную конкуренцию традиционным строительным материалам по качеству и по цене» [17].

Рассмотрим имеющуюся технологию изготовления полимерпесчаных изделий. Существует технологическая линия для обработки пластмассовых отходов, описанная в п. Германии 19500174 «Устройство для агломерирования пластмассовых отходов».

Данная линия служит для обработки отходов, которые состоят из различных видов пластмасс, однако возможность этой линии, получить только полуфабрикат в виде агломерата, а не готовое изделие. Кроме того, на данной линии возможна только переработка полиэтилена.

Целью заявляемой технологической линии является расширение ее функциональных возможностей.

«Поставленная цель достигается за счет того, что в технологическую линию для производства полимерных строительных материалов, включено последовательно размещенное по ходу технологического процесса и технологически связанное между собой оборудование, такое как: дозатор, загрузочное устройство, измельчитель пластиковых отходов, регенератор, измельчитель регенерированных пластиков, а также сушильное устройство, устройство выгрузки и приводные устройства, обеспечивающие работоспособность всех узлов»[22]. Согласно изобретению, дополнительно введены последовательно установленные после измельчителя регенерированных пластиков и технологически связанные между собой смеситель, реактор, второй дозатор и формующее устройство, при этом регенератор выполнен в виде двухзонного по температуре шнекового

экструдера, снабженного нагревательными элементами и размещенного в двухсекционном цилиндрическом горизонтальном корпусе. «Диаметр первой секции которого больше диаметра второй секции, имеются второе загрузочное устройство и третий дозатор для подачи других компонентов в смеситель, связанный входной подающей линией с измельчителем регенерированных пластиков, а выходной подающей линией - с горизонтальным реактором, имеющим три последовательно расположенные разнотемпературные зоны, снабженные нагревательными элементами и установленным с возможностью вращения общим валом с асимметрично расположенными лопастями, устройство выгрузки расположено после регенератора, формующее устройство выполнено в виде разъемной пресс-формы, а после него расположено сушильное устройство, представляющее собой стол для формованных изделий» [17], [18].

«Введение в технологическую линию цепочки из последовательно установленных по ходу технологического процесса смесителя, реактора с дозатором на выходе и формующего устройства в виде разъемной пресс-формы позволяет смешивать регенерированные пластики с другими компонентами, получать из смеси в реакторе однородную формовочную массу и изготавливать из нее готовые изделия; при этом выполнение регенератора двухзонным по температуре в виде шнекового экструдера в двухсекционном по диаметру цилиндрическом корпусе дает возможность расплавить как «мягкие», так и «жесткие» пластики и получить качественный регенерат, а использование трехзонного по температуре реактора с нагревательными элементами и установленным с возможностью вращения общим валом с асимметрично расположенными лопастями обеспечивает перемещение массы в реакторе по разным зонам с различной скоростью и получение качественной формовочной смеси из регенерированных пластиков и других компонентов, в частности, песка для изготовления строительных материалов, обеспечивая таким образом более широкие функциональные возможности технологической линии» [17],[18].

«Заявляемая технологическая линия обладает новизной, отличаясь от него такими существенными признаками, как наличие смесителя, выполнение регенератора в виде шнекового экструдера из двух разнотемпературных секций, снабженных нагревательными элементами и имеющих разный диаметр, а также наличие горизонтального трехзонного по температуре реактора с нагревательными элементами для каждой зоны и общим валом с асимметрично расположенными лопастями, установленным с возможностью вращения, и формующего устройства в виде разъемной пресс-формы с размещенным за ним сушильным столом, обеспечивающими в совокупности достижение заданного результата» [18].

«Хотя отдельные отличительные признаки (дополнительные загрузочные устройства, дозаторы, измельчитель, шнековый экструдер) сами по себе известны, однако их совместное использование в совокупности с наличием в линии двухзонного по температуре горизонтального регенератора в виде шнекового экструдера из двух секций разного диаметра и горизонтального трехзонного по температуре реактора с нагревательными элементами для каждой зоны и общим валом с асимметрично расположенными лопастями, установленным с возможностью вращения, является новым и дает не известный из литературы результат, поэтому заявитель считает, что заявляемое техническое решение соответствует критерию «изобретательский уровень» [19].

«Данная технологическая линия может найти широкое применение в строительной индустрии, для производства строительных материалов, таких как полимерпесчаная черепица и плитка, поэтому соответствует критерию «промышленная применимость» [7].

«Ещё существует линия для производства полимерной черепицы, она является технологической линией непрерывного типа, которая реализует следующие процессы:

- смешение сыпучих компонентов (подготовка сырья);
- смешение и расплав при высокой температуре (рабочая смесь);

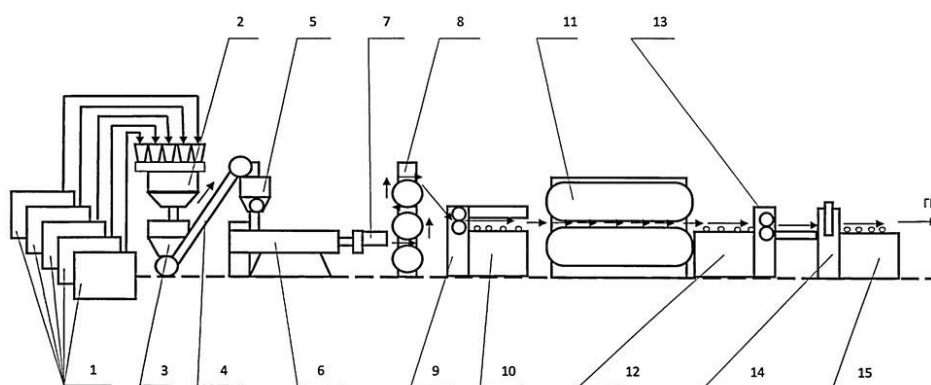
- формирование плоского листа (предварительное);
- калибрование плоского листа (рабочая заготовка);
- дополнительный нагрев рабочей заготовки;
- формование изделия;
- обрезка по размерам и складирование конечного готового изделия»

[20].

«Для смешения сыпучих компонентов используется система дозирования и смешения, включающая в себя смеситель 2 непрерывного действия, оснащенный автоматической системой дозирования сыпучих компонентов сырья. Из бункеров (1) для приема и хранения сыпучего сырья с помощью гибких транспортеров сыпучие компоненты подаются в смеситель (2). откуда после смешения компонентов смесь поступает в приемный бункер сыпучих перемешанных смесей (3) системы дозирования и смешения. Весь процесс подачи, дозирования и смешения полностью автоматизирован и непрерывен» [8]. «Производительность узла дозирования и смешения до 600 кг/час» [20].

Существует ещё одна линия для производства кровельно-строительного материала и состав для изготовления кровельного листа. Данное изобретение можно отнести к производству строительных изделий, которые состоят из сыпучих материалов и полимерных отходов. Это изобретение может использовать для получения плитки, черепичных, кровельных материалов, химически стойких покрытий полов и других строительно-отделочных материалов [4].

На рисунке 2 представлена схема конструкции технологической линии.



1 - «бункер для исходного сырья, 2 – смеситель, 3 - приемный бункер сыпучих смесей, 4- автоматический загрузчик, 5- приемный бункер, 6 - экструзионная машина с функцией дозатора, 7- щелевая головка 8 - трехвалковый каландер, 9- первое тянущее устройство, 10 - стол дополнительного разогрева 11 - формовочная машина, 12 - приемный стол 13 - второе тянущее устройство, 14 - автоматический (гидравлический) нож, 15 - приемный стол готовой продукции».

Рисунок 2. Конструкция технологической линии

Технический результат заключается в повышении технологичности, упрощении и эффективности линии для возможности использования различного по природе происхождения наполнителя [5].

«Линия для производства кровельно-строительного материала содержит накопительные бункеры для исходного раздробленного сырья и для красителей и добавок, поступающих в заданной пропорции по транспортеру в аппарат смешивания. Каждый накопительный бункер выполнен с дозатором, выполненным с функцией выдачи весовой порции исходного сырья в общую для всех накопительных бункеров камеру смешения, выполненную в виде вращающегося барабана с ребрами на внутренней поверхности стенки и лопастями на оси и имеющую окно выдачи перемешанной смеси на транспортер перемещения перемешанной смеси в устройство нагревания смеси до получения тягучей расплавленной полимеросодержащей массы, по

транспортеру направляемой на вальцы для формования в листовой форме полотна, подаваемого по ленточному транспортеру к устройству прессования для формования в листовой форме готового изделия и укладки его на пост приема готовой продукции [17].

Анализ рассмотренных патентов представлен в таблице 4.

Таблица 4 - Данные о патентах по технологии производства полимерпесчаных изделий

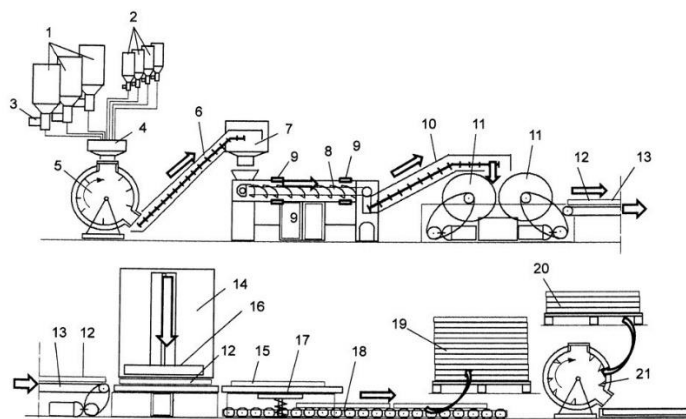
№ Патента и название	Сущность разработки	Недостатки разработки
19500174 "Устройство для агломерирования пластмассовых отходов"	«Известная технологическая линия содержит размещенные по ходу технологического процесса дозатор, загрузочное устройство, измельчающий ротор в цилиндрическом корпусе для измельчения пластиковых отходов, агломератор пластмассовых отходов, форсунку для впрыскивания в него воды для отверждения агломерата, сушильный агрегат, измельчитель для агломерата, разгрузочное устройство. Известная линия служит для обработки отходов, состоящих из различных видов пластмасс, однако она дает возможность получить только полуфабрикат в виде агломерата, а не готовое изделие» [7].	Она дает возможность получить только полуфабрикат в виде агломерата, а не готовое изделие. Кроме того, она предназначена для переработки только пластиков..
2 483 873 Технологическая линия по производству полимерной кровельной черепицы	«Известна технологическая линия по производству полимерных строительных материалов, включающая размещенные последовательно по ходу технологического процесса и технологически связанные между собой дозатор, загрузочное устройство, измельчитель пластиковых отходов, регенератор, измельчитель регенерированных пластиков, а также сушильное устройство, устройство выгрузки и приводные устройства, обеспечивающие работоспособность всех узлов линии. При этом в нее дополнительно введены последовательно установленные после измельчителя регенерированных пластиков и технологически связанные между собой смеситель, реактор, второй дозатор и формующее устройство, при этом	Данная линия имеет существенный недостаток, заключающийся в сложности ее технологического процесса, требующего его прерывания. Кроме того, состав, используемый для черепицы, требует четкого контроля разных по величине температур на разных этапах прохождения по линии, что существенно влияет

Продолжение таблицы 4

№ Патента и название	Сущность разработки	Недостатки разработки
	регенератор выполнен в виде двухзонного по температуре шнекового экструдера, снабженного нагревательными элементами и размещенного в двухсекционном цилиндрическом горизонтальном корпусе, диаметр первой секции которого больше диаметра второй секции, имеются второе загрузочное устройство и компонентов в смеситель, связанный входной подающей линией с измельчителем регенерированных пластиков, а выходной подающей линией - с горизонтальным реактором, имеющим три последовательно расположенные разнотемпературные зоны, снабженные нагревательными элементами и установленным с возможностью вращения общим валом с ассиметрично расположенными лопастями, при этом устройство выгрузки расположено после регенератора, формующее устройство выполнено в виде разъемной пресс-формы, а после него расположено сушильное устройство, представляющее собой стол для формованных изделий» [8]	на качество готовой продукции.
2 496 637 «Линия для производства кровельно-строительного материала и состав для изготовления кровельного листа»	«Линия содержит накопительные бункеры для исходного раздробленного сырья, состоящего из отходов полиэтилена и наполнителя, поступающих по транспортеру в аппарат смешивания, из которого перемешанная смесь по транспортеру поступает в устройство нагревания смеси до получения расплавленной полимерсодержащей массы, перемещаемой к устройству прессования для формования в готовое изделие» [9].	Отсутствие дозаторов и датчиков температуры

Патентный поиск показывает, что технологии производства полимерпесчаных изделий требуют доработок и усовершенствований.

На рисунке 3 представлена схема линии для производства кровельно-строительного материала [9].



1-три основных бункера для разных видов главных компонентов исходного сырья, 2 - четыре вспомогательных бункера под красители и добавки, 3 дозатор, 4-общая камера, 5-приемная часть камеры аппарата, 6 – транспортер, 7- накопительный резервуар смешанных компонентов, 8 - устройство нагревания смеси, 9 нагревательные электрические тэны, 10 - транспортер ленточный или овальный, 11 - «Вальцы, 12-резинотехнические вальцы (6шт.), 13 - транспортер (ленточного и саласочного типа), 14. устройство прессования для формования в листовой форме готового изделия, 15 - готовое изделие, 16 - устройство прессования в виде гидравлического пресса с пресс-формами, 17-укладчик готовой продукции, 18 - роликовый конвейер» [23], 19 - паллеты с пригодным изделием, 20 - отбракованные изделия, 21 - дробилка.

Рисунок 3 - Схема линии для производства кровельно-строительного материала

1.2.2 Патентный поиск по составу полимерпесчаного композита

Важную составляющую имеет состав полимерпесчаного композита, для этого нам нужно рассмотреть уже существующие рецептуры.

«Известен способ изготовления строительных изделий, который заключается в смешении термопластичного связующего с минеральным наполнителем, нагретым выше температуры плавления связующего, формовании, прессовании изделий при давлении 0,1-10 МПа и их охлаждении, при этом в качестве связующего используют волокнистые или тонкослойные отходы термопластичных полимерных материалов, в том числе в нерегенерированном и неуплотненном состоянии» [23].

Примеры из патента получения полимерпесчаного композита представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Примеры состава полимерпесчаного композита из анализируемого патента

Состав	Ингредиенты
Первый	Обрывки пленки из полиэтилена высокого давления; нагретый до 250°C в количестве 6 мас.ч. отходов на 100 мас.ч керамзит.
Второй	«Полиэтиленовые мешки, в которые были ранее затарены первичные полимеры; нагретый до 225°C гравий фракции 12 - 16 мм в количестве 5 мас.ч полиэтиленовых пленочных отходов на 100 мас.ч гравия» [17].
Третий	«Бытовые полиэтиленовые пленочные отходы; нагретый до 320°C керамзитовый песок в количестве 25 мас.ч полиэтиленовых плёночных отходов на 100 мас.ч, керамзитового песка» [17].
Четвертый	«Снятая с теплиц после годичной эксплуатации полиэтиленовая пленка; содержащая в среднем примерно 20 мас.% пыли, песка и влаги; нагретый до 400°C кварцевый песок в количестве 50 мас.ч полиэтиленовых пленочных отходов на 100 мас.ч песка» [24].

«Недостатком этого способа является невысокое качество изготовленных по нему изделий из-за плохого диспергирования наполнителя в среде связующего, повышенная хрупкость получаемой продукции при низких температурах, а также их горючесть» [10].

«Известен ещё один способ изготовления строительных материалов, им является способ изобретения черепицы. Этот способ, также основанный на смешении термопластичного связующего с минеральным наполнителем, включает фракционирование наполнителя, например песка с отбором фракции с размером частиц до 3 мм и нагрев его до 250-450°C в течение 15-30 минут, фракционирование отходов полиолефинов с отбором фракций с размером частиц до 10 мм, смешение введением в песок отходов полиолефинов и служебных веществ при следующем содержании компонентов в смеси, мас. %: Песок - 70 - 79,9 Отходы полиолефинов - 20 - 30 Служебные вещества - 0,10 - 10,0 и дальнейшее формование смеси при температуре 130-200°C и давлении 20 - 60 кг/см² с последующим охлаждением в течение 3 - 18 ч» [25].

«Недостатком данного способа, является недостаточная устойчивость к динамическим нагрузкам получаемой продукции, в особенности

проявляющаяся при низких температурах (ниже 0°C) в виде хрупкости, а также горючесть этой продукции» [10]. «Существует ещё одно изобретение, направленное на получение более высоких эксплуатационных характеристик создаваемых строительных материалов и изделий, в особенности при низких температурах, с одновременным обеспечением качества и существенным понижением горючести материала путем обеспечения самозатухания при горении в случае пожаров» [10].

«Сущность изобретения заключается в том, что термопластичное связующее, в качестве которого используют измельченные отходы полимерных материалов (полиолефинов), смешивают с минеральным наполнителем, нагретым выше температуры плавления связующего, причем перед смешением производят фракционирование наполнителя с целью отбора фракций с размером частиц до 3 мм и фракционирование отходов полиолефинов с отбором фракций с размером частиц до 10 мм» [11]. «Смешение указанных компонентов осуществляют с одновременным использованием служебных веществ, которые вводят в нагретый наполнитель вместе со связующим. Полученную таким образом полимерную композицию подвергают далее формованию под давлением и охлаждению. Новым в предлагаемом способе является то, что смешивают 70-80 мас.% минерального наполнителя с 20-30 мас.% связующего, а в качестве служебного вещества используют полифункциональную добавку, представляющую собой комплекс меламина и хлорпарафина, взятых в эквимольном соотношении, в количестве 10-30 мас.% на полимерное связующее, причем подачу связующего в нагретый наполнитель осуществляют порционно, в несколько этапов, а введение полифункциональной добавки производят на заключительном этапе приготовления композиции при температуре не выше 400°C» [11].

Для удобства анализа разработок, данные представлены в таблице № 6.

Таблица 6 - Данные патентов по составу полимерпесчаного композита

№ Патента и название	Суть разработки	Недостатки разработки
SU1719345A1 «Способ изготовления строительных изделий»	«Изготовления строительных изделий путем смешения термопластичного связующего с нагретым выше температуры плавления связующего минеральным наполнителем, формования, прессования и охлаждения, отличающийся тем, что, с целью утилизации отходов и расширения сырьевой базы» [13], в качестве термопластичного связующего используют волокнистые или тонкослойные отходы термопластичных полимерных материалов в нерегенерированном и неуплотненном состоянии, а прессование изделий осуществляют при давлении 0,1 - 10 МПа.	«Невысокое качество изготовленных по нему изделий из-за плохого диспергирования наполнителя в среде связующего, повышенная хрупкость получаемой продукции при низких температурах, а также их горючесть» [13].
RU2127232C1 «Способ получения черепицы и черепица коньковая»	«Предлагаемый способ получения черепицы включает в себя предварительное измельчение и фракционирование компонентов с целью отбора их фракций с размером частиц для песка 3 мм и для полиолефинов - до 10 мм, нагрев песка до 250 - 450°C, введение в него при интенсивном перемешивании при 200 - 220°C в течение 15 - 30 мин остальных компонентов, формование изделий при 130 - 200°C и давлении 20 - 60 кг/см ² в течение 10 - 20 с с последующим охлаждением изделий до полного остывания в течение 3 - 18 ч» [18].	«Недостаточная устойчивость к динамическим нагрузкам получаемой продукции, в особенности проявляющаяся при низких температурах (ниже 0°C) в виде хрупкости, а также горючесть этой продукции» [13].
RU 2 165 904 C1 «Способ изготовления строительных материалов и изделий»	«Смешивают 70-80 мас.% минерального наполнителя с 20-30 мас.% связующего, а в качестве служебного вещества используют полифункциональную добавку, представляющую собой комплекс меламина и хлорпарафина, взятых в эквимолярном соотношении, в количестве 10-30 мас.% на полимерное связующее, причем подачу связующего в нагретый наполнитель осуществляют порционно, в несколько этапов, а введение полифункциональной добавки производят на заключительном этапе приготовления композиции при температуре не выше 400°C» [19].	Не обнаружено

«Технический результат достигается совместным использованием в комплексе меламина (МА) и хлорпарафина (ХП), взаимодействие которых обеспечивает ингибирующее действие процессов деструкции основной массы полимерного связующего при повышенных температурах, что имеет принципиальное значение для повышения механических свойств, долговечности и озоно-влагостойкости изготавливаемых материалов и изделий» [12]. «Температурная область действия полифункциональной добавки лежит в пределах от 230°C до 520°C, в то время, как для индивидуальных продуктов эти области более узкие: для хлорпарафина от 203°C до 300°C, для меламина от 255°C до 360°C, при этом интенсивность разложения полифункциональной добавки зависит от соотношения меламина и хлорпарафина и максимальна при их эквимолярном соотношении» [12].

Глава 2 Утилизация осадка переработки ПЭТ

2.1 Технологический процесс переработки ПЭТ на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

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

Этапы переработки ПЭТ:

- Отделение этикетки и сильных загрязнений на входе сырья в линию.

ПЭТ –бутылка с помощью подающего транспортера №1 попадает в этикеткоотделитель (рисунок 4), где отмывается грязь и отделяется этикетка от бутылки [21].



Рисунок 4 - Моющий этикеткоотделитель

- Первоначальное измельчение до фракции 24 мм. При помощи подающего транспортера №2 ПЭТ-бутылка попадает в дробилку №1 (рисунок 5). Транспортер №2 оснащен магнитным сепаратором (рисунок 6), исключающий попадание металлических предметов в дробилку и выхода из строя статорных и роторных ножей [22]. Металлические включения под

воздействием магнитного поля притягиваются к сепаратору, сепаратор при движении под определенным углом отключает магнитное поле и металлические включения сепарируются в бункер с металлом [23].



Рисунок 5 - Загрузочная площадка



Рисунок 6 – Подающий конвейер с магнитным сепаратором

- Очистка измельченной массы от тяжелых примесей. «Загрязнение делится на три основные категории: физическое загрязнение

(макроскопический уровень), физическое загрязнение (микроскопический уровень) и химическое загрязнение» [24]. «Макроскопическое физическое загрязнение партии ПЭТ включает легко удаляемую грязь: осколки стекла, камни, песок, почву, бумагу, клеи и другие пластики. 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. При помощи шнека №1 материал попадает в горизонтальную мойку №1. Значительное количество грязи и песка очищается в горизонтальной мойке №1, в которую подается вода. В процессе трения происходит отделение тяжелой фракции от основной массы измельченного материала. Через нижнюю часть горизонтальной мойки №1, снабженной фильтрующими элементами, вода сливается в автономный коллектор остатков грязи после промывки [25].

- Флотационное отделение ПСС от ПЭТФ-флексы. За счет различной плотности смешанного дробленного пластика ПЭТФ-флекс(полиэтилентерефталат) и ПСС (полиэтилен низкого давления) в воде идет разделения. Полиэтилентерефталат имеет плотность больше единицы, поэтому он тонет в воде и транспортируется шнеками в нижней части ванны в следующий узел для обработки. Полиэтилен низкого давления имеет плотность меньше единицы, за счет этого он всплывает и остается на поверхности воды. ПСС специальным совком транспортируется в отдельный биг-бэг с целью дальнейшей переработки [26].

- Термическая отмывка от сильных загрязнений и отделение клея. При помощи шнека №2, промытая дробленая масса попадает в горячие мойки (рисунок 7) с 3%-ым щелочным раствором и температурой 90-95 °С, где происходит полное обеззараживание дробленной массы и отделение остатков клея и этикетки от ПЭТ-флексы. Щелочная среда строго контролируется в течение смены, ПЭТ темный 9-10 рН, ПЭТ светлый 10-12 рН [26].

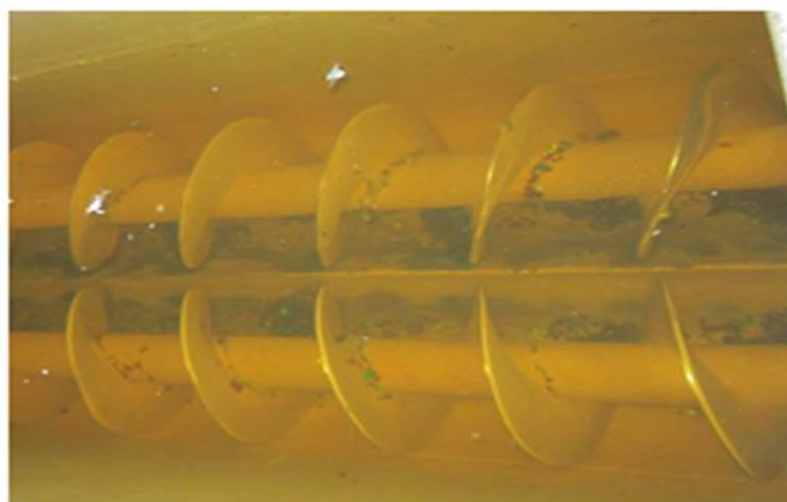


Рисунок 7 –Горячая мойка

- Промывка от щелочи. После прохождения термохимической обработки ПЭТ, материал попадает горизонтальную мойку №2 и флотационную ванну №2 (рисунок 8,9). 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 [27].



Рисунок 8- Горизонтальная мойка №2 и Флотационная ванна №2



Вода во флотационной ванне чистая

Рисунок 9 – Двухшнековая флотационная ванна

- Измельчение до фракции 12 мм. Окончательное измельчение ПЭТ до фракции 12 мм происходит в дробилке №2 [27].
- Удаление влаги и мелких частиц фракции от 0 до 2мм. 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 и отделение мелких частиц фракцией от 0 до 2мм. [28].

- Сушка сырья. Из центрифуги по пневмотранспорту ПЭТФ-флекса попадает в циклон-сушилку (рисунок 10). В завихрениях горячего воздуха при температуре 110-120°C, происходит окончательная сушка [29].

- Отделение ПВХ этикетки. Материал с помощью пневмотранспорта попадает в сепаратор, где с помощью вихревого потока «тяжелая» флекса отделяется от «легкой» ПВХ этикетки. Легкие ПВХ этикетки попадают в специальные «чулки» за счет воздуха, а тяжелая ПЭТФ-флекса падает вниз устройства и с помощью пневмотранспорта транспортируется в накопительный бункер. Готовая ПЭТФ-флекса упаковывается в биг-бэг[30].



Показания температуры

Рисунок 10 – Сушилка

В процессе переработки полиэтилентерефталата образуется отход – влажный осадок (шлам) в количестве 180тн/год. Процесс образования отхода – шлама, представлен на рисунке 11 [31].

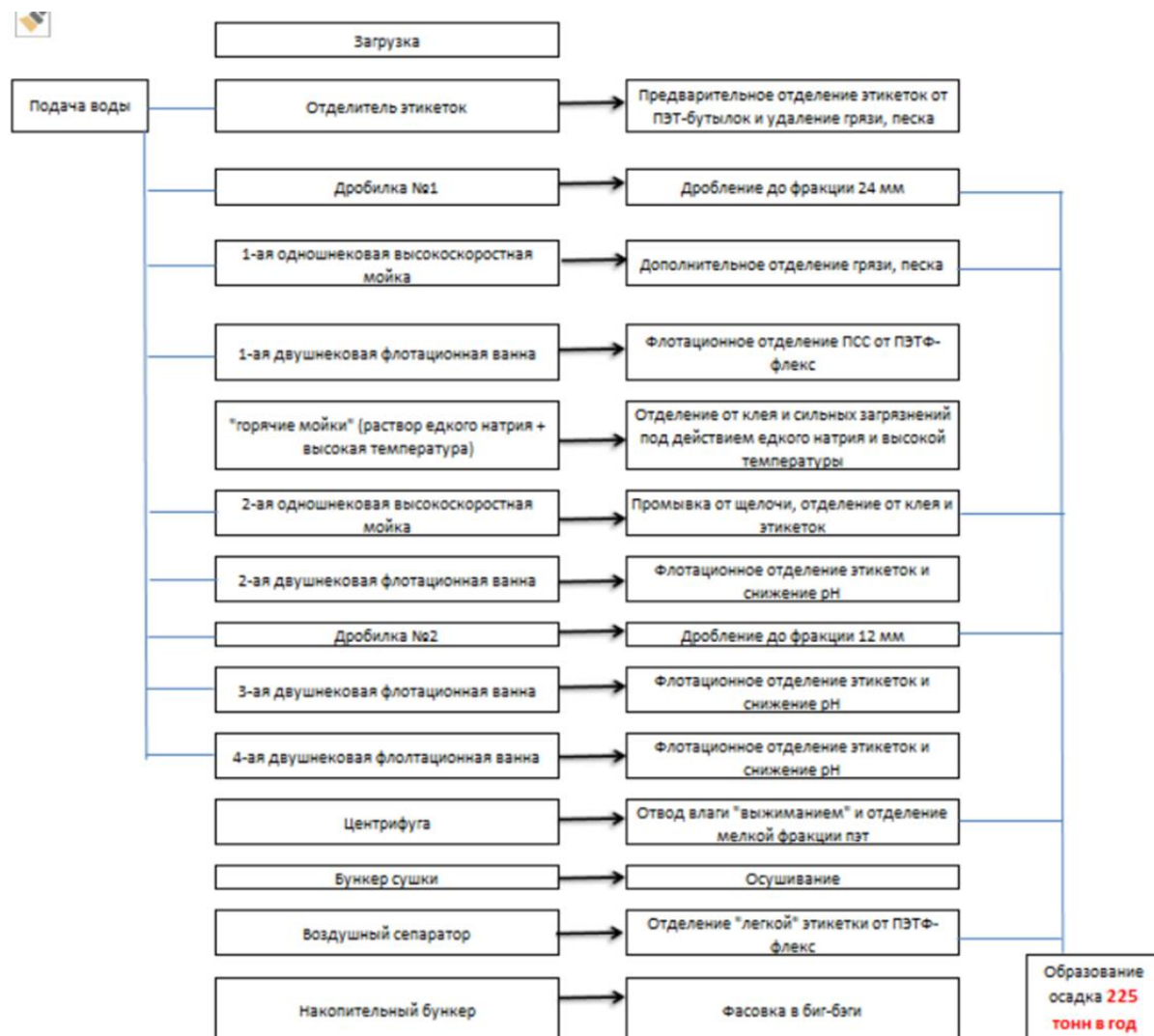


Рисунок 11- Технологическая схема переработки ПЭТ

В таблице 7 представлены сведения о балансе масс при переработке ПЭТ.

Таблица 7 - Сведения о балансе масс при переработке ПЭТ на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

Приход	Масса тн/г	Содержание %
Вход ПЭТ бутылки	1500	100
ПСС (пробкосодержащая смесь)	255	17
Осадок (засор) сухой	150	10
Флекс (чистый продукт)	1095	73

Схема техпроцесса изготовления Флекс представлена на рисунке 12.

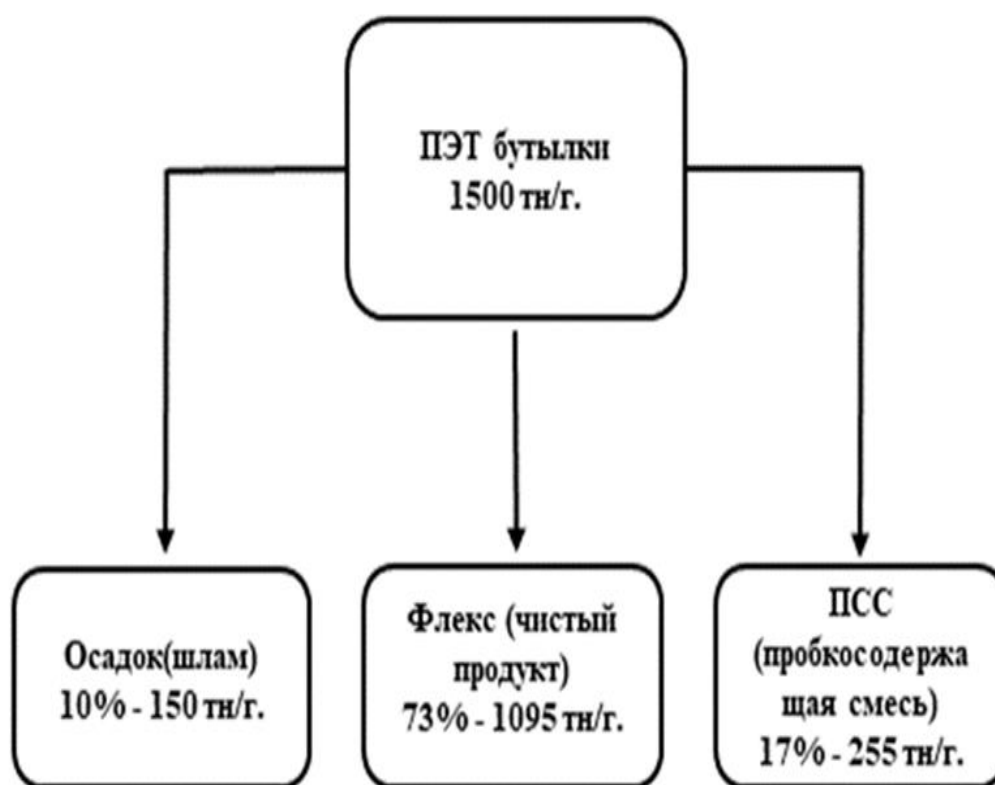


Рисунок 12 - Техпроцесс изготовления ПЭТФ-флекс

Согласно таблице № 7 вход ПЭТ- бутылки 1500 тн/г. из них по сухому веществу: ПСС (пробкосодержащая смесь) отделяется в флотационных ваннах 17% - в количестве 255тн/г., осадок (шлам) остается на дне флотационных ванн 10% - это 150 тн/г. На выходе ПЭТФ-флекс – это чистый продукт, количество его составляет 73% - это 1095 тн/г.

На рисунке 13 представлена «Блок-схема линии переработки ПЭТ на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».



Рисунок 13 - Блок-схема линия переработки ПЭТ ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

2.2 Утилизация осадка переработки ПЭТ на базе ООО«ЭкоРесурсПоволжье»

При переработке ПЭТ – бутылок, на дне переливных накопительных емкостей остается осадок, для того что бы понять количество и состав этого осадка рассмотрим результат лабораторных испытаний до фильтрации и после фильтрации.

Лабораторные испытания «Осадок механической очистки сточных вод мойки, продуктов дробления отходов тары из полиэтилентерефталата, приведены в таблицах 9,10.

Средства измерений и методика анализа проб представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Средства измерений и методика анализа проб

Определяемый показатель	Наименование СИ	Заводской номер	Дата последней поверки	Методика анализа	Диапазон измерений
Бумага	Весы электронные МТ6 В1ЖА-8.101	236787	14.04.2020	ПНД Ф 16.3.55-08	(0,025-100)%
Полимерные материалы					
Песок, грунт					
Влажность	Весы METTLER AE 100	38699	30.09.2020	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.27-02	(0,01-99,80)%

Таблица 9 - Результаты лабораторных испытаний до фильтрации осадка.

№ пробы	Наименование компонента (показателя)	Результат измерения % масс.	Содержание веществ, млн ⁻¹	Абсолютная погрешность измерения, ±млн ⁻¹
31-О	Бумага	1,13	11300,00	3390,00
	Полимерные материалы	33,70	33700,00	101100,00
	Песок, грунт	15,27	152700,00	45810,00
	Влажность	49,90	499000,00	89820,00

Таблица 10 - Результаты лабораторных испытаний после фильтрации осадка

№ пробы	Наименование компонента (показателя)	Результат измерения % масс.	Содержание веществ, млн ⁻¹	Абсолютная погрешность измерения, ±млн ⁻¹
31-О-1	Бумага	1,79	17900,00	5370,00
	Полимерные материалы	53,49	534900,00	160470,00
	Песок, грунт	24,24	242400,00	72720,00
	Влажность	20,48	204800,00	36864,00

Проведя испытания, мы видим в таблице 10 количество и состав отхода. Фильтрация позволяет снизить % содержания влаги до параметров, необходимых для использования осадка в производстве агломерата, который является сырьем в производстве полимерпесчаных смесей.

Затраты на захоронения отходов на полигоне приведены в таблице 10.

Таблица 11 - Затраты на захоронение отходов на полигоне

Наименование затрат	Стоимость
затраты на захоронение, руб.	157500,00 руб.
затраты на плату за НВОС	161157,60 руб.
затраты на транспортирование осадка на полигон, руб.	225000,00 руб.
Итого:	543657,60

Таким образом, если мы будем использовать полученный отход в производстве полимерпесчаных изделий, то мы получим экономию для предприятия и самое немаловажное мы снизим негативное воздействие на окружающую среду.

Целью моей бакалаврской работы является «Утилизация осадка переработки ПЭТ», рассмотрим это на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

К внедрению в технологический процесс подготовки осадка от переработки полиэтилентерефталата предлагается Вибросито С-ВЭ-600 для очистки воды (рисунок 14).

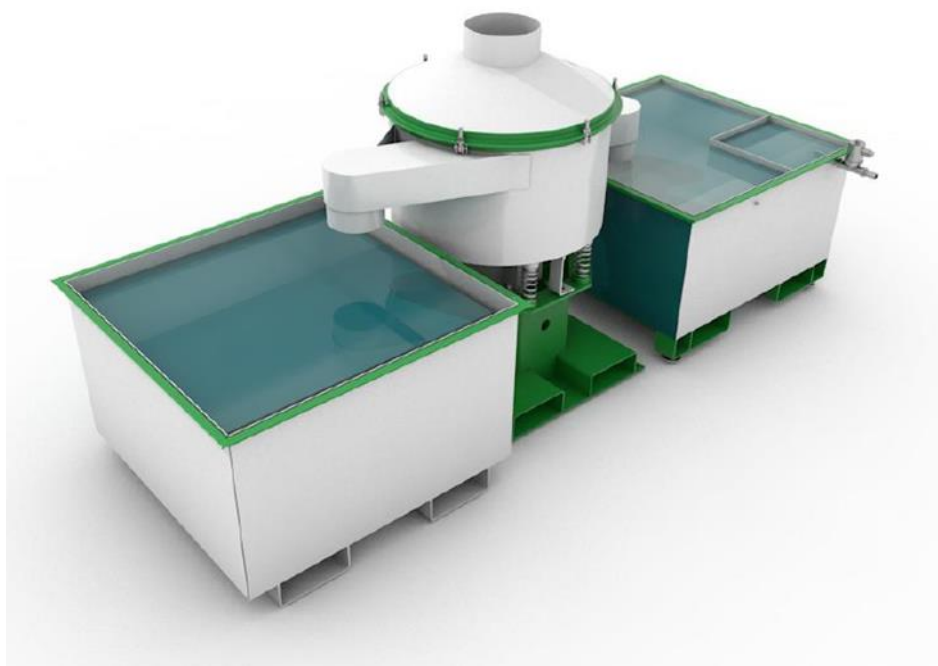


Рисунок 14 - Вибросито С-ВЭ-600

Система постоянной фильтрации воды позволяет отделять очень мелкие частицы и выводить их из системы.

Рассмотрим процесс работы Вибросита С-ВЭ-600 представленного на рисунке 14. «Изначально вода очищается от крупных загрязнений с положительной и отрицательной плавучестью при помощи вибросита. Далее благодаря Вибросита С-ВЭ-600 с отсеком гравитационной очистки, под действием гравитации, на дно ванны осаждаются мелкодисперсные остатки (загрязнители), а чистая вода переливается в другой отсек. Затем вода просачивается снизу-вверх через слой крупнозернистого абсорбента (керамзита), это происходит в процессе механической фильтрации. В соседнем резервуаре процесс повторяется, но вода просачивается сверху – вниз. Далее вода уже очищена и ее можно повторно использовать в технологических линиях переработки ПП, ПВД, ПНД, ПЭТ и т.д.» [32].

Технические характеристики данного вибросита представлены в таблице 12.

Таблица 12 - Технические характеристики Вибросита С-ВЭ-600

Характеристика	Ед./изм.	Значение
Мощность	кВт	0,53
Производительность, до	лит./час	50
Частота колебаний	-	1500
Габаритные размеры	мм.	4200х3345х2800
Масса	кг.	235
Цена	руб.	200 000

На преддипломной практике был произведен эксперимент по добавлению отхода после фильтрации в агломерат (рисунок 15, 16).



Рисунок 15 – Экспериментальное фильтрование воды в технологическом цикле



Рисунок 16 – Полученный полимерный материал после фильтрации

«Отход состоит из полимеров (мелкая фракция ПЭТФ и мелкая фракция пробкосодержащей смеси). Данный полимер был добавлен как сырье в количестве 10% к грязному сырью (пленка линейная) в производстве агломерата» [33].

Полученный продукт (рисунок 16) был отправлен на предприятие по производству полимерпесчаных изделий и прошел входной контроль качества.

2.3 Выбор оборудования для производства полимерпесчаных изделий

Изготовление полимерпесчаных изделий представляет собой молодую и перспективную промышленную отрасль на российском и мировом рынках.

Достоинства полимерпесчаной продукции:

- экологичность;
- устойчивость к физическому, химическому и тепловому воздействию;
- долговечность;
- различные области применения.

«Главными компонентами полимерпесчаной продукции являются песок, полимер и пигмент. Полимер для производства изделий лучше брать из вторичного сырья, что сокращает расходы на его покупку. При этом качество изделий улучшается» [34].

В своей выпускной квалификационной работе, я решила рассмотреть производство полимерпесчаных лавок.

«Для производства полимерпесчаных лавок необходимо специальное техническое оборудование, которое не занимает много места, поэтому его можно использовать в мини-цехах.» [35].

Схема технологического процесса производства полимерпесчаных изделий представлена на рисунке 17.

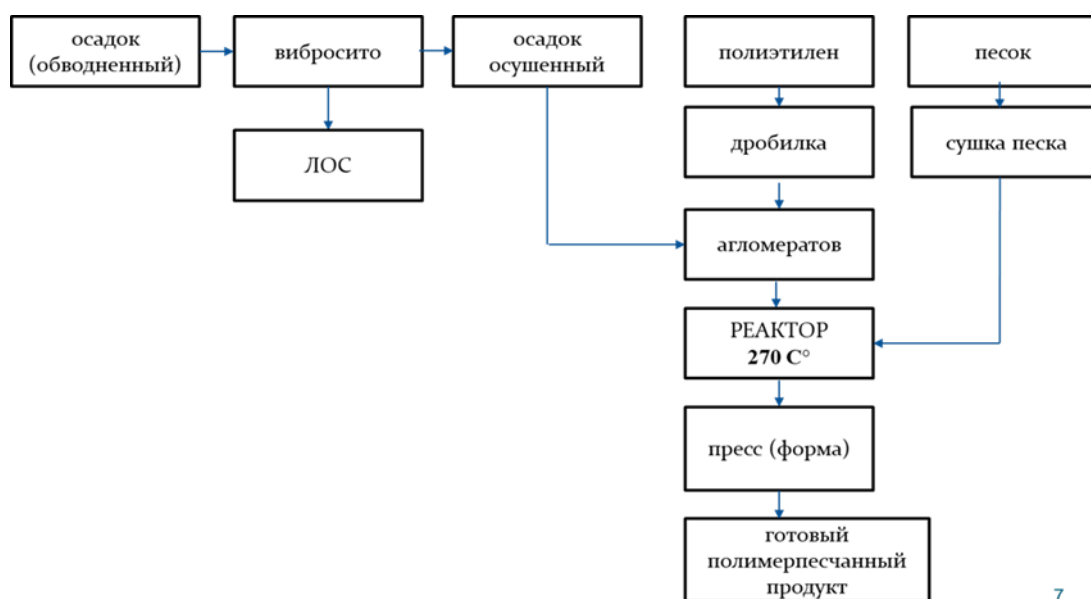
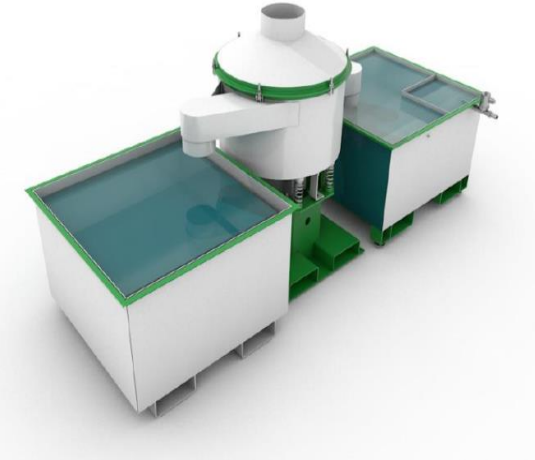


Рисунок 17- Технологический процесс производства полимер песчаных изделий

Рассмотрим оборудование для оснащения технологического процесса в таблице 13.

Таблица 13 - Оборудование для оснащения технологического процесса

Наименование оборудования	Описание оборудования	Стоимость оборудования	Изображение оборудования
Вибросито С-ВЭ-600	Вибросито предназначено для просеивания полимерного сырья с целью разделения сырья от воды. Производительность 50 л/ч.	200 000 руб.	 Рисунок 18 - Вибросито С-ВЭ-600

Продолжение таблицы 13

Дробилка полимеров роторного типа ДП-600	«Дробилка полимеров ДП-600 (далее дробилка) предназначена для измельчения пластиков и различных полимерных отходов. В качестве исходного материала с успехом может применяться как вторичное сырье – использованная упаковка и тара (баки, канистры, флаконы, пленки и т.д.) из различных отраслей промышленности, так и брак при изготовлении полимерных и пластмассовых изделий» [27]. «Производительность 350 кг/ч. Максимальная потребляемая мощность 15 кВт, рабочая 9 кВт» [35].	755 000 руб.	 Рисунок 19 - Дробилка полимеров роторного типа ДП-600
Агломератор однороторный АПР-37	«Это специальное устройство, в котором осуществляется переработка полимерной пленки или полимерных волокон в агломерат» [17]. Максимальная потребляемая мощность 37 кВт, рабочая 22 кВт. Производительность 120 кг/час	588 000 руб.	 Рисунок 20 - Агломератор однороторный АПР-37

Продолжение таблицы 13

АСП-325. Аппарат для сушки песка	«Аппарат для сушки песка (далее сушилка) предназначен для высушивания песка в процессе приготовления полимер-песчаной смеси. Конструкция сушилки позволяет получить на выходе сухой песок. В конструкции также предусмотрена сеялка для отделения случайно попавших крупных тел (мелкие камни, куски и т.п.) [36]. «Сушилка оснащен нагревательными элементами повышенной прочности и оборудованный 2 зонной системой электронного, микропроцессорного контроля температуры и калибровочной сеткой. Максимальная потребляемая мощность 24 кВт, рабочая 14,4 кВт» [36]. Производительность до 300 кг/час.	457 000 руб.	 Рисунок 21- АСП-325. Аппарат для сушки песка
Реактор ПП/Ø325В	«Повышенной производительности готовой массы. Оснащен нагревательными элементами повышенной прочности и оборудованный 4 зонной системой электронного, микропроцессорного контроля температуры, а также выносным поворотным пультом управления. Длина рабочего узла 3,55 м., производительность готовой массы до 400 кг/ч. Оснащен весовым контролем загрузки. Максимальная потребляемая мощность 41 кВт, рабочая 29 кВт» [37].	814 000 руб.	 Рисунок 22 - Реактор ПП/Ø325В

Продолжение таблицы 13

Пресс «ПГМ.2У-1300»	Пресс гидравлический модернизированный, предназначен для размещения одновременно двух пресс-форм. Комплектуется выносной гидростанцией, электрошкафом. Развиваемое усилие до 800 кН. Максимальная потребляемая мощность 15 кВт, рабочая 9 кВт [27]- [37].	2 072 000 руб.	 Рисунок 23 - Пресс «ПГМ.2У-1300»
Пресс-форма «Устой лавочки h-образный»		1 870 000 руб.	-
Пресс-форма «Ламель, длина 750 мм. трехместная»		850 000 руб.	-

Для производства полимерпесчаных лавочек, мы выбрали оборудование Российского производства, данное оборудование имеет преимущество по отношению к западным аналогам, в плане наличия комплектующих в случае его неисправности, а также для проведения технического обслуживания.

Глава 3 Расчетная часть

3.1 Расчет технологической линии производства полимерпесчаных лавок из отходов полиэтилентерефталата после переработки ПЭТ в год

Произведем расчет производства полимерпесчаной смеси:

Обводнение осадка до фильтрации +50% находим по формуле (1):

$$G_{\frac{\text{обвод.до филтр}}{\text{тн}}} = G_{\frac{\text{обвод.до филтр}}{\%}} \frac{G_{\frac{\text{шлам}}{\text{тн}}}}{G_{\frac{\text{шлам}}{\%}}} \quad (1)$$

где $G_{\frac{\text{обвод.до филтр}}{\text{тн}}}$ - обводнение до фильтрации тн.;

$G_{\frac{\text{обвод.до филтр}}{\%}}$ - обводнение до фильтрации +50%;

$G_{\frac{\text{шлам}}{\text{тн}}}$ - шлам по сухому веществу тн.;

$G_{\frac{\text{шлам}}{\%}}$ - шлам %

Поставим в формулу 1 наши значения и получим:

$$G_{\frac{\text{обвод.до филтр}}{\text{тн}}} = 150\% \cdot 150 \text{ тн} = 225 \text{ тн}$$

Обводнение осадка 225 тн/г. после фильтрации +20%, находим по формуле (2):

$$G_{\text{обвод.после филтр./тн}} = G_{\text{шлам/тн}} \times G_{\text{обвод.после филтр./\%}} \div G_{\text{шлам/\%}} \quad (2)$$

где $G_{\text{обвод.после филтр./тн}}$ - обводнение после фильтрации тн.;

$G_{\text{шлам/тн}}$ - шлам по сухому веществу тн.;

$G_{\text{обвод.после филтр./\%}}$ - обводнение после фильтрации +20%;

$G_{\text{шлам/\%}}$ - шлам по сухому веществу %.

Поставим в формулу 2 наши значения и получим:

$$G_{\text{обвод.после фильтр./тн}} = 120 \% \cdot 150 \text{ тн} = 180 \text{ тн}$$

Агломерат из шлама (шлам 10% + 90% отходов поолеофинов) находим по формуле (3):

$$G_{\text{агломерат из шлама/тн}} = G_{\text{обвод.после филтр/тн}} + G_{\text{отход поолеофинов}} \quad (3)$$

где $G_{\text{агломерат из шлама/тн.}}$ - агломерат из шлама (шлам 100%+90% отходов полиэтилена);

$G_{\text{обвод.после фильтр.}\%}$ - обводнение после фильтрации +20% тн.;

$G_{\text{отход полиэтилена}}$ – 90% отход полиэтилена.

Поставим наши значения в формулу 3 и получим:

$$G_{\text{агломерат из шлама/тн}} = 180 \text{ тн} + 1620 \text{ тн} = 1800 \text{ тн}$$

Композит для производства ПП (35% агломерат из шлама + 65% песка) находим по формуле (4):

$$G_{\text{композит}} = G_{\text{агломерат из шлама/тн}} + G_{\text{песок/тн}} \quad (4)$$

где $G_{\text{композит}}$ - композит для производства ПП;

$G_{\text{агломерат из шлама/тн.}}$ – агломерат из шлама тн.;

$G_{\text{песок/тн.}}$ – песок тн.

Поставим в формулу 4 наши значения и получим:

$$G_{\text{композит}} = 1620 \text{ тн} + 3009 \text{ тн} = 4629 \text{ тн/год}$$

Итого произведено ПП в год = 4629 тн.

Итого произведено Полимерпесчаной смеси в месяц найдем по формуле (5):

$$G_{\text{тн/м}} = G_{\text{тн/г}} / G_{\text{мес.}} \quad (5)$$

где $G_{\text{тн/м}}$ – произведенная полимерпесчаная смесь в месяц;

$G_{\text{тн/г.}}$ – произведенная полимерпесчаная смесь тонн в год;

$G_{\text{мес.}}$ – 12 месяцев.

Поставим наши значения в формулу 5 и получим:

$$G_{\text{тн/м}} = \frac{4629}{12\text{мес}} = 386\text{тн}$$

Таким образом мы рассчитали изготовление полимерпесчаной смеси в год и в месяц.

3.2 Расчет производства товарной продукции

Как известно, из полимерпесчаной смеси, можно изготовить различные строй материалы такие как (полимерпесчаная черепиц, тротуарная плитка, бордюры) также можно изготовить лавочки.

Для этого проведем расчет лавочек из полимерпесчаной смеси:

Производство лавки из ПП в год/шт. найдем по формуле (6):

$$G_{\text{лавки в год}} = G_{\text{композит/тн}} \div G_{\text{расход ПП тн/ед}} \quad (6)$$

где $G_{\text{лавки в год}}$ - производство лавки из ПП штук в год;

$G_{\text{композит/тн.}}$ - композит для производства ПП тонн в год;

$G_{\text{расход ПП тн/ед.}}$ - расход ПП тн/ед. на изготовление лавки.

Поставим в формулу 6 наши значения и получим:

$$G_{\text{лавки в год}} = \frac{4629}{0,132} = 35065 \text{ лавок в год}$$

Производство лавок из ПП в месяц/шт., найдем по формуле (7):

$$G_{\text{лавки в месяц}} = G_{\text{лавки в год}} / G_{\text{месяцы}} \quad (7)$$

где $G_{\text{лавки в месяц}}$ — количество произведенных лавок в месяц;

$G_{\text{лавки в год}}$ — количество произведенных лавок в год;

$G_{\text{месяцы}}$ - количество месяцев в год.

Поставим в формулу 7 наши значения и получим:

$$G_{\text{лавки в месяц}} = 35065 \text{ лавок} / 12 \text{ мес} = 2922 \text{ лавок в месяц}$$

Себестоимость лавки (рублей в год), найдем по формуле (8):

$$G_{\text{себест. лавок руб./шт.}} = G_{\text{кол. лавок в мес./шт}} \div G_{\text{себест. произв. лавок руб./шт.}} \quad (8)$$

где $G_{\text{себест. лавок в год}}$ - себестоимость лавок, рублей в год;

$G_{\text{кол. лавок в мес./шт}}$ — количество лавок в месяц/шт;

$G_{\text{себест. произв. лавок руб./шт.}}$ - себестоимость производства лавки, руб/шт.

Поставим в формулу 8 наши значения и получим:

$$G_{\text{себест. лавок руб./шт.}} = 2922 \text{ шт/мес} \cdot 5258 \text{ руб/шт} = 15635045 \text{ руб}$$

Прибыль от продажи изделия, с учетом рентабельности 27%, найдем по формуле (9):

$$G_{\text{рентабельность изделия}} = G_{\text{себест. лавок руб./г.}} / 100 \cdot G_{\text{рентаб./\%}} \quad (9)$$

Поставим в формулу 9 наши значения и получим:

$$G_{\text{рентабельность изделия}} = 15365045 \text{руб}/100 \cdot 27\% = 4148562 \text{руб}$$

Продажа лавок руб./год по себестоимости, найдем по формуле (10):

$$G_{\text{продажа лавок руб./г.}} = G_{\text{себест.лавок руб./шт.}} + G_{\text{рентаб.изд.,27\%}} \quad (10)$$

Поставим в формулу 10 наши значения и получим:

$$G_{\text{продажа лавок руб./г.}} = 15365045 \text{руб} + 4148562 = 19513608 \text{руб/год}$$

Окупаемость вложений, лет найдем по формуле (11):

$$G_{\text{окуп.вложений.}} = G_{\text{единовременные затраты на оборуд./руб}} \div G_{\text{продажа лавок р/г.}} \quad (11)$$

где $G_{\text{окуп.вложений}}$ - окупаемость вложений, лет;

$G_{\text{единовременные затраты на оборуд./руб}}$ - единовременные затраты на оборудование, руб;

$G_{\text{продажа лавок руб./г.}}$ - продажа лавок, рублей в год.

Поставим наши значения в формулу 11 и получим:

$$G_{\text{окуп.вложений.}} = 7606000 / 19513608 = 0,4 \text{года}$$

Таким образом из расчетов мы видим, что вложенные инвестиции в производство полимер песчаных лавок, имеют срок окупаемости менее полугода, тогда как ежегодные затраты при размещении на полигоне, составляют более 500000 руб/год.

Заключение

Производство полимерпесчаных изделий – это относительно новое направление в области переработки отходов, которое в последние годы стремительно набирает обороты. В данной работе рассмотрены имеющиеся технологии изготовления полимерпесчаных изделий, их достоинства и недостатки.

Была смоделирована наиболее подходящая технологическая линия производства полимерпесчаных изделий на ООО«ЭкоРесурсПоволжье».

Был изучен и проанализирован технологический процесс переработки ПЭТ и технологический процесс производства полимерпесчаных изделий.

Было оценено количество образования осадка при утилизации отходов полиэтилентерефталата.

Было предложено решение использования осадка от переработки отходов полиэтилентерефталата в производстве полимерпесчаных смесей.

Было подобрано оборудование для техпроцесса изготовления полимерпесчаных изделий. Оборудование было выбрано Российского производителя по программе импортазамещения, данный выбор дает нам преимущество по отношению к западным аналогам, в плане наличия комплектующих, так как завод изготовитель находится в Самарской области и всегда готов помочь в проведении технического обслуживания.

Был рассчитан эколого-экономический показатели предложенного решения.

Таким образом, за счет использования осадка от переработки полиэтилентерефталата в производстве полимерпесчаных изделий мы снизили уровень негативного воздействия на окружающую среду, так как известно, что отходы от ПЭТ не разлагаются в природных условиях и выделяют токсичные вещества. Так же внедрение предлагаемого техпроцесса позволит не только снизить ежегодные затраты на захоронение, но и получить прибыль для предприятия.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Березюк М.В., Румянцева А.В. Новая система управления ТКО: инновационный подход // Инновационное развитие экономики: научно-практический и теоретический журнал № 5 (35). 2016. С.19-29.
2. Бешенцев В.А. Обоснование захоронения промышленных и сточных вод в недра: учебное пособие / В. А. Бешенцев, Т. В. Семенова. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2018. — 95 с.
3. Ветошкин А.Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления: учебное пособие для спо / А. Г. Ветошкин. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 304 с.
4. Власов О.А. Технологии переработки твердых бытовых отходов: учебное пособие / О. А. Власов. — Красноярск: СФУ, 2019. — 244 с.
5. Патент DE 2101091 Способ разделения смеси полимерных частиц. Автор(ы): Инго Шталь, Аксель Холльштайн, Ульрих Кляйне-Клеффманн, Иринг Гайслер, Ульрих Найтцель. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/210/2101091.html> (дата обращения 16.07.2021).
6. Патент DE3035649A Электростатический сепн. гранулированных пластиков - трибоэлектрическим зарядом и конн. в свободном падении электростатического сепаратора. Автор(ы): Guenter Dipl Chem Dr Fricke, Иринг Дипл Хим Доктор Гайслер. [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/DE3035649A1/en?q=DE-PS+3035649+> (дата обращения 16.07.2021).
7. Патент DE 2091224 Способ разделения смеси полимерных частиц. Автор(ы): Инго Шталь, Аксель Холльштайн, Ульрих Кляйне-Клеффманн, Иринг Гайслер, Ульрих Найтцель. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/209/2091224.html> (дата обращения 16.07.2021).
8. Патент DE 2091223 Способ разделения смеси полимерных частиц. Автор(ы): Инго Шталь, Аксель Холльштайн, Ульрих Кляйне-Клеффманн,

Иринг Гайслер, Ульрих Найтцель. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/209/2091223.html> (дата обращения 16.07.2021).

9. Основы материальных расчетов и выбора оборудования для переработки пластических масс прессованием: Методические указания к практическим занятиям, курсовому и дипломному проектированию по дисциплине «Основы проектирования и оборудование предприятий по переработке полимеров» для студентов специальности «Технология переработки пластических масс и эластомеров». Екатеринбург, 2002.

10. Пакеты ПВД и ПНД: Отличия полиэтилена высокого и низкого давления [Электронный ресурс]: <https://www.tulapack.ru/packopedia/pvd-i-pnd-pakety.html> (дата обращения 07.02.22).

11. Патент № 123810 РФ. Кровельно-строительная панель // Самонин Василий Анатольевич. (РФ).

12. Патент № 1719345 СССР. Способ изготовления строительных изделий // Файтельсон В. А., Табачник Л.Б. (СССР).

13. Патент № 1756300 СССР. Способ изготовления полимербетонных изделий // Сулов А.А., Берман М.А., Сапителько С.А., Гольденберг Л.Г. (СССР).

14. Патент № 2127232 РФ. Способ получения черепицы и черепица коньковая // Галынский Л.Д. (РФ).

15. Патент № 2165904 РФ. Способ изготовления строительных материалов и изделий // Курлянд С. К., Гуткин В. И., Слуцкий В. А. (РФ).

16. Патент № 2185959 РФ. Система для изготовления изделий из сыпучих материалов и полимерных отходов // Болдырев А.П., Перешивайлов Л.А., Хоружий Н.В., Кузнецов В.И. (РФ).

17. Патент № 2496637 РФ. Линия для производства кровельно-строительного материала и состав для изготовления кровельного листа // Самонин Василий Анатольевич. (РФ).

18. Патент № 66271 РФ. Технологическая линия по производству полимер-наполненных изделий // Минин Леонид Викторович. (РФ).

19. Патент № 94008420 РФ. Способ производства строительных изделий // Вакильев Ф. М., Вакильев Е. Ф., Качурин Э. В. (РФ).
20. Плитка тротуарная полимер-песчаная [Электронный ресурс]: <https://www.ikirov.ru/news/16429-chto-takoe-plitka-trotuarnaya-polimer-peschanaya> (дата обращения 08.02.21).
21. Полимерпесчаная плитка тротуарная, садовая, террасная и для эксплуатируемой кровли [Электронный ресурс]: <http://tetto.ru/polimerpeschanaya-plitka/> (дата обращения 06.03.21).
22. Полиэтилен высокого давления (ПВД) [Электронный ресурс]: <https://propolyethylene.ru/LDPE/> (дата обращения 03.02.21).
23. Правила разработки и применения нормативов трудноустраняемых потерь и отходов материалов в строительстве РДС 82- 202-96: Приняты Постановлением Минстроя РФ от 08.08.1996 N 18-65 // Консультант плюс: справочно-правовая система.
24. Специальный выпуск «Все о пленках» [Электронный ресурс]: <https://www.unipack.ru/> (дата обращения 28.12.19).
25. Сутягин, В. М. Общая химическая технология полимеров: учебное пособие / В. М. Сутягин, А. А. Ляпков. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-4991-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/130193> (дата обращения: 10.12.2021).
26. Тарифы на электроэнергию в 2020 году в Тольятти [Электронный ресурс]: <https://tarif-zkh.ru/tolyatti/tarify-elektroenergiyi-v-tolyatti/> (дата обращения: 09.03.21).
27. Технические условия на элементы строительные полимерпесчаные [Электронный ресурс]: <https://xn-----6kcbaeeywflm3c1andac1au8v.xn--p1ai/tekhnicheskie-usloviya-na-elementy-stroitelnye-polimerno-peschanye-tu> (дата обращения: 11.02.21).
29. Технические условия ООО «Повтор». Участок переработки полиэтиленовых пакетов.

30. Технология производства полимерпесчаной продукции [Электронный ресурс]: <https://www.stroyportal.ru/articles/article-tehnologiya-proizvodstva-polimerpeschanoy-produkts-7284/> (дата обращения 20.12.21).
31. Файдюк И.С. Вторичная механическая переработка ПЭТ [Электронный ресурс]. URL: <https://engitime.ru/tehnologi/vtorichnaya-mexanicheskaya-pererabotka-pet.html> (дата обращения: 15.07.2021).
32. Otto B. Using PET Scrap-Technology and Quality / Rieter PET Symposium. Hanau, Juny 2007.
33. Kawamura C. Et al. Coating resins synthesized from recycled PET // Prog. Org. Coatings. 2002. Vol. 45, № 2–3. P. 185–191.
34. Cakić S.M. et al. Glycolyzed products from PET waste and their application in synthesis of polyurethane dispersions // Prog. Org. Coatings. 2012. Vol. 74, № 1. P. 115–124.
35. Patel M.R., Patel J. V., Sinha V.K. Polymeric precursors from PET waste and their application in polyurethane coatings // Polym. Degrad. Stab. 2005. Vol. 90, № 1. P. 111–115.
36. Landsat Science: [Электронный ресурс]. US, 2017. URL: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>. (дата обращения 13.09.2021).
37. Markham B.L., Storey J.C., Williams D.L., Irons J.R. (2017). Landsat sensor performance: history and current status. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42(12), 2691–2694.