

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- и 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 Оптимизация технологического процесса производства полимерпесчаных изделий из загрязнённых полиэтиленовых отходов на базе ООО«ЭкоРесурсПоволжье»

Студент

С.В. Мершиева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

старший преподаватель, Д.А. Мельникова

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

Тольятти 2020

## Аннотация

Объектом исследования является производство полимерпесчаных изделий из отходов загрязненного полиэтилена на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Цель бакалаврской работы - снижение поступления загрязненных отходов полиэтилена на полигон за счет использования их в качестве вторичного сырья при производстве полимерпесчаных изделий.

В литературном обзоре рассмотрены патенты и статьи по производству полимерпесчаных изделий из отходов загрязненного полиэтилена.

Описана существующая технология переработки отходов незагрязненного полиэтилена в гранулу на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Проведен поиск технических решений и предложен вариант оптимизации процесса производства полимерпесчаных изделий из отходов загрязненного полиэтилена на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Описаны стадии технологического процесса производства полимерпесчаных изделий и предложено оборудование, необходимое для запуска производственной линии на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Проведен эксперимент по получению полимерпесчаного композиционного материала в лабораторных условиях.

Проведены расчеты материального баланса существующей технологии переработки отходов незагрязненного полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье» и производства полимерпесчаной тротуарной плитки, а также экономические расчеты работы технологической линии по производству полимерпесчаной тротуарной плитки.

Выпускная квалификационная работа состоит из 75 страниц, 20 рисунков, 22 таблиц, использовано 39 источников.

## Содержание

Введение.....	5
1 Литературный обзор по теме исследования.....	7
1.1 Анализ патентов по технологии производства полимерпесчаных изделий.....	7
1.2 Анализ патентов по составу полимерпесчаного композита.....	12
1.3 Литературный обзор по теме исследования.....	17
1.4 Физико-химические характеристики полиэтилена.....	19
1.5 Анализ продуктов, получаемых в процессе производства полимерпесчаных изделий.....	22
1.5.1 Требования, предъявляемые к полимерпесчаной тротуарной плитке.....	23
1.5.2 Требования, предъявляемые к сырью для изготовления полимерпесчаной плитки.....	23
1.5.3 Анализ востребованности производимого продукта.....	24
2 Оптимизация технологии производства полимерпесчаных изделий из загрязненных отходов полиэтилена на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».....	25
2.1 Анализ технологии переработки полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».....	25
2.1.1 Анализ объемов накопления загрязненного полиэтилена.....	25
2.1.2 Существующая технология переработки полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».....	26
2.1.3 Расчет материального баланса производства гранул из отходов незагрязненного полиэтилена.....	30
2.2 Оптимизация технологии производства полимерпесчаных изделий из загрязненных отходов полиэтилена на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».....	33
2.2.1 Физико-химические свойства и характеристики отходов загрязненного полиэтилена.....	33

2.2.2 Анализ возможных подходов и оптимизации технологического процесса.....	34
2.2.3 Выбор оборудования для оптимизации технологического процесса .....	37
2.2.4 Получение полимерпесчаного композита в лабораторных условиях .....	49
2.2.5 Расчеты технологической линии производства полимерпесчаной тротуарной плитки из отходов загрязненного полиэтилена.....	56
Заключение .....	69
Список используемой литературы и источников .....	72

## Введение

В настоящее время полимерная индустрия продолжает активно развиваться. В год производится порядка 124 тонн различной полимерной продукции. Большинство изделий используются одноразово, после чего теряют свои потребительские свойства, далее большая часть отходов полимеров складировается на полигонах. В связи с этим все более остро встает вопрос о вторичном использовании полимерных материалов [27].

В данной работе рассмотрен процесс изготовления полимерпесчаных изделий из отходов полимеров, таких как загрязненные полиэтиленовые пакеты.

Полимерпесчаные изделия – это относительно новый строительный материал, который состоит из композиции песка и полимеров. На основе этого материала создаются такие изделия как плитка тротуарная, черепица, канализационные люки и другие.

В состав полимерпесчаного композита могут входить полимерные отходы в различных видах: упаковка, пластиковая тара, пришедшие в негодность изделия быта [31]. Чаще всего используют именно отходы упаковочных пластмасс.

Упаковочный материал изготавливается из термопластичных полимеров таких как: полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол, полиэтилентерефталат.

При этом 70% упаковки производится из полиэтилена [26].

На мусороперерабатывающие комплексы ежегодно поступает порядка 4 млн. тонн пластмассы, в том числе 600 000 тонн полиэтилена. По примерным подсчетам, в России ежегодно перерабатывается 200 000-250 000 тонн полимеров (то есть 5-7% от всего объема отходов). Таким образом, на полигоны ежегодно отправляется около 3 млн. тонн полимерных отходов [8].

Переработка чистой пленки не вызывает затруднений, так как из-за отсутствия посторонних включений и загрязнений не требуется мойка и

пленка поступает сразу же на стадию агломерирования и далее на линию гранулирования, после чего уже из готовых гранул производится новая упаковочная пленка.

С загрязненной пленкой все гораздо сложнее, промывка ее от загрязнений очень энерго- и ресурсозатратный процесс и даже при условии использования высокотехнологичных моечных комплексов качество промывки остается под вопросом. Более того из твердых коммунальных отходов (ТКО) выделяются пленки, состоящие из различных видов пластмасс, поэтому производство новых упаковочных материалов невозможно без тщательной сортировки, которую практически невозможно произвести на глаз.

В связи с существующими сложностями в переработке загрязненной пленки, самым перспективным и актуальным на сегодняшний день является использование данного вида отходов в производстве строительных материалов, в частности в производстве полимерпесчаных изделий.

Целью бакалаврской работы является: снижение поступления загрязненных отходов полиэтилена на полигон за счет использования их в качестве вторичного сырья при производстве полимерпесчаных изделий.

В соответствии с намеченной целью были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать существующие технологии в области производства полимерпесчаных изделий из отходов полиэтилена.
2. Оптимизировать технологию производства полимерпесчаных изделий их загрязненных отходов полиэтилена на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

## **1 Литературный обзор по теме исследования**

### **1.1 Анализ патентов по технологии производства полимерпесчаных изделий**

Производство полимерпесчаных изделий – это относительно новое направление в области переработки отходов, которое в последние годы стремительно набирает обороты. Эта деятельность интересна и для отдельных предпринимателей, и для населения в целом, ведь данное решение позволяет решить сразу несколько проблем. Во-первых, сокращение объема вывозимых на полигон полимеров, значительно снизит нагрузку на окружающую среду. Во-вторых, получаемая полимерпесчаная продукция составит достойную конкуренцию керамике по качеству и по цене.

Необходимо рассмотреть имеющиеся технологии изготовления полимерпесчаных изделий.

Известна технологическая линия для обработки пластиков, описанная в патенте Германии №4434252 «Устройство для обработки смешанных пластмассовых отходов» с приоритетом от 24.09.1994, МПК В29В 17/00, опубликованного 28.03.1996 [37]. «Данная технологическая линия содержит установленные параллельно по ходу технологического процесса первый загрузочный бункер и первый экструдер, второе загрузочное устройство и второй экструдер, причем внутренние поверхности обоих экструдеров соединены между собой, и далее - реактор, соединенный через подающую линию с совмещенными экструдерами, ко второму из которых подсоединена линия отвода воздуха».

Различные пластики, подаваемые на разные экструдеры, механически перерабатываются в своих экструдерах, смешиваются и поступают в реактор, где происходит переплавка смеси.

У данной технологии есть существенный недостаток - она служит только для получения полуфабриката - расплава смешанных пластиков.

Еще существует технологическая линия по производству полимер-наполненных изделий. Данная технология состоит из следующих узлов:

- устройство дробления полимерных материалов,
- нагреватель минерального наполнителя,
- весовой дозатор,
- смеситель,
- реактор, выполненный в виде двухзонного по температуре шнекосмесительного агрегата с нагревательными элементами, расположенного в цилиндрическом корпусе,
- второй весовой дозатор,
- формовочное устройство [20].

Отличительная черта состоит в том, что смеситель-активатор выполнен в виде реактора с двумя зонами с различной температурой, снабженного нагревательными элементами, а перед формовочным устройством установлен второй весовой дозатор. В данной технологии самый существенный недостаток – это большая энергозатратность, так как происходит большой расход электричества.

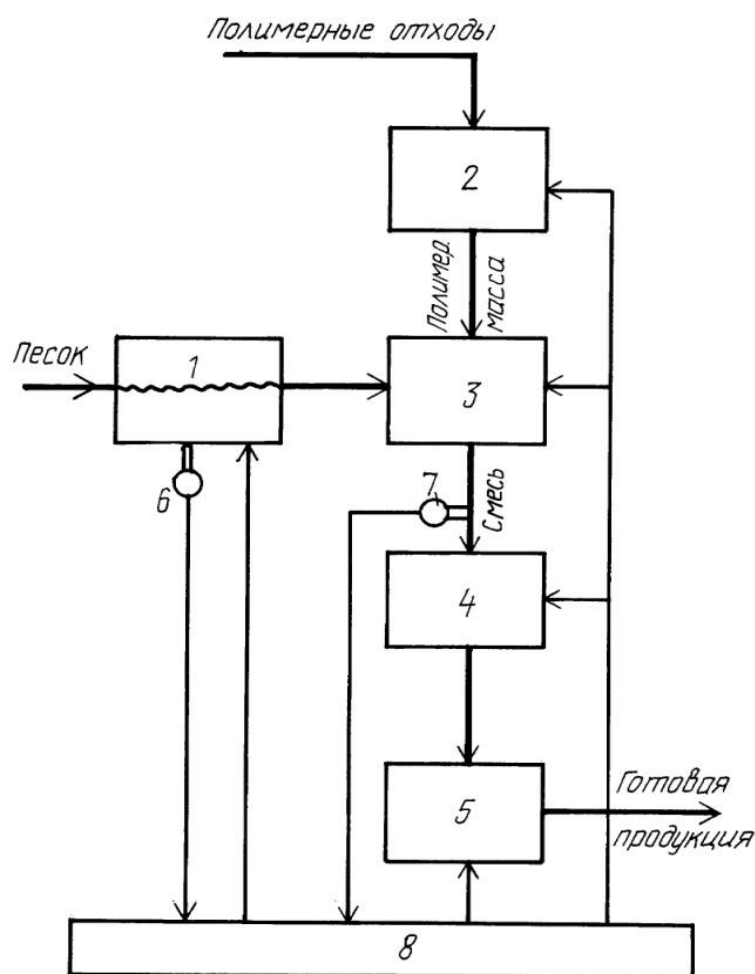
Также был разработан способ производства строительных изделий из сыпучих материалов и полимерных отходов. «Система включает устройства дробления полимерных материалов с нагревателем песка, соединенных между собой технологическими линиями, а также пресс-форму готовых изделий с транспортирующей линией подачи продукции на склад. Недостатками системы является неэффективность ее работы из-за отсутствия средств контроля и управления параметрами устройств» [21].

Известен способ изготовления полимербетонных изделий, используемый при изготовлении элементов отделки зданий, кровельного материала, плиток для пола и т.д. «По этому способу минеральный наполнитель нагревают до 100-250°C, смешивают с полимерным связующим в помольно-смесительных бегунах с одновременной вибрацией и полученную смесь формуют с подпрессованием, причем смесь содержит



минеральный наполнитель в трех фракциях, что позволяет получить более плотную упаковку зерен наполнителя и повысить тем самым прочностные характеристики изделий. Однако изделия, изготовленные данным способом, обладают горючестью, а для реализации способа требуется дополнительное оборудование, что усложняет технологический процесс» [15].

Также существует система для изготовления изделий из сыпучих материалов и полимерных отходов. Данная система содержит: устройство дробления полимерных отходов и нагрева песка, входы которых соединены соответственно с линией подачи полимерных отходов и песка, а выход со смесителем песка и полимерных отходов; пресс-форму готовых изделий, соединенную на выходе с линией подачи продукции на склад; к тому же данная система дополнительно снабжена гидравлическим прессом, вход которого соединен с выходом смесителя, а выход соединен с входом пресс-формы готовых изделий; датчиками температуры песка и смеси песка и полимерных отходов, соединенных электрическими линиями связи с входами вычислительного устройства, выходы которого соединены линиями связи с электрическими управляющими устройствами, установленными соответственно на пресс-форме готовых изделий, устройстве нагрева песка, устройстве дробления полимерных отходов, смесителе песка и полимерных отходов, гидравлическом прессе. Схема технологической линии представлена на рисунке 1.



1 - устройство нагрева песка; 2 - устройство дробления полимерных отходов; 3 - смеситель песка и полимерной массы; 4 - гидравлический пресс; 5 - пресс-форма готовых изделий; 6 - датчик температуры песка; 7 - датчик температуры смеси песка и полимерной массы; 8 - вычислительное устройство

Рисунок 1 – Схема технологической линии изготовления изделий из сыпучих материалов и полимерных отходов

Недостаток данного решения заключается в повышенном расходе электроэнергии и высоких требованиях к температурным режимам исходного сырья [16].

Существует разработка линии производства кровельного материала, содержащая накопительные бункеры для исходного раздробленного сырья, состоящего из полимерных отходов и наполнителя, поступающих в заданной пропорции 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 листовой форме готового изделия [19].

Анализ рассмотренных патентов представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Данные о патентах по технологии производства полимерпесчаных изделий

№ Патента и название	Сущность разработки	Недостатки разработки
1	2	3
4434252 «Устройство для обработки смешанных пластмассовых отходов»	Размещение параллельно по ходу процесса первого загрузочного бункера и первого экструдера, второго загрузочного устройства и второго экструдера, и далее - реактор, соединенный через подающую линию с совмещенными экструдерами. Подаваемые на разные экструдеры различные пластики механически перерабатываются в своих экструдерах, смешиваются и поступают в реактор, где происходит переплавка смеси.	Служит только для получения полуфабриката
66271 «Технологическая линия по производству полимер-наполненных изделий»	Технологическая линия включает размещенные последовательно по ходу технологического процесса и технологически связанные между собой: устройство дробления полимерных материалов; нагреватель минерального наполнителя; дозатор; смеситель-активатор и формовочное устройство. Отличается тем, что смеситель-активатор выполнен в виде двухзонного по температуре реактора, снабженного нагревательными элементами, а перед формовочным устройством установлен второй весовой дозатор.	Повышенный расход электроэнергии
94008420 «Способ производства строительных изделий»	В смесителе-активаторе в течение 35 - 40 мин при интенсивности воздействия 30 - 65 Вт/кг перемешивают нагретый до температуры 400°C кварцевый песок с размерами частиц 0,5 - 3,0 мм, с полиэтиленовыми отходами, предварительно измельченными до размера частиц меньше 1 см. Дополнительно вводят при перемешивании пигмент, который предварительно совмещают с полиэтиленовыми отходами. Состав смеси, мас. %: кварцевый песок 80, полиэтиленовые отходы 20.	Неэффективность работы из-за отсутствия средств контроля и управления параметрами устройств

Продолжение таблицы 1

1	2	3
1756300 «Способ изготовления полимербетонных изделий»	Способ изготовления полимербетонных изделий, включающий нагрев минерального заполнителя до 100-250°C, смешение нагретого заполнителя с полимерным связующим в течение 1-3 мин и формование изделий с подпрессовыванием при удельном давлении 0,00001 - 0,001 МПа на 1 см толщины изделия, отличающийся тем, что, с целью повышения прочностных показателей изделий, смешение компонентов ведут в помольно-смесительных бегунах с одновременной вибрацией при давлении катков на смесь 0,02-0,04 МПа и вибрации при частоте колебаний 40-50 Гц.	Изделия, изготовленные данным способом, обладают горючестью
2 185 959 «Система для изготовления изделий из сыпучих материалов и полимерных отходов»	Система содержит устройства дробления отходов полиэтилена (2) и нагрева песка (1), входы которых соединены с линией подачи отходов полиэтилена и песка, а выходы - со смесителем песка и отходов полиэтилена (3), пресс-форму готовых изделий (5), соединенную на выходе с линией подачи продукции на склад. Система также снабжена гидравлическим прессом (4), вход которого соединен с выходом смесителя, а выход - с входом пресс-формы готовых изделий, датчиками температуры песка и смеси песка и отходов полиэтилена (6, 7) соединенными электрическими линиями связи с входами вычислительного устройства(8).	Повышенный расход электроэнергии и высокие требования к температурным режимам исходного сырья
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.	Отсутствие дозаторов и датчиков температуры

## 1.2 Анализ патентов по составу полимерпесчаного композита

Не менее важен состав полимерпесчаного композита, поэтому следует рассмотреть существующие рецептуры.

Известен способ изготовления строительных изделий, при котором происходит смешение термопластичного связующего с минеральным

наполнителем, который был нагрет до температуры выше плавления связующего. Затем изделия формируются и прессуются при давлении 0,1-10 Мпа, потом их охлаждают. В данном случае в качестве связующего используют волокнистые или тонкослойные отходы термопластичных полимерных материалов, в том числе в нерегенерированном и неуплотненном состоянии. Примеры из патента составляющих для получения полимерпесчаного композита представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Примеры состава полимерпесчаного композита из анализируемого патента

№ состава	Ингредиенты
1	Обрывки пленки из полиэтилена высокого давления; нагретый до 250°C в количестве 6 мас.ч. отходов на 100 мас.ч керамзит.
2	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.
3	Бытовые полиэтиленовые пленочные отходы; нагретый до 320°C керамзитовый песок в количестве 25 мас.ч полиэтиленовых плёночных отходов на 100 мас.ч, керамзитового песка.
4	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.

У данного способа есть недостаток, которым является низкое качество изготовленных изделий. Это происходит из-за плохого диспергирования наполнителя в среде связующего, поэтому наблюдается повышенная хрупкость получаемой продукции при низких температурах, а также их горючесть [14].

Также разработан способ изготовления строительных материалов, например, черепицы. Данный способ основан на смешении термопластичного связующего с минеральным наполнителем. «Способ 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». Затем смесь формируется при температуре 130-200°C и давлении 20-60 кг/см<sup>2</sup>, затем в течение 3 - 18 ч происходит ее охлаждение [16].

У данного способа недостатком можно назвать недостаточную устойчивость к динамическим нагрузкам получаемой продукции. Данный недостаток чаще всего проявляется при температуре ниже 0°C в виде хрупкости, а также горючести этой продукции.

Существует способ, сущность которого 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. Смешение указанных компонентов осуществляют с одновременным использованием служебных веществ, которые вводят в нагретый наполнитель одновременно со связующим. Композицию, которая получена таким способом формируют под давлением, а затем охлаждают. В предлагаемом способе смешивают 70-80 мас. % минерального наполнителя с 20-30 мас. % связующего, а в качестве служебного вещества используют полифункциональную добавку из комплекса меламина и хлорпарафина, которые взяты 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.

«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. Температурная область действия полифункциональной добавки лежит в пределах от 230°С до 520°С, в то время, как для индивидуальных продуктов эти области более узкие: для хлорпарафина от 203°С до 300°С, для меламина от 255°С до 360°С, при этом интенсивность разложения полифункциональной добавки зависит от соотношения меламина и хлорпарафина и максимальна при их эквимолярном соотношении» [17].

Также известна разработка кровельно-строительной панели, которая заключается в повышении эксплуатационных качеств строительной панели из полимеризованной смеси наполнителя и полимерной массы за счет формирования поверхностного слоя большей плотности, чем плотность внутренней структуры при использовании различного по природе происхождения наполнителя.

Для производства одного кровельно-строительного листа или панели толщиной 5 мм и размером два метра в длину и один метр в ширину, необходимо:

- 6 килограммов агломерата;
- 2 килограмма агломерированной стрейч-пленки;
- 8 килограммов каолина или мела;
- 1 килограмм любого наполнителя: резиновая крошка, речной песок, древесные опилки, стекловата, рисовая шелуха, переработанная фракция пластиковых бутылок ПЭТ.

Дополнительно в состав смеси может быть включено 200 грамм красителя Байферрокс/Bayferrox [13].

Недостатком предложенного композиционного материала является ограниченная прочность изделий.

Для удобства анализа разработок данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Данные патентов по составу полимерпесчаного композита

№ Патента и название	Суть разработки	Недостатки разработки
1	2	3
1719345 «Способ изготовления строительных изделий»	Изготовление строительных изделий путем смешения термопластичного связующего с нагретым, выше температуры плавления связующего, минеральным наполнителем, формования, прессования и охлаждения. Отличается тем, что, с целью утилизации отходов и расширения сырьевой базы, 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 изделий, а также их горючесть
2127232 «Способ получения черепицы и черепица коньковая»	Содержании компонентов в смеси, мас. %: песок - 70-79,9; отходы полиолефинов - 20-30; служебные вещества - 0,10-10,0. Отличается тем, что перед смешением отходы полиолефинов фракционируют с отбором фракции с размером частиц до 10 мм, нагрев песка перед смешением осуществляют до 250-450°С в течение 15-30 мин, формование осуществляют при 130-200°С и давлении 20-60 кг/см <sup>2</sup> , после чего осуществляют охлаждение в течение 3-18 ч.	Недостаточная устойчивость к динамическим нагрузкам получаемой продукции, в особенности проявляющаяся при низких температурах (ниже 0°С) в виде хрупкости, а также горючесть этой продукции
2165 904 «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. Подачу связующего в наполнитель осуществляют порционно в несколько этапов, а введение полифункциональной добавки производят на заключительном этапе приготовления композиции при температуре не выше 400°С.	-



### Продолжение таблицы 3

1	2	3
123810 «Кровельно-строительная панель»	Кровельно-строительная панель, представляющая собой отформованный листовый материал, выполненный из смеси полиэтиленовых отходов и наполнителя, подвергнутых экструзии и прессованию, и края которого обрезаны, отличающаяся тем, что прочность поверхностных слоев листового материала со стороны приложения усилия прессования выполнена выше прочности внутреннего слоя этого материала.	Ограниченная прочность панели, хрупкость.

### 1.3 Литературный обзор по теме исследования

В статье «Завод по производству древесно-полимерной тротуарной плитки» подробно описывается разработанный способ получения древесно-полимерной тротуарной плитки, полученной на основе древесных отходов и вторичных полимерных ресурсов.

Основной научной новизной разработанной технологии является внедрение термически модифицированных вторичных целлюлозосодержащих отходов с высоким содержанием целлюлозы, измельченные до дисперсного состояния, в полимер.

Термоформованная древесная мука используется в качестве наполнителя в количестве 70% по массе, вторичный полиэтилен используется в качестве полимера в количестве 24% по массе, а химические добавки и модификаторы содержатся в количестве 6%.

Первым этапом в технологической цепочке является измельчение необработанной древесины с помощью механической обработки. Этот процесс необходим для дальнейшей мягкой термической модификации древесного сырья в специализированной камере. Процесс модификации происходит при температурах от 130 до 150°C. После модифицированное древесное сырье направляется на тонкое измельчение, в результате чего древесно-модифицированная мука, готовая для использования в качестве наполнителя в разрабатываемом продукте. Полученное сырье экструдировать

вместе с полимером при температуре от 160 до 190°C, затем непрерывно формируется в плитки и охлаждается.

Для определения качественного анализа эксплуатационных свойств полученного материала, по сравнению с аналогами исследования образцов композитной тротуарной плитки проводились на базе лаборатории кафедры обработки древесных материалов ФГБОУ ВО «КНРТУ».

Результаты показали, что композитная древесно-полимерная тротуарная плитка по показателям «водопоглощение» и «истирание» превышает состав цементно-песчаных смесей, и уступает, но не значительно, своему аналогу из полимерно-песчаных материалов [35].

Применение сильно загрязненных полимерных отходов описано в статье «Полимерно-песчаные композиты на основе смешанных и сильно загрязненных термопластичных отходов». Эта статья представляет производство и тестирование высоконаполненного полимерного композита на основе смешанных отходов пластиков и песка в качестве наполнителя.

Полимерно-песчаные композиционные материалы были получены двумя способами. По первому, полимерный порошок и наполнитель смешивали при комнатной температуре и затем нагревали в муфельной печи при 250-270°C в течение 10-15 минут и перемешивали в нагретом двухроторном смесителе.

Во втором случае полимеры расплавлялись в одношнековом экструдере, а затем подавались в двухлопастный смеситель с горячим песком. Время перемешивания от 3 до 10 минут. После смешивания мягкий полимерно-песчаный композит (ПСК) был подвергнут прессованию в гидравлическом прессе.

В исследовании сравнивали свойства ПСК и пришли к выводу, что с полимеро-песчаные композиты на основе загрязненных полиэфирных отходов имеют гораздо более улучшенные свойства по сравнению с системами на основе полиолефинов. Применение таких композитов

позволяет изготавливать более тонкие и легкие детали с высокой жесткостью и отличной термостойкостью [38].

#### 1.4 Физико-химические характеристики полиэтилена

Полиэтилен – это прозрачный материал без запаха, обладающий высокой эластичностью, химической устойчивостью, диэлектрик.

Полиэтилен является обычно используемым пластиковым материалом, который состоит из длинной цепи атомов углерода с двумя атомами водорода, присоединенными к каждому атому углерода [36].

Химическая формула полиэтилена:  $(-CH_2 - CH_2 -)_n$ .

Полиэтилен обычно делят на два вида: полиэтилен низкого давления (ПНД), полиэтилен высокого давления (ПВД).

Полиэтилен высокого давления – «это термопластичный полимер, продукт полимеризации газа «этилена», получаемый под действием высоких температур и давления, с участием кислорода».

Развитие производства полиэтилена высокого давления началось с 1930-х гг. крупной английской химической компанией «Imperial Chemical Industries», а затем в 1954г была освоена технология производства и полиэтилена низкого давления [39].

Полиэтилен низкого давления – «это полимер высокой плотности, получаемый реакцией полимеризации этилена при низком давлении» [24].

Также существует линейный полиэтилен низкой плотности, открытый в 1957г фирмой «Du Pont» (ЛПНП) – это смесь ПНД и ПВД.

Внешний вид полиэтилена описан в таблице 4.

Таблица 4 - Внешний вид полиэтилена [12]

Вид полиэтилена	Внешний вид
ПВД	Гладкий, мягкий, блестящий, эластичный, тянущийся
ПНД	Шершавый на ощупь, матовый, жесткий, шуршащий

Внешний вид полиэтилена высокого давления в гранулах практически не отличается от полиэтилена низкого давления. Внешний вид полиэтилена в гранулах представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид полиэтилена в гранулах

Внешний вид пакетов из ПВД и ПНД представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Внешний вид пакетов из ПВД и ПНД

Физические свойства полиэтилена различаются в зависимости от его вида.

Физические свойства ПВД и ПНД представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Сравнительная характеристика физических свойств полиэтилена высокого и низкого давления

Вид полиэтилена	Молярная масса	Плотность, г/м <sup>3</sup>	Температура плавления, °С	Модуль упругости, МПа	Относит. удлинение, %
ПВД	50-800 тыс.	0,913-0,914	102-110	100-200	100-800
ПНД	50 тыс. 3 × 10 <sup>6</sup>	0,919-0,973	125-137	400-1250	100-1200

Химические свойства полиэтилена практически не отличаются в зависимости от вида. ПВД и ПНД одинаково устойчивы к растворам кислот, щелочей, солей. Химические свойства полиэтилена представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Химические свойства полиэтилена

Свойство	Значение
Газопроницаемость	низкая
Паропроницаемость	низкая
Устойчивость к органическим и неорганическим кислотам	высокая (за исключением 50% раствора азотной кислоты)
Устойчивость к растворам солей	высокая
Взаимодействие со щелочами	не взаимодействует
Растворимость в органических растворителях	низкая (слегка разбухает)
Химические вещества, разрушающие полиэтилен	газообразный и жидкий фтор и хлор

В тарах из полиэтилена можно хранить воду, масла, соки, бензин и другие жидкости. К тому же изделие, упаковать в полиэтилен, например, пакет или пленку, оно будет защищено от каких-либо жидкостей.

Однако полиэтилен все же имеет один недостаток – это низкая устойчивость к старению под воздействием солнечного света и ультрафиолетовых лучей.

### **1.5 Анализ продуктов, получаемых в процессе производства полимерпесчаных изделий**

Из полимерпесчаного материала можно получить красивые и износостойкие изделия, не уступающие по характеристикам продуктам, изготовленным из традиционных материалов. Примером продукта, получаемого в процессе производства полимерпесчаных изделий, может служить плитка тротуарная, внешний вид, которой представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Внешний вид полимерпесчаной тротуарной плитки

Полимерпесчаная плитка является эстетичным материалом для отделки зон отдыха, придомовых территорий, автостоянок, дорог.

### **1.5.1 Требования, предъявляемые к полимерпесчаной тротуарной плитке**

Требуемые показатели характеристик полимерпесчаной плитки представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Требования, предъявляемые к полимерпесчаной тротуарной плитке

Свойства	Показатели
Водопоглощение	0,52%
Морозоустойчивость	300 циклов (до – 60 С)
Истираемость	0.06%
Предел прочности на сжатие	50,2МПа
Твёрдость (HRB)	68-82
Плотность (г/см)	2,05

Тротуарная плитка, выполненная из полимерпесчаного композиционного материала должна быть устойчива к действию агрессивных химических веществ, экологически безопасна, долговечна [22].

Полимерпесчаная плитка должна иметь ровные поверхности и края, не допускается наличие трещин и сколов. Также должна быть устойчива к ультрафиолетовому излучению.

### **1.5.2 Требования, предъявляемые к сырью для изготовления полимерпесчаной плитки**

Полимерпесчаная тротуарная плитка изготавливается из композиции полиэтилена (связующее) и песка (наполнитель).

Для изготовления полимерпесчаной плитки следует применять природный кварцевый песок, отвечающий требованиям ГОСТ 8736. Не допускается загрязнение песка карбонатами и металлической пылью [29].

Полиэтилен для изготовления полимерпесчаной плитки используется, как правило, загрязненный, вышедший из употребления, поэтому к нему не предъявляется специальных требований.

### **1.5.3 Анализ востребованности производимого продукта**

Потенциальная емкость рынка тротуарной плитки имеет значительные показатели, даже с учетом кризисных явлений в российской экономике. Так, только в 2016 и в 2017 гг. на рынке было реализовано более чем 14 млн. м<sup>2</sup> тротуарной плитки. С учетом возобновления спроса на рынке жилья, а также восстановления роста экономики следует ожидать дальнейшего повышения объема производства и спроса на тротуарную плитку. Прогнозируется на период 2019-2022 гг. объем спроса на уровне не ниже, чем 14-15 млн. м<sup>2</sup> плитки. Более 70%-80% спроса наблюдается со стороны муниципальных и государственных заказчиков. Тем не менее, наблюдается тенденция увеличения доли спроса со стороны частных клиентов и застройщиков [2].

#### **Выводы по разделу**

Таким образом, в данном разделе был произведен литературный обзор по теме исследования, по результатам которого можно сделать следующие выводы. Производство полимерпесчаных изделий – это относительно новое направление в области переработки отходов, которое в последние годы стремительно набирает обороты.

Были рассмотрены имеющиеся технологии изготовления полимерпесчаных изделий, их достоинства и недостатки. Изучены данные о патентах по технологии производства полимерпесчаных изделий, а также патенты по составу полимерпесчаного композита.

Вопрос об утилизации загрязненного полиэтилена на сегодняшний день стоит очень остро. В России только начинает набирать обороты индустрия переработки отходов и производства из них полезных вторичных материалов.

Также был рассмотрен метод переработки отходов загрязненного полиэтилена, полученного из твердых коммунальных отходов, в полимерпесчаную тротуарную плитку. Эта технология не предусматривает глубокую очистку сырья, относительно проста и высокорентабельна.



## 2 Оптимизация технологии производства полимерпесчаных изделий из загрязненных отходов полиэтилена на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

### 2.1 Анализ технологии переработки полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

#### 2.1.1 Анализ объемов накопления загрязненного полиэтилена

На предприятие ООО «ЭкоРесурсПоволжье» отходы чистого полиэтилена поступают с автомобильного завода «Джи-Эм АвтоВАЗ», загрязненный полиэтилен отбирают на сортировочной линии из ТКО. Данные объемов накопления полиэтилена представлены на рисунке 5.

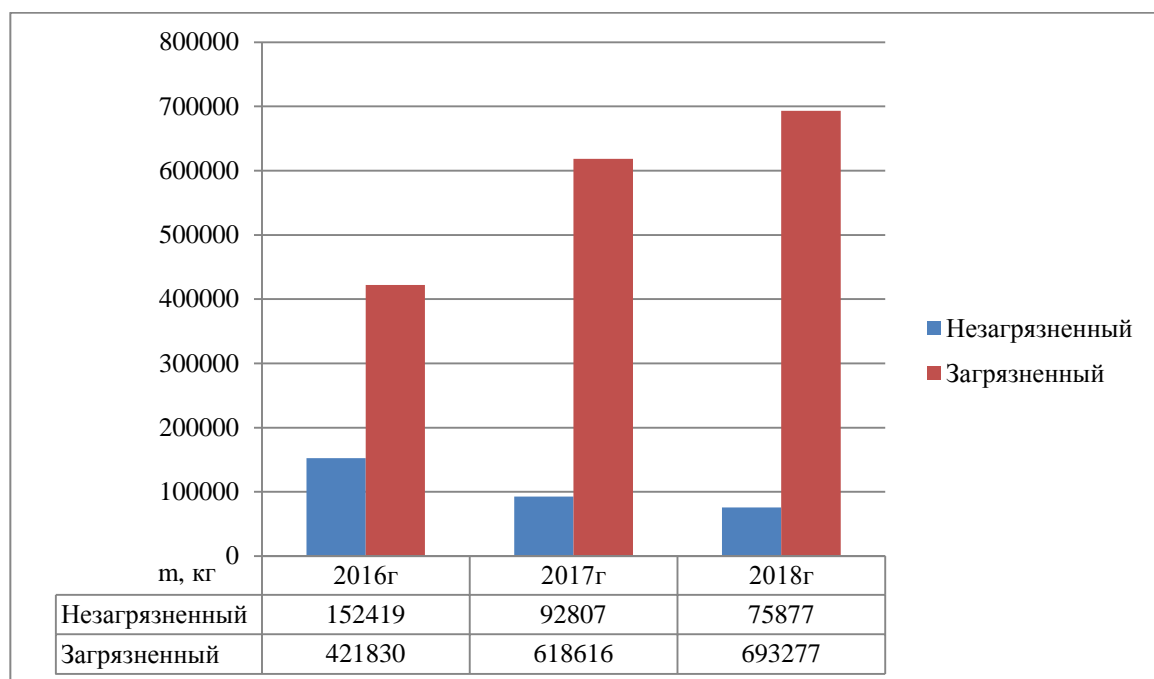


Рисунок 5 – Данные объемов накопления полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

На основе диаграммы (рисунок 5) можно сделать вывод, что имеется тенденция увеличения накопления отходов загрязненного полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

В 2016 году на предприятие ООО «ЭкоРесурсПоволжье» поступило 152419 кг незагрязненного полиэтилена и 421830 кг загрязненного полиэтилена было отобрано из ТКО. В 2017 году на переработку поступило 92807 кг незагрязненного и 618616 загрязненного полиэтилена. В 2018 году на предприятии зафиксировано поступление 75877 кг незагрязненного полиэтилена и 693277 кг отходов загрязненного полиэтилена отсортировано из ТКО.

В связи с ростом потребления населением полиэтиленовых пакетов и упакованных материалов повышается и накопление отходов загрязненного полиэтилена, которые в основном отправляются на полигон из-за трудностей в переработке сильно загрязненных пленок и пакетов.

### **2.1.2 Существующая технология переработки полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»**

На предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье» работают три сортировочные линии, общей мощностью 1,5 млн м<sup>3</sup> в год. Линия по переработке полиэтилена, линия по переработке ПЭТФ бутылок, линия по переработке резины, установка по измельчению крупных бытовых отходов.

Сначала весь поток отходов попадает на сортировочные линии, где вручную отделяются от общей массы: ПЭТ, резина, стекло, ветошь, металл, древесина и полиэтилен для дальнейшей переработки.

Переработка полиэтиленовых отходов состоит из нескольких этапов:

- измельчение;
- агломерирование;
- гранулирование.

В состав линии переработки входит:

- дробилка ИМП-2/18,5,
- агломератор АПР-30и АПР-30х2,
- гранулятор HSSJ-90.

Технологический процесс переработки полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье» представлен в виде блок-схемы на рисунке 6.



Рисунок 6 – Схема технологического процесса переработки полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

### Этап 1. Измельчение

Измельчение отходов осуществляется в дробилке. Материал загружается равными порциями вручную, что исключает перегрев привода и разогрев материала.

В процессе разрезания плёночного полиэтилена между роторными и стационарными ножами, размер частиц уменьшается до тех пор, пока они не начнут просачиваться через решетку. Затем материал поступает в промежуточный, а потом и в загрузочный бункеры, потом в патрубок и уже в итоге в накопительные емкости вентиляционной пылеулавливающей установки, куда материал поступает через патрубок.

В Биг-Бэг происходит сбор материала, который был измельчен. Когда Биг-Бэг заполнен, то прекращается подача отходов полимеров в дробилку. После чего происходит замена полной тары на пустую. В итоге по результату получается полиэтилен с частицами – 10x10 мм, который передается на участок агломерирования.

### Этап 2. Агломерирование

Агломерирование - совмещение в одном процессе измельчения и пластикация (процесс превращения пластических масс в расплав, с целью облегчения их переработки в изделия), полимерной пленки под действием силы трения и подачи дозированного количества воды для охлаждения.

На ООО «ЭкоРесурсПоволжье» установлены 2 агломератора: АПР-30и АПР-30х2 работающих с плёночными отходами ПВД, ПНД, полипропилен и их композицией.

28-30 кг плёнки, либо дробленки, равномерно загружается в рабочую камеру агломератора. Затем материал измельчается и одновременно нагревается. Повышение температуры происходит за счет трения. Когда 40% массы расплавится нужно добавить «шоковую» воду. После чего в камере происходит агломерация массы за счет резкого охлаждения полимера. Следующим этапом идет сушка материала. Когда вся избыточная влага испарилась, заслонка открывается и агломерат выгружают.

«Агломерат – это плотные шарики неправильной формы, используемые в качестве как самостоятельного вторичного сырья для литья в термопласт-автоматах, так для дальнейшей переработки экструзией» [27].

На ООО «ЭкоРесурсПоволжье» производятся несколько видов агломерата:

- агломерат (чистый) ПВД: (белый, черный);
- агломерат (чистый) Стрейч: (белый, черный);
- агломерат грязный (грязный материал со степенью загрязнения поверхности пленки более 10%);

Агломерат грязный, реализуется на стороннее предприятие, где происходит его дальнейшая переработка, а чистый агломерат отправляется на дальнейшую переработку на участок гранулирования.

### Этап 3. Гранулирование

«Гранулирование - формирование твердых частиц (гранул) определенных размеров и форм с заданными свойствами. Размер гранул зависит от вида материала, способа его дальнейшей переработки или применения» [27].

Для гранулирования используют гранулятор HSSJ-90, производительностью 80 кг/час. Схема гранулятора модели HSSJ-90 представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Схема установки гранулятора модели HSSJ-90

В процессе переработки полиэтилен непрерывно перемещается вращающимся шнеком через несколько обогреваемых зон с разными температурами, в результате чего материал расплавляется. Расплав дегазируется, гомогенизируется, сжимается, нагнетается в формующую обогреваемую фильеру и продавливается через ее отверстия в виде жгутов (стренг) заданного диаметра. На фильере установлена нержавеющая сетка, на которой остаются посторонние, нерасплавленные материалы. Данную сетку меняют по мере загрязнения.

Чтобы материал не слипался производится охлаждение жгутов водой, потом их сушат и режут на гранулы определенной длины.

Технологические параметры гранулирования устанавливаются в зависимости от вида и физико-механических свойств полиэтилена: плотности, температур фазовых переходов, показателя текучести расплава. Для разного марок полиэтилена температурные режимы гранулирования различаются: в загрузочной воронке поддерживается температура в диапазоне 60-115°C, в зоне формующей фильеры – 180-260°C.

Гранулирование превращает агломерат в плотные и прочные образования. Данные образования однородны по составу и свойствам, также они имеют одинаковую форму и размеры. При гранулировании контролируется качество и однородность гранул и выход кондиционной фракции [7].

С помощью существующей технологии, на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье» перерабатываются отходы незагрязненного полиэтилена.

Часть отходов загрязненного полиэтилена перерабатываются в агломерат и реализуются сторонним предприятиям. Остальное количество загрязненного полиэтилена поступает на полигон из-за низкой рентабельности его переработки. Поэтому внедрение технологической линии производства полимерпесчаных изделий на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье» является актуальным решением.

### **2.1.3 Расчет материального баланса производства гранул из отходов незагрязненного полиэтилена**

Материальный баланс производства рассчитывается на 1000кг готовых гранул.

В процессе производства могут наблюдаться следующие потери:

- потери в виде летучих продуктов при гранулировании, сушке и в виде пыли при резке;
- потери при загрузке сырья в оборудование;
- частично оплавленное сырье при чистке фильтров, шнека, экструзионной головки, а также затвердевшие куски массы, вытекающие из материального цилиндра и уплотнений.
- потери на анализ сырья и готовой продукции [11].

Для удобства расчета составлена таблица возвратных и безвозвратных потерь на каждой стадии технологического процесса подготовки незагрязненного полиэтилена к производству гранул. Исходные данные для расчета материального баланса представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Исходные данные для расчета материального баланса

Стадия	Потери, %	
	Возвратные	Безвозвратные
Дробление	4,9	0,09
Агломерация	3,5	0,12
Гранулирование	4,1	0,3
Всего	12,5	0,51

Исходя из данных таблицы, можно рассчитать количество необходимого сырья для получения 1000 кг гранул.

1. Находится массовая доля потерь на стадии гранулирования по формуле 1:

$$M = \frac{m \cdot w}{100}, \quad (1)$$

где M - масса полиэтилена на конкретной стадии подготовки сырья, т;

w - процентная доля потерь, %;

m - масса сырья, т.

$$M_1 = \frac{1 \cdot (4,1 + 0,3)}{100} = 0,044, \text{ т.}$$

2. Находится массовая доля потери сырья на стадии агломерации по формуле 1:

$$M_2 = \frac{1 \cdot (3,5 + 0,12)}{100} = 0,0362, \text{ т.}$$

3. Рассчитывается массовая доля потери сырья на стадии дробления по формуле 1:

$$M_3 = \frac{1 \cdot (4,9 + 0,09)}{100} = 0,0499, \text{ т.}$$

4. Рассчитывается необходимое количество сырья для получения 1 т готового продукта на стадии гранулирования по формуле 2.

$$m_{\Gamma} = m + M_1, \quad (2)$$

где  $m_{\Gamma}$  – масса сырья, необходимая для получения 1т продукта на стадии гранулирования, т.

$$m_{\Gamma} = 1 + 0,044 = 1,044, \text{ т.}$$

5. Рассчитывается необходимое количество сырья для получения 1,044т полупродукта на стадии агломерирования по формуле 3, т.

$$m_a = m + M_2, \quad (3)$$

где  $m_a$  – масса сырья, необходимая для получения 1,048т полупродукта на стадии агломерирования, т.

$$m_a = m + M_2 = 1,044 + 0,0362 = 1,080, \text{ т.}$$

6. Рассчитывается необходимое количество сырья для получения 1,080 т полупродукта на стадии дробления по формуле 4, т.

$$m_d = m + M_3, \quad (4)$$

где  $m_d$  - масса сырья, необходимая для получения 1,088т полупродукта на стадии дробления, т.

$$m_d = m + M_3 = 1,080 + 0,0499 = 1,13, \text{ т.}$$

Рассчитано необходимое количество сырья для получения 1т готового продукта с учетом всех потерь на каждой стадии производства. Данные занесены в таблицу 9.



Таблица 9 – Результаты расчета материального баланса производства гранулы

Стадия	Потери, %		Масса потери, т	Приход, т, %	Расход, т, %
	Возвратные	Безвозвратные			
Дробление	4,9	0,09	0,0499	1,13 (113%)	1,080 (108%)
Агломерирование	3,5	0,12	0,0362	1,080 (108%)	1,044 (104,4%)
Гранулирование	4,1	0,3	0,044	1,044 (104,4%)	1 (100%)

На линии производства гранул из незагрязненного полиэтилена наблюдаются большие потери из-за ручного типа загрузки сырья.

## **2.2 Оптимизация технологии производства полимерпесчаных изделий из загрязненных отходов полиэтилена на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье»**

### **2.2.1 Физико-химические свойства и характеристики отходов загрязненного полиэтилена**

Физико-химические свойства отходов загрязненного полиэтилена идентичны свойствам полиэтилена, описанным в пункте 1.3.

Отходы загрязненного полиэтилена отбираются из ТКО. Загрязненным считается пленочный полиэтилен, поверхность которого загрязнена более чем на 10%.

Наименование и код отхода по Федеральному классификационному каталогу отходов представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Код отхода и наименование отхода по Федеральному классификационному каталогу отходов [33]

Код отхода	Наименование	Класс опасности
4 38 110 00 000	Отходы тары, упаковки и упаковочных материалов из полиэтилена загрязненные	IV

Точный состав отхода загрязненной полиэтиленовой пленки неизвестен. Показатели постоянно меняются и спрогнозировать их наиболее точно не представляется возможным. Именно поэтому возникают трудности в процессе переработки загрязненного полиэтилена во вторсырье. Из-за специфических свойств полиэтилена обеспечить удовлетворительную очистку очень сложно.

Состав отхода представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Состав отхода загрязненной полиэтиленовой пленки

Наименование компонента	Содержание, %
Полиэтилен	99
Бумага, картон	Неизвестно
Пищевые отходы	Неизвестно
Текстиль	Неизвестно
Резина	Неизвестно
Керамика	Неизвестно
Стекло	Неизвестно

Пленка под действием загрязнителей слипается и не промывается в полной мере даже растворами щелочей. Поэтому загрязненную полиэтиленовую пленку, как правило, не используют в качестве вторичного ресурса для производства новых упаковочных полиэтиленовых материалов.

### **2.2.2 Анализ возможных подходов и оптимизации технологического процесса**

На основе изученных патентов можно смоделировать наиболее подходящую технологическую линию производства полимерпесчаных изделий на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

На предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье» работает линия переработки отходов незагрязненного полиэтилена в гранулы, которую можно принять за основу, дополнить необходимым оборудованием и оптимизировать технологию производства. Схема, предлагаемой технологии производства полимерпесчаных изделий представлена на рисунке 8.

Производство полимерпесчаных изделий можно разделить на 5 последовательных этапов:

- дробление,
- агломерация,
- смешение,
- экструдирование,
- прессование.



Рисунок 8 – Блок-схема технологического процесса производства полимерпесчаных изделий

На первом этапе в загрузочный бункер измельчающего устройства (дробилки) загружаются отходы загрязненного полиэтилена, отобранного на сортировочной линии из ТКО. В корпусе дробилки полиэтилен поступает к роторным ножам по касательной к окружности вращения ножей и измельчается. После измельчения дробленка поступает на стадию агломерации.

Агломерация - это второй этап производства, при котором происходит частичное расплавление, резкое охлаждение и спекание полиэтилена.

В загрузочный бункер агломерата вручную загружается дробленое сырье весом около 10 кг. Внутри агломератора установлены роторные ножи, которые при движении образуют сильное трение, из-за которого измельченный загрязненный полиэтилен нагревается и подплавляется. Достаточное расплавление сырья определяется визуально рабочим и далее для охлаждения происходит подача воды в объеме 0,5л в емкость агломератора. Расплавленный полиэтилен резко охлаждается, затвердевает и вновь нарезается ножами. Процесс агломерирования по времени длится около 7 минут. Для отвода образующихся паров и газов над агломератором установлена вытяжка.

После стадии агломерации полиэтилен в виде агломерата с размером частиц меньше 1 см, поступает через загрузочный бункер в смеситель, где смешивается с песком речным, размером фракции 0,5-3,0 мм в процентном содержании: 70% - песок, 29% - полиэтилен, 1% - добавки. Смешение компонентов осуществляется за счет вращения расположенного в корпусе смесителя вала с лопатками, обеспечивающими зацепление и ворошение загруженных компонентов. Далее из смесителя через нижнее окно для выгрузки поступает на конвейерную ленту смесь песка и полиэтилена и отправляется на 4 производственный этап – экструдирование.

На 4 этапе сырье поступает с конвейера в приемный бункер нагревательно-плавительного агрегата (экструдера), оснащенного 3 зонами нагрева и вращающимся шнеком. Под действием температуры порядка 250°C и давления шнековых лопастей экструдера происходит расплавление агломерата из загрязненного полиэтилена и его перемешивание с песком и красителем. Полиэтилен покрывает каждую песчинку, образуя однородную смесь.

Загрязненный полиэтилен включает в себя различные примеси, такие как остатки пищи, древесина, бумага и полимеры, имеющие более высокую температуру плавления, чем у полиэтилена. Поэтому температура 250°C

обеспечивает выгорание и расплавление всех посторонних включений из загрязненного полиэтилена.

После стадии экструдирования готовый полимерпесчаный композит через выпускное отверстие экструдера поступает в смазанную парафином металлическую емкость и автоматически продвигается по конвейеру на участок формования.

На 5 этапе производства полимерпесчаных изделий композиционная смесь из емкости загружается в форму для прессования и под действием гидравлического пресса формуется в готовое изделие и охлаждается.

Далее полученная плитка отправляется на склад готовой продукции.

### **2.2.3 Выбор оборудования для оптимизации технологического процесса**

В технологическую линию производства полимерпесчаной плитки будут включены некоторые, из имеющихся на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье», агрегаты, такие как дробилка ИМП-2/18,5 и агломератор АПР-30.

#### **2.2.3.1 Устройство дробления отходов загрязненного полиэтилена**

Дробилка ИМП-2/18,5 мощностью 150 кг/ч предназначена для измельчения отходов полиэтилена. Внешний вид дробилки ИМП-2/18,5 представлен на рисунке 9.

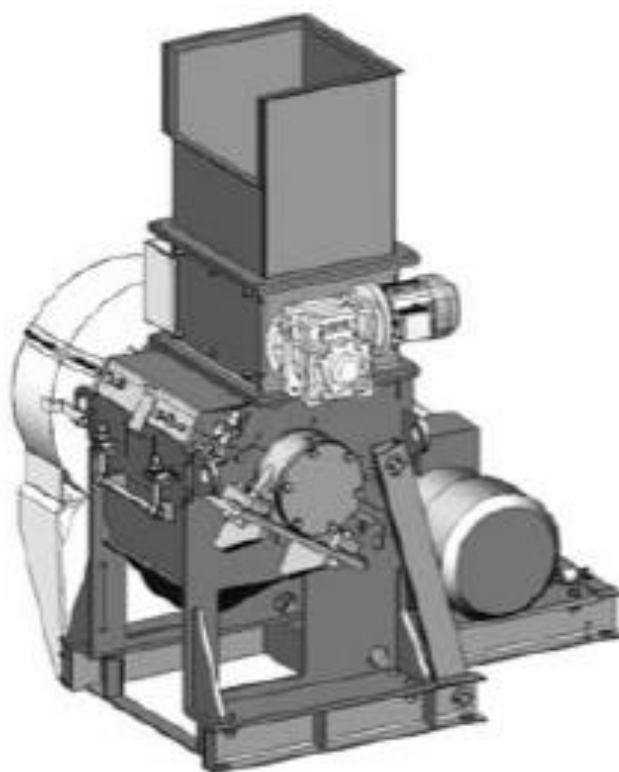


Рисунок 9 – Дробилка ИМП-2/18,5

Технические характеристики дробилки представлены в таблице 12.

Таблица 12 - Технические характеристики дробилки-измельчителя ИМП-2/18,5 [3]

Название		Значение
Производительность, кг/час		150
Мощность привода, кВт		18,5
Диаметр отверстий решета, мм		2-40
Размеры загрузочного отверстия	ширина, мм	305/470
	высота, мм	275/360
Габариты, мм		1700x1100x1600
Масса, кг		1400

Дробилка ИМП-2/18,5 состоит из следующих основных деталей и узлов.

- Ротор. Продольно резательное устройство с закрепленными ножами. Ротор закреплен в подшипниках, в корпусе дробилки.

- Корпус. Крепится на станине, которая крепится к полу.
- Загрузочный бункер для сырья. На корпусе дробилки установлен загрузочный бункер для сырья. При замене ножей бункер откидывается в заднее положение по направляющим.
- Электродвигатель. На самой станине в задней части от загрузочной горловины установлен электродвигатель, приводящий во вращение ротор с ножами, посредством клиноременной передачи.

Сырье загружается в дробилку вручную сверху через загрузочную горловину. Измельчаемое сырье поступает к ножам по касательной к окружности вращения ножей [9].

### 2.2.3.2 Агломератор

На ООО «ЭкоРесурсПоволжье» для переработки отходов загрязненного полиэтилена в агломерат используется агломератор АПР-30.

Характеристики агломератора АПР-30 представлены в таблице 13.

Таблица 13 - Характеристики АПР-30 [10]

Тип	Однороторный
Установленная мощность, кВт	30
Ножей роторных, шт	6
Тип роторных ножей	Прямоугольные
Ножей стационарных, шт	0/6
Объем корпуса, л	180
Тип корпуса	Съемный
Размеры, мм	1500x600x1600
Масса, не более, кг	600

Внешний вид агломератора АПР-30 представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Агломератор АПР-30

Конструкция агломератора включает в себя:

- рабочий корпус – стальная емкость шаровидной формы с загрузочным и выгрузочным окном,
- электродвигатель,
- ножи роторные,
- ремневая передача,
- пульт управления [1].

### **2.2.3.3 Смесительное устройство**

Дополнительно для производственного процесса изготовления полимерпесчаной плитки на базе предприятия ООО «ЭкоРесурсПоволжье» понадобится приобрести следующее оборудование: смеситель, экструдер, пресс.

Лидером по производству оборудования для изготовления полимерпесчаных изделий в России является компания ПОЛИМЕРСТРОЙ18



г. Ижевск. Завод выпускает все необходимое оборудование для технологического процесса.

Для производственной линии по изготовлению полимерпесчаной плитки подойдет смеситель универсальный с объемом бункера 1 м<sup>3</sup>. Внешний вид смесителя представлен на рисунке 11. Технические характеристики смесителя универсального с объемом бункера 1 м<sup>3</sup> представлены в таблице 14.



Рисунок 11 – Смеситель универсальный с объемом бункера 1 м<sup>3</sup>

Таблица 14 – Технические характеристики смесителя универсального с объемом бункера 1 м<sup>3</sup>

Характеристика		Значение
1. Габаритные размеры:	Длина	2054 мм
	Высота	1570 мм
	Ширина	960 мм
	Объем бункера	1 м <sup>3</sup>
	Масса	1000 кг
2. Принцип действия	шнековый привод	
3. Тип передачи	клиноременная	
4. Тип редуктора	1Ц2У-160-20-12У1	
5. Электродвигатель	5АМХ132S6 У3 IM 1081 IP54	
6. Время промеса	2 мин	
7. Тип управления	полуавтоматический	

Смеситель универсальный представляет собой сварную станину с закрепленным на ней бункером, предназначенным для загрузки сырья.

Процесс смешения компонентов внутри бункера осуществляется за счет вращения расположенного в бункере вала с лопатками, обеспечивающими зацепление и ворошение загруженных компонентов.

Вал с лопастями приводится в действие за счет электродвигателя, установленного в нижней части станины. Крутящий момент с двигателя передается на вал через редуктор. Электродвигатель соединен с входным валом редуктора клиноременной передачей, выходной вал редуктора соединяется с валом через муфту.

Загрузка и выгрузка сырья осуществляются вручную. Панель управления расположена на шкафу управления смесителя.

Смесители предназначены для предварительной подготовки композитной (полимерно-песчаной) массы перед загрузкой в плавильно-нагревательный агрегат (АПН). Конструкция смесителей разработана с учетом их применения для полимер-песчаной технологии, обеспечивает равномерный промес больших объемов смеси за короткий промежуток времени.

Загрузка компонентов в смеситель осуществляется способом:

- ручным,
- с использованием конвейера при автоматизированной подаче: Шнекового, Ленточного, Ковшового.

Выгрузка промешанного сырья происходит через окно в нижней части смесителя. Рычаг выгрузки может быть оборудован приводом, позволяющим использовать смеситель в автоматическом режиме в случае автоматизации производства. В стандартном исполнении смеситель работает в ручном и полуавтоматическом режиме [9].

#### **2.2.3.4 Агрегат плавильно-нагревательный**

Агрегат плавильно-нагревательный (АПН) или экструдер - это устройство подготовки формовочной массы, главными функциями которого

является нагрев, пластификация связующего ингредиента композитного состава, перемешивание и гомогенизация массы по всему объему. Для воспроизведения технологической линии производства полимерпесчаных изделий на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье» подойдет экструдер модели АПН-300.

Внешний вид АПН представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 – Внешний вид агрегата плавительно-нагревательного

Технические характеристики АПН-300 представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Технические характеристики АПН-300

Характеристика		Показатель
Мощность приводного двигателя, кВт		11
Установленная мощность агрегата, кВт		16,5
Фактически потребляемая мощность, кВт (при выходе на рабочий режим)		10,2
Количество зон нагрева		3
Диапазон регулировки температуры, °С		50-450
Тип привода	двигатель+клиноременная передача + редуктор	+
	мотор-редуктор	+
Частотная регулировка оборотов двигателя		+
Скорость вращения шнека, об/мин		6,5-13
Габариты, мм		3000 × 800 × 1300
Масса, кг		1100
Производительность, кг/час (усредненная)		350

Предварительно подготовленная – равномерно промешанная – смесь компонентов композита подается в разогретую рабочую камеру АПН через приемный бункер. Шнек, вращаясь, обеспечивает перемешивание сырья и его продвижение внутри рабочей камеры с прохождением через несколько зон нагрева.

На первой входном участке рабочей камеры осуществляется разогрев смеси и ее осушение (удаляется остаточная влага), на среднем – происходит пластификация полимеров, и, таким образом, получение однородной композитной массы, на последнем – обеспечивается поддержание температуры массы и, соответственно, ее консистенции, требующейся для последующей ее формовки.

Готовая масса продвигается шнеком к выпускному отверстию, расположенному в выходном фланце корпуса, где подается наружу (снимается) путем ручного или автоматического открытия шиберной заслонки.

Далее отмеряется заданная порция формовочной массы, которая подается в матрицу пресс-формы для формовки.

Особенности конструкции АПН-300 дают ему следующие преимущества:

- возможность работы с наполнителем в композите с влажностью до 10%, что исключает необходимость использования дополнительного оборудования, в частности, агрегатов для просушки песка,
- возможность работы с загрязненным сырьем, что не требует глубокой сортировки и очистки сырья на этапе его подготовки,
- конструктивные преимущества АПН-300,
- индивидуальная регулировка и автоматический контроль температурных установок на каждой зоне нагрева, прогрев всей поверхности рабочей камеры,
- частотная регулировка привода - плавный пуск привода и его защита от перегрузок,

- увеличенная износостойчивость вала и лопастей шнека,
- улучшенная термоизоляция рабочей камеры и, как результат, сниженное энергопотребление установки,
- большая, по сравнению с подобным оборудованием, производительность [9].

### **2.2.3.5 Пресс**

На участок формовки изделий из полимерпесчаного материала необходимо установить гидравлический пресс Д2430. Это прессы общепромышленного применения, конструкция и эксплуатационные преимущества которых проверены и доказаны десятками лет практики.

Прессы серии Д24 - это вертикальные двухстоечные прессы-полуавтоматы с верхней подвижной плитой, предназначенные для прямого прессования композитных изделий на основе термопластов.

Станина прессов рамная, выполнена из массивных металлических листов, полностью исключает перекосы конструкции во время хода плиты и при выдержке изделия под давлением.

Программа управления прессом предусматривает все параметры, необходимые именно для технологии производства полимер-песчаных изделий.

Подпрессовки и время выдержки под давлением контролируются автоматически. Имеется возможность независимой регулировки усилий пресса и выталкивателей.

Внешний вид гидравлического пресса Д2430 представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Внешний вид гидравлического пресса серии Д2430

Технические характеристики гидравлического пресса Д2430 представлены в таблице 16.

Таблица 16 - Технические характеристики гидравлического пресса Д2430

Характеристика	Показатель
Номинальное усилие пресса, кН	630
Номинальное усилие выталкивателя, кН	200
Наибольший ход ползуна, мм	320
Открытая высота пресса, мм	630
Размер стола, мм	500 × 500
Мощность двигателя насоса, кВт	4
Габариты, мм	1150 × 2100 × 3200
Масса, кг	2750
Режим работы пресса	Полуавтомат

Основным видом оснастки пресса в производстве полимер-песчаных изделий является пресс-форма, которая предназначена для придания требуемой формы композитной массе и ее охлаждения.

Внешний вид пресс-формы представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Внешний вид пресс-формы

На предприятии Полимерстрой18 пресс-формы изготавливаются из легированных конструкционных сталей. Они подвергаются обязательной термической обработке, что обеспечивает длительный срок эксплуатации формы и высокий ресурс по количеству формовок - в среднем до 8-ми лет эксплуатации и порядка 5 млн. формовок.

Для охлаждения композитной массы в процессе формования, в пресс-форме предусмотрена система каналов и штуцеров, через которые она подключается к системе циркуляции охлаждающей жидкости (стандартно - воды).

Охлаждение массы одновременно с формовкой - обязательное условие получения изделий с требуемыми прочностными характеристиками и эстетическими свойствами. При этом охлаждение должно происходить по всей массе изделия. Это обеспечивается благодаря тому, что каналы для

протока воды выполняются не прямоочными, а по всем плоскостям изделия с повторением его конфигурации [9].

### **2.2.3.6 Транспортер**

На технологической линии производства полимерпесчаной плитки необходима установка ленточного транспортера L-профиля для загрузки сырья в дробильный агрегат, для подачи сырья (через систему накопления и дозации) в смесительную установку, для подачи композитной массы в плавительно-нагревательный агрегат.

Внешний вид транспортера L-профиля представлен на рисунке 15.



Рисунок 15 - Внешний вид транспортера L-профиля

Ленты транспортера износостойкие резиноканевые толщиной 8-10 мм, гладкие, с антискользящим покрытием.

По согласованию транспортеры могут быть выполнены разной длины и угла наклона, укомплектованы дополнительными контроллерами, магнитными роликами, устройствами очистки ленты, устройствами аварийного отключения, устройствами регулировки скорости подачи [4].



Технические характеристики транспортера L-профиля представлены в таблице 17.

Таблица 17 - Технические характеристики транспортера L-профиля

Характеристика	Значение
Производительность, м <sup>3</sup> / час	5-30
Тип привода	Червячный
Мощность приводного двигателя, кВт	4
Скорость движения ленты, м/с	0,5-1,2
Ширина транспортерной ленты, мм	500
Длина и угол наклона	По согласованию

#### **2.2.4 Получение полимерпесчаного композита в лабораторных условиях**

Для сравнения свойств полимер-песчаного композита, полученного из загрязненного полиэтилена с полимер-песчаным композитом из незагрязненного полиэтилена, был проведен эксперимент по их получению в лабораторных условиях.

##### **2.2.4.1 Получение полимерпесчаного композита из незагрязненного полиэтилена в лабораторных условиях**

Для проведения опыта понадобилось следующее оборудование: алюминиевая тара объемом 1,5 л; термометр лабораторный с делениями до 500°С; плитка с температурой нагрева до 300°С; весы лабораторные с точностью измерения до 0,01 г; палочка деревянная для перемешивания композиции.

Сырьем для проведения опыта был агломерат из незагрязненного полиэтилена и песок.

Ход работы и наблюдения:

Для получения 100 г полимер-песчаного композита на весах лабораторных было отмерено 30,08 г агломерата из незагрязненного полиэтилена и 70,02 г песка. Далее песок был помещен в тару алюминиевую объемом 1,5 л и установлен на плитке под вытяжкой. Спустя 7 мин после начала нагрева температура песка составляла 240°С. Далее в алюминиевую

тару с песком был помещен агломерат из незагрязненного полиэтилена при постоянном помешивании. Через 3,5 мин после добавления агломерата из незагрязненного полиэтилена при постоянном помешивании, песок окрасился в черный цвет, что свидетельствует о начале плавления полиэтилена. Далее масса, смешиваясь с песком, образовала мягкие черные комочки. При интенсивном перемешивании и раздавливании, спустя 12 мин от начала плавления полиэтилена была получена однородная черная масса с консистенцией густого теста. Температура полученного однородного полимер-песчаного композита в конце эксперимента составляла 260°C. Масса была выложена на белый лист бумаги, придавлена до образования лепешки и оставлена для остывания.

Результатом исследования было получение гомогенного полимер-песчаного композита, твердого и однородного после остывания.

Внешний вид, полученного из незагрязненного агломерата, полимер-песчаного композита представлен на рисунке 16.



Рисунок 16 – Внешний вид полимер-песчаного композита, полученного из агломерата из незагрязненного полиэтилена

#### **2.2.4.2 Получение полимерпесчаного композита из загрязненного полиэтилена в лабораторных условиях**

Для проведения опыта понадобилось следующее оборудование: алюминиевая тара объемом 1,5 л; термометр лабораторный с делениями до 500°С; плитка с температурой нагрева до 300°С; весы лабораторные с точностью измерения до 0,01 г; палочка деревянная для перемешивания композиции.

Сырьем для проведения опыта был агломерат из загрязненного полиэтилена и песок.

Ход работы и наблюдения:

Для получения 100 г полимер-песчаного композита на весах лабораторных было взвешено 30,02 агломерата из загрязненного полиэтилена и 69,94 г песка. Далее песок был помещен в алюминиевую тару объемом 1,5 л и установлен на плитке под вытяжкой. Спустя 5,5 мин температура песка составила 245°С. Далее в алюминиевую тару с песком был помещен агломерат из загрязненного полиэтилена. При постоянном помешивании, песок окрасился в черный цвет в течение 2,5 минут, что свидетельствует о начале плавления полиэтилена. Через 4 минуты от начала плавления полиэтилена расплавились и смешались с основной массой все посторонние включения агломерата, за исключением металлического включения (рисунок 17).



Рисунок 17 – Металлическое включение из агломерата из загрязненного полиэтилена

Спустя 9 минут от начала плавления агломерата из загрязненного полиэтилена была получена однородная черная масса с консистенцией густого теста и температурой 255°C. Масса была выложена на белый лист бумаги, придавлена до образования лепешки и оставлена для остывания.

Результатом опыта было получение однородного полимер-песчаного композита. В процессе плавления масса не образовывала комочков, в отличие от незагрязненного полиэтилена, плавилась быстрее и более равномерно смешивалась с песком из-за более мелкого измельчения агломерата. Также сделан вывод о недопустимости наличия металлических включений в агломерате.

Внешний вид полимер-песчаного композита, полученного из агломерата из загрязненного полиэтилена представлен на рисунке 18.



Рисунок 18 – Внешний вид полимер-песчаного композита, полученного из агломерата из загрязненного полиэтилена

После остывания двух образцов было проведено визуальное сравнение полимер-песчаного композита, полученного из незагрязненного полиэтилена с полимер-песчаным композитом, полученным из загрязненного полиэтилена. На рисунке 19 представлены оба образца полимер-песчаного композита для визуального сравнения.



Рисунок 19 – Образцы полимер-песчаного композита для визуального сравнения (слева полимер-песчаный композит, полученный из незагрязненного полиэтилена, а справа полимер-песчаный композит, полученный из загрязненного полиэтилена)

В результате сделан вывод о том, что оба образца имеют однородную структуру и цвет. Единственным отличием является то, что полимер-песчаный композит, полученный из загрязненного полиэтилена имеет более неровный и крошащийся край.

#### **2.2.4.3 Получение полимерпесчаного композита из загрязненного полиэтилена с добавлением пластификатора дибутилфталата в лабораторных условиях**

Дибутилфталат - дибутиловый эфир фталевой кислоты. Химическая формула дибутилфталата представлена на рисунке 20.

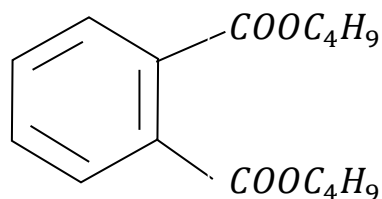


Рисунок 20 – Химическая формула дибутилфталата

Дибутилфталат применяется в качестве пластификатора при производстве изделий из пластиков и каучуков для улучшения показателей эластичности и упругости, а также предохраняет изделия от появления трещин и сколов [6].

Для проведения опыта понадобилось следующее оборудование: алюминиевая тара объемом 1,5 л; термометр лабораторный с делениями до 500°С; пипетка лабораторная стеклянная объемом 2 мл; плитка с температурой нагрева до 300°С; весы лабораторные с точностью измерения до 0,01 г; палочка деревянная для перемешивания композиции.

Сырьем для проведения опыта был агломерат из загрязненного полиэтилена и песок. А также была добавлена пластифицирующая добавка – дибутилфталат.

Ход опыта и наблюдения:

На весах лабораторных было взвешено 70,01 г песка и 29,91 г агломерата из загрязненного полиэтилена. Пипеткой лабораторной стеклянной было отмерено 1 мл дибутилфталата. Песок был помещен в тару алюминиевую и установлен на плитке нагревательной под вытяжкой. Через 6 мин от начала нагрева температура песка составляла 240°С. Далее в алюминиевую тару с разогретым песком, при интенсивном помешивании, был помещен агломерат из загрязненного полиэтилена и добавлен дибутилфталат. Спустя 1 мин и 10 сек агломерат начал плавиться и смешиваться с песком. Еще через 4 мин масса смешалась до однородного состояния, имела мягкую пластичную консистенцию. Масса температурой 260°С была выложена на белый лист бумаги для отвердевания.

Результат опыта:

В результате проведения опыта была получена полимерпесчаная композиция черного цвета однородной структуры.

Сравнительная характеристика полученных образцов полимерпесчаного композиционного материала (ПКМ) в лабораторных условиях представлена в таблице 18.

Таблица 18 - Сравнительная характеристика полученных образцов полимерпесчаного композита в лабораторных условиях

Характеристика полученного материала	Вид полученного полимерпесчаного композиционного материала		
	ПКМ, из агломерата из незагрязненного полиэтилена	ПКМ, из агломерата из загрязненного полиэтилена	ПКМ, из агломерата из загрязненного полиэтилена с добавлением пластификатора дибутилфталата
Время начала плавления, мин	3,5	2,5	1,16
Время достижения однородной смеси от начала плавления, мин	12	9	4
Температура полимерпесчаной массы в конце нагревания, °С	260	255	260

Исходя из данных таблицы можно сделать вывод, что пластифицирующая добавка дибутилфталат ускорила процесс расплавления агломерата из загрязненного полиэтилена при той же температуре.

## **2.2.5 Расчеты технологической линии производства полимерпесчаной тротуарной плитки из отходов загрязненного полиэтилена**

### **2.2.5.1 Экономические расчеты работы технологической линии по производству полимерпесчаной тротуарной плитки**

#### **2.2.5.1.1 Режим работы линии по производству полимерпесчаной тротуарной плитки**

Режим работы линии является отправным материалом для расчета производительности и материального баланса технологического процесса.

Режим работы устанавливается в соответствии с трудовым законодательством РФ по нормам технологического проектирования предприятий вяжущих веществ.



Режим работы цехов по производству тротуарной плитки принимают – круглосуточный. При круглосуточной работе расчетное количество рабочих суток в году принимают равным 365 суткам.

Расчетный годовой фонд времени работы технологического оборудования в часах, на основании которого рассчитывается производственная мощность предприятия в целом и отдельных линий установок, определяется по формуле 5:

$$B_p = C_p \cdot Ч \cdot K_n, \text{ час}, \quad (5)$$

где  $B_p$  - расчетный годовой фонд времени работы технологического оборудования в часах;

$C_p$  - расчетное количество рабочих суток в году;

$Ч$  - количество рабочих часов в сутки;

$K_n$  - среднегодовой коэффициент использования технологического оборудования.

Коэффициент использования технологического оборудования по календарному времени зависит от длительности их остановки на капитальные, средние и текущие механические ремонты. Обычно он принимается равным 0,9-0,92 [34].

Годовой фонд работы оборудования при круглогодичной двухсменной работе в часах составляет:

$$B_p = 365 \cdot 24 \cdot 0,91 = 7971,6 \text{ час.}$$

#### **2.2.5.1.2 Расчет производительности технологической линии по производству полимерпесчаных изделий**

За основу расчета берется производительность прессы гидравлического, так как он является завершающим инструментом в производстве плитки тротуарной.

Производительность гидравлического пресса в год рассчитывается по формуле:

$$G_{\text{год}} = G_{\text{час}} \cdot B_p. \quad (6)$$

Производительность одной пресс формы в час составляет 5,83 м<sup>2</sup>:

$$G_{\text{час}} = 5,83, \text{ м}^2$$

Таким образом, в год линия выдает 46474,4 м<sup>2</sup> готовой продукции [9]:

$$G_{\text{год}} = 5,83 \cdot 7971,6 = 46474,4, \text{ м}^2.$$

На 1 м<sup>2</sup> уходит 9 плит [23], исходя из этого производительность пресса в год, шт:

$$G_{\text{год}} = 46474,5 \cdot 9 = 418270,5, \text{ шт.}$$

В месяц:

$$G_{\text{мес}} = \frac{418270,5}{7971,6} \cdot 24 \cdot 30 = 37778,5, \text{ шт.}$$

В среднем вес одной тротуарной плитки составляет 2,5 кг [23], исходя из этого, находится производительность пресса в тоннах в год:

$$G_{\text{год}} = \frac{418270,5 \cdot 2,5}{1000} = 1045,7, \text{ т.}$$

Производительность пресса в сутки:

$$G_{\text{сут}} = \frac{1045,7}{7971,6} \cdot 24 = 3,15, \text{ т.}$$

### 2.2.5.1.3 Расчет себестоимости производимой полимерпесчаной тротуарной плитки

Для расчета себестоимости плитки необходимо рассчитать расход электроэнергии и расходы на заработную плату рабочих.

Для работы участка экструдирования и прессования достаточно двух человек - оператора АПН (20 000 руб.), подсобного рабочего (20 000 руб.). Фонд оплаты труда составляет 40 000 рублей в месяц за одну смену и 160 000 руб. из расчета 2-х смен.

Объем готовой продукции за месяц:

$$V_{\text{г.п.}} = 3,15 \cdot 30 = 94,5, \text{ т.}$$

Расходы по зарплате на 1 т готовой продукции составит:

$$F_{\text{о.т.}} = \frac{160000}{94,5} = 1693,1, \text{ руб.}$$

Потребление электроэнергии за смену:

1) Дробилка ИМП-2/18,5 производительностью 150 кг/ч, потребляет 18,5 кВт\ч. Для производства полимерпесчаной смеси в количестве 1 т необходимо 300 кг загрязненного полиэтилена. Для его приготовления дробилка проработает 2 часа и потребит энергии при этом 37 кВт.

2) Агломератор АПР-30 потребляет 30 кВт/ч и при загрузке 10,6 кг работает 422 сек (7 мин) [30]. Получается, что для переработки 300 кг загрязненного полиэтилена в агломерат потребуется 28 загрузок. При этом агломератор проработает 196 мин (3,2 часа) и потребит энергии на 96 кВт.

3) Смеситель - 5,5 кВт/час 1 промес – 2 мин. Перемешивает 500 кг за один промес. Для получения 1 т смеси агломерата из загрязненного

полиэтилена и песка понадобится 2 промеса. Смеситель проработает 4 мин, объем потребляемой энергии составит:

$$V_{п.э.} = \frac{5,5}{60} \cdot 4 = 0,37, \text{ кВт.}$$

4) АПН (экструдер) при работе круглосуточно потребляет 10,2 кВт/ч. Производительность его составляет 350 кг/ч. Исходя из этого при производстве 1 т полимерпесчаного композита экструдер проработает 2,9 ч и потребит 29,6 кВт.

5) Транспортер ленточный – 4 кВт/ч. Транспортер работает по времени столько же сколько и экструдер, то есть 2,9 ч, количество потребляемой электроэнергии составит 11,6 кВт.

6) Пресс гидравлический – 4 кВт/ч. При формовке изделия программа на прессах рассчитана на потребление электроэнергии в режиме подъема и опускания верхнего пуансона, при формовке электроэнергия не потребляется. Время хода ползуна равна 40 секунд.

Из 1 т полимерпесчаного материала, с учетом потерь при формовке, получается около 380 шт плитки. Исходя из этого, можно рассчитать время работы пресса:

$$t_{р.п.} = 380 \cdot 40 = 15200 \text{ сек} = 253 \text{ мин} = 4,2 \text{ ч.}$$

За 4,2 ч пресс гидравлический потребит электроэнергии на 16,8 кВт.

Итого объем потребляемой энергии оборудованием для производства 1 т продукции составит:

$$V_{п.э.} = 37 + 96 + 0,37 + 29,6 + 11,6 + 16,8 = 191,37, \text{ кВт.}$$

В сутки производится 3,15 т готовой продукции, исходя из этого, потребление электроэнергии в сутки составит:

$$V_{\text{п.э./сут}} = 191,37 \cdot 3,15 = 602,8, \text{ кВт.}$$

Освещение - 12 кВт/час. В сутки 288 кВт.

Итого в сутки электропотребление в сутки составит 890,8 кВт.

Тариф на электроэнергию в г. Тольятти на 2020 год: 4,17 руб/кВтч [28].

Стоимость потребляемой электроэнергии в сутки составит 3714,6 руб.

Также для расчета себестоимости полимерпесчаной тротуарной плитки необходимы данные о ценах на сырье.

Средняя рыночная стоимость песка составляет 1500 руб/т.

Агломерат загрязненный на ООО «ЭкоРесурсПоволжье» получают путем отбора из отходов ТКО.

В сутки производительность линии составляет 3,15 т готовой продукции, на которую будет затрачено:

$$1500 \cdot 3,15 = 4725, \text{ руб.}$$

Всего в сутки на 3,15 т готовой продукции, с учетом потребления электроэнергии и стоимости сырья, будет затрачено:

$$4725 + 3714,6 = 8439,6, \text{ руб.}$$

В месяц расход, с учетом выплаты заработной платы сотрудникам составит:

$$(8439,6 \cdot 30) + 160000 = 413189, \text{ руб.}$$

Производительность полимерпесчаной тротуарной плитки в месяц составляет 37778,5 шт. Исходя из этого, себестоимость одной полимерпесчаной плитки составляет:

$$\frac{413189}{37778,5} = 10,9, \text{ руб/шт.}$$

Средняя рыночная стоимость плитки составляет 58 руб/шт.

При 100% реализации выручка от продажи в месяц составит:

$$37778,5 \cdot 58 = 2191153, \text{ руб.}$$

Чистая прибыль от производства и продажи полимерпесчаной тротуарной плитки составит:

$$2191153 - 413189 = 1777963, \text{ руб.}$$

#### **2.2.5.1.4 Расчет срока окупаемости оборудования для производства полимерпесчаной тротуарной плитки**

Стоимость оборудования, необходимого для запуска производства представлена в таблице 19.

Таблица 19 - Стоимость оборудования, необходимого для запуска производства полимерпесчаной тротуарной плитки [9]

Оборудование	Стоимость, руб
Смеситель универсальный с объемом бункера 1 м <sup>3</sup>	213 500
АПН (экструдер)-300	567 000
Пресс гидравлический Д2430	947 280
Пресс форма	220000
Транспортер транспортера L-профиля	130000
Пуско-наладочные работы	50000
Итого	2127780

При начальных вложениях размером 2127780 руб., при условии 100% реализации, срок окупаемости составит около 2 месяцев.

### **2.2.5.2 Расчет материального баланса**

Для расчета материального баланса производства полимерпесчаной тротуарной плитки необходимо сначала рассчитать материальный баланс получения агломерата из отходов загрязненного полиэтилена.

#### **2.2.5.2.1 Расчет материального баланса получения агломерата из загрязненного полиэтилена для дальнейшего производства полимерпесчаной тротуарной плитки**

В пункте 2.1.3 был рассчитан материальный баланс производства гранул из незагрязненного полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье». На основании полученных данных можно рассчитать количество материала, необходимое для получения 1 т агломерата из отходов загрязненного полиэтилена.

1) Массовая доля потери сырья на стадии агломерации равняется 0,0362 (пункт 2.1.3).

2) Массовая доля потери сырья на стадии дробления равняется 0,0499 (пункт 2.1.3).

3) Исходя из этого, можно рассчитать необходимое количество сырья для получения 1 т агломерата на стадии агломерирования, по формуле 7:

$$m_a = m + M, \quad (7)$$

где  $m_a$  – масса сырья, необходимая для получения 1т продукта на стадии агломерирования, т.

$$m_a = 1 + 0,0362 = 1,0362.$$

4) Необходимое количество сырья для получения 1,04 т дробленки загрязненных отходов полиэтилена на стадии дробления, рассчитывается по формуле 8:

$$m_d = m + M, \quad (8)$$

где  $m_d$  – масса сырья, необходимая для получения 1 т продукта на стадии дробления, т.

$$m_d = 1,0362 + 0,0499 = 1,086.$$

Полученные данные представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Результаты расчета материального баланса получения агломерата из загрязненного полиэтилена для дальнейшего производства полимерпесчаной тротуарной плитки

Стадия	Потери, %		Масса потери, т	Приход, т, %	Расход, т, %
	Возвратные	Безвозвратные			
Дробление	4,9	0,09	0,0499	1,086 (108,6%)	1,0362 (103,62%)
Агломерирование	3,5	0,12	0,0362	1,0362 (103,62%)	1 (100%)

#### **2.2.5.2.2 Расчет материального баланса производства полимерпесчаной тротуарной плитки**

Исходные данные для расчета материального баланса производства полимерпесчаной тротуарной плитки взяты из справочников по проектированию производств изделий из пластмасс [5], справочных данных о типовых нормах потерь на предприятиях стройиндустрии [25, 32] а также на основании потерь при производстве гранул на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Исходные данные для расчета материального баланса представлены в таблице 21.



Таблица 21 – Исходные данные для расчета материального баланса

Стадия	Потери, %	
	Возвратные	Безвозвратные
Смешение	1,15	0,26
Экструдирование	0,04	0,012
Прессование	1	0,02
Складирование	1	0
Всего	3,19	0,292

Исходя из данных таблицы 21, можно рассчитать количество необходимого сырья для получения 1000 кг тротуарной полимерпесчаной плитки.

1) Находится массовая доля потерь на стадии складирования по формуле 1:

$$M^1 = \frac{1 \cdot 1}{100} = 0,01, \text{ т.}$$

2) Находится массовая доля потери сырья на стадии прессования по формуле 1.

$$M_2 = \frac{1 \cdot (1 + 0,02)}{100} = 0,0102, \text{ т.}$$

3) Рассчитывается массовая доля потери сырья на стадии экструдирования по формуле 1.

$$M_3 = \frac{1 \cdot (0,04 + 0,012)}{100} = 0,00052, \text{ т.}$$

4) Рассчитывается массовая доля потери сырья на стадии смешения по формуле 1.

$$M_4 = \frac{1 \cdot (1,15 + 0,26)}{100} = 0,014, \text{ т.}$$

5) Рассчитывается необходимое количество сырья для получения 1т готовой продукции на стадии складирования по формуле 9:

$$m_c = m + M_1, \quad (9)$$

где  $m_c$  – масса сырья, необходимая для получения 1т продукта на стадии складирования, т.

$$m_c = m + M_1 = 1 + 0,01 = 1,01, \text{ т.}$$

6) Рассчитывается необходимое количество сырья для получения 1,01 т плитки тротуарной полимерпесчаной на стадии прессования по формуле 10:

$$m_{\text{п}} = m + M_2, \quad (10)$$

где  $m_{\text{п}}$  – масса сырья, необходимая для получения 1,01 т плитки тротуарной полимерпесчаной на стадии прессования, т.

$$m_{\text{п}} = m_c + M_2 = 1,01 + 0,0102 = 1,0202, \text{ т.}$$

7) Рассчитывается необходимое количество сырья для получения 1,0202 т полимерпесчаного композиционного материала на стадии экструдирования по формуле 11, т.

$$m_э = m + M_3, \quad (11)$$

где  $m_э$  - масса сырья, необходимая для получения 1,0202 т полимерпесчаного композиционного материала на стадии экструдирования, т.

$$m_э = m_{\text{п}} + M_3 = 1,0202 + 0,00052 = 1,0207, \text{ т.}$$

8) Рассчитывается необходимое количество сырья для получения 1,0207 т полимерпесчаной смеси на стадии смешения по формуле 12, т.

$$m_{\text{см}} = m + M_4, \quad (12)$$

где  $m_{\text{см}}$  - масса сырья, необходимая для получения 1,0207 т полимерпесчаной смеси на стадии смешения, т.

$$m_{\text{см}} = m_{\text{э}} + M_4 = 1,0207 + 0,014 = 1,0347, \text{ т.}$$

Рассчитано необходимое количество сырья для получения 1 т готовой полимерпесчаной тротуарной плитки с учетом всех потерь на каждой стадии производства. Данные заносятся в таблицу 22.

Таблица 22 – Результаты расчета материального баланса производства полимерпесчаной тротуарной плитки

Стадия	Потери, %		Масса потери, т	Приход, т, %	Расход, т, %
	Возвратные	Безвозвратные			
Смешение	1,15	0,26	0,014	1,0347 (103,47%)	1,0207 (102,07%)
Экструдирование	0,04	0,012	0,00052	1,0207 (102,07%)	1,0202 (102,02%)
Прессование	1	0,02	0,0102	1,0202 (102,02)%	1,01 (101%)
Складирование	1	0	0,01	1,01 (101%)	1(100%)

Потери в смесителе обусловлены ручным методом загрузки сырья, а также смешением сыпучего продукта (песка) с образованием большого количества пылевидных частиц.

Минимизировать потери на стадии экструдирования удастся благодаря установке транспортера: смешанное сырье из смесителя напрямую по конвейерной ленте будет поступать в загрузочный бункер экструдера.

На стадии прессования необходимо увеличение количества материала, загружаемого в пресс-форму на 1% от массы готового изделия для

наилучшего заполнения формы и получения качественного продукта без внутренних пустот.

На стадии складирования 1% потерь оставляется на возможный брак продукции.

#### Выводы по разделу

Таким образом, в данном разделе была рассмотрена имеющаяся технологическая линия производства гранул из незагрязненных отходов полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье» и был рассчитан материальный баланс производственного процесса. На линии производства гранул из незагрязненного полиэтилена наблюдаются большие потери из-за ручного типа загрузки сырья. В связи с этим была предложена оптимизация технологического процесса производства полимерпесчаной тротуарной плитки на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

На основе изученных патентов была смоделирована наиболее подходящая технологическая линия производства полимерпесчаных изделий на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Следующим этапом в работе были произведены экономические расчеты предлагаемой технологической линии.

Заключительным этапом работы стал расчет материального баланса линии производства полимерпесчаной тротуарной плитки на 1 тонну продукции с учетом потерь на каждой технологической стадии. В результате данных полученных из расчетов известно, что для получения 1 т полимерпесчаной тротуарной плитки потребуется взять на 3,5% больше сырья по массе, так как на каждой стадии производства имеются технологические потери, которые являются трудноустраняемыми.

## 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. Изучены данные о патентах по технологии производства полимерпесчаных изделий, а также патенты по составу полимерпесчаного композита.

Вопрос об утилизации загрязненного полиэтилена на сегодняшний день стоит очень остро. В России только начинает набирать обороты индустрия переработки отходов и производства из них полезных вторичных материалов.

В данной работе был рассмотрен метод переработки отходов загрязненного полиэтилена, полученного из твердых коммунальных отходов, в полимерпесчаную тротуарную плитку. Эта технология не предусматривает глубокую очистку сырья, относительно проста и высококорентабельна.

Также была рассмотрена имеющаяся технологическая линия производства гранул из незагрязненных отходов полиэтилена на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье» и был рассчитан материальный баланс производственного процесса. На линии производства гранул из незагрязненного полиэтилена наблюдаются большие потери из-за ручного типа загрузки сырья. В связи с этим была предложена оптимизация технологического процесса производства полимерпесчаной тротуарной плитки на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

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

В технологическую линию производства полимерпесчаной плитки включены некоторые, из имеющихся на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье», агрегаты, такие как дробилка ИМП-2/18,5 и

агломератор АПР-30. Дополнительно для производственного процесса изготовления полимерпесчаной плитки на базе предприятия понадобится приобрести смеситель, экструдер, пресс, транспортер.

В результате была предложена и описана поэтапная схема получения полимерпесчаной тротуарной плитки, с описанием каждой стадии производства и работы агрегатов на базе предприятия ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Также в работе был применен экспериментальный метод исследования, а конкретно – была получена полимерпесчаная композиционная смесь в лабораторных условиях на базе кафедры «Химическая технология и ресурсосбережение» Тольяттинского государственного университета. Было проведено три эксперимента:

- получение полимерпесчаного композита из незагрязненного полиэтилена в лабораторных условиях,
- получение полимерпесчаного композита из загрязненного полиэтилена в лабораторных условиях,
- получение полимерпесчаного композита из загрязненного полиэтилена с добавлением пластификатора дибутилфталата в лабораторных условиях.

На основании полученных данных в ходе экспериментов сделан вывод о том, что пластифицирующая добавка дибутилфталат в лабораторных условиях ускорила процесс расплавления агломерата из загрязненного полиэтилена на 5 мин при той же температуре, а значит ее можно и нужно добавлять в полимерпесчаный композиционный материал для ускорения процесса пластификации и экономии электроэнергии.

Следующим этапом в работе были произведены экономические расчеты предлагаемой технологической линии. Годовой фонд работы оборудования при круглогодичной двухсменной работе в часах составляет 7971,6 час. Таким образом, в год линия выдает 46474,4м<sup>2</sup> готовой продукции.

Расчет себестоимости производимой полимерпесчаной тротуарной плитки показал, что ежемесячные расходы, с учетом выплаты заработной платы сотрудникам, составят 413189 руб., а производительность полимерпесчаной тротуарной плитки в месяц 37778,5 шт. Исходя из этого, себестоимость одной полимерпесчаной плитки составляет: 10,9 руб/шт.

При 100% реализации выручка от продажи в месяц составит 2191153 руб., при этом чистая прибыль будет равняться 1777963 руб.

Размер начальных вложений, необходимых для запуска производственной линии составляет 2127780 руб., при условии 100% реализации, срок окупаемости составит около 2 месяцев.

Заключительным этапом работы стал расчет материального баланса линии производства полимерпесчаной тротуарной плитки на 1 тонну продукции с учетом потерь на каждой технологической стадии. В результате данных полученных из расчетов известно, что для получения 1 т полимерпесчаной тротуарной плитки потребуется взять на 3,5% больше сырья по массе, так как на каждой стадии производства имеются технологические потери, которые являются трудноустраняемыми.

Потери в смесителе обусловлены ручным методом загрузки сырья, а также смешением сыпучего продукта (песка) с образованием большого количества пылевидных частиц.

Минимизировать потери на стадии экструдирования удастся благодаря установке транспортера: смешанное сырье из смесителя напрямую по конвейерной ленте будет поступать в загрузочный бункер экструдера.

На стадии прессования необходимо увеличение количества материала, загружаемого в пресс-форму на 1% от массы готового изделия для наилучшего заполнения формы и получения качественного продукта без внутренних пустот.

На стадии складирования 1% потерь оставляется на возможный брак.

Таким образом, все поставленные задачи исследования были выполнены и цель достигнута.

## Список используемой литературы и источников

1. Агломераторы: что это такое, назначение и виды [Электронный ресурс]: <https://oplenke.ru/aglomeratory-что-это-такое-naznachenie-i-vidy/> (дата обращения 18.02.20).
2. Бизнес-план производства тротуарной плитки [Электронный ресурс]: <https://www.beboss.ru/bplans/191-biznes-plan-proizvodstva-trotuarnoy-plitki/3-opisanie-rynka-sbyta> (дата обращения 22.02.20).
3. Дробилки-измельчители полимерных материалов [Электронный ресурс]: [http://www.niiasbest.ru/drobilki\\_izmelsiteli](http://www.niiasbest.ru/drobilki_izmelsiteli) (дата обращения 21.02.20).
4. Комплексы для выпуска композитных изделий [Электронный ресурс]: <https://docviewer.yandex.ru/view/687857759/?page...> (дата обращения 08.02.20).
5. Кудрявцева З. А., Ермолаева Е. В. Проектирование производств по переработке пластмасс методом экструзии: учебное пособие к выполнению курсового и дипломного проектов. Владимир: ВГУ, 2003. 96 с.
6. Лакеев С. Н., Майданова И. О., Ишалина О. В. Основы производства пластификаторов: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология», в соответствии с программой курса «Химия, технология и перспективы развития производства пластификаторов». Уфа: УГНТУ, 2015. 163 с.
7. Методические указания для проведения производственной практики на ООО «ЭкоРесурсПоволжье». Описание производственного процесса переработки полиэтиленовых пакетов на ООО «ЭкоРесурсПоволжье».
8. Методические указания для проведения производственной практики на ООО «ЭкоРесурсПоволжье». Участок сортировки ТКО.
9. Оборудование по переработке пластиковых отходов [Электронный ресурс]: <https://18ps.ru/> (дата обращения 13.02.20).



10. Однороторный и двухроторный агломераторы [Электронный ресурс]: <https://xn--80aaii3agndqcu.xn--p1ai/apr-30> (дата обращения 20.02.20).
11. 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.
12. Пакеты ПВД и ПНД: Отличия полиэтилена высокого и низкого давления [Электронный ресурс]: <https://www.tularack.ru/packopedia/pvd-i-pnd-pakety.html> (дата обращения 07.02.20).
13. Патент № 123810 РФ. Кровельно-строительная панель // Самонин Василий Анатольевич. (РФ).
14. Патент № 1719345 СССР. Способ изготовления строительных изделий // Файтельсон В. А., Табачник Л.Б. (СССР).
15. Патент № 1756300 СССР. Способ изготовления полимербетонных изделий // Суслов А.А., Берман М.А., Сапителько С.А., Гольденберг Л.Г. (СССР).
16. Патент № 2127232 РФ. Способ получения черепицы и черепица коньковая // Галынский Л.Д. (РФ).
17. Патент № 2165904 РФ. Способ изготовления строительных материалов и изделий // Курлянд С. К., Гуткин В. И., Слуцкий В. А. (РФ).
18. 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).
19. Патент № 2496637 РФ. Линия для производства кровельно-строительного материала и состав для изготовления кровельного листа // Самонин Василий Анатольевич. (РФ).
20. Патент № 66271 РФ. Технологическая линия по производству полимер-наполненных изделий // Минин Леонид Викторович. (РФ).

21. Патент № 94008420 РФ. Способ производства строительных изделий // Вакильев Ф. М., Вакильев Е. Ф., Качурин Э. В. (РФ).

22. Плитка тротуарная полимер-песчаная [Электронный ресурс]: <https://www.ikirov.ru/news/16429-chto-takoe-plitka-trotuarnaya-polimer-peschanaya> (дата обращения 08.02.20).

23. Полимерпесчаная плитка тротуарная, садовая, террасная и для эксплуатируемой кровли [Электронный ресурс]: <http://tetto.ru/polimerpeschanaya-plitka/> (дата обращения 06.03.20).

24. Полиэтилен высокого давления (ПВД) [Электронный ресурс]: <https://propolyethylene.ru/LDPE/> (дата обращения 03.02.20).

25. 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.

26. Специальный выпуск «Все о пленках» [Электронный ресурс]: <https://www.unipack.ru/> (дата обращения 28.12.19).

27. 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: 10.12.2019).

28. Тарифы на электроэнергию в 2020 году в Тольятти [Электронный ресурс]: <https://tarif-zkh.ru/tolyatti/tarify-elektroenergiyi-v-tolyatti/> (дата обращения: 09.03.20).

29. Технические условия на элементы строительные полимерпесчаные [Электронный ресурс]: <https://xn-----бкcbaeeywflm3c1andac1au8v.xn--p1ai/tekhnicheskie-usloviya-na-elementy-stroitelnye-polimerno-peschanye-tu> (дата обращения: 11.02.20).

30. Технические условия ООО «Повтор». Участок переработки полиэтиленовых пакетов.

31. Технология производства полимерпесчаной продукции [Электронный ресурс]: <https://www.stroyportal.ru/articles/article-tehnologiya-proizvodstva-polimerpeschanoy-produkts-7284/> (дата обращения 20.12.19).

32. Типовые нормы трудноустраняемых потерь на предприятиях стройиндустрии [Электронный ресурс]: [http://www.rucem.ru/tehnology/poteri\\_pr.php](http://www.rucem.ru/tehnology/poteri_pr.php) (дата обращения 18.03.20).

33. Федеральный классификационный каталог отходов [Электронный ресурс]: <http://kod-fkko.ru/> (дата обращения: 19.12.2019).

34. Чувагин Н. Ф. Проектирование участков и цехов для производства пластмассовых изделий: Методические указания для бакалавров, обучающихся по направлению 15.03.01 «Машиностроение» по профилю «Производство изделий из пластмасс». Нижний Новгород: НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2016. 31 с.

35. Fomin A. A., Saldaev V. A., Prosvirnikov D. B. Plant for production of wood polymeric paving slabs. (2019). Institute of Engineering and Automobile Transport, Vladimir State University, Vladimir, Russia; Institute of electric power and electronics, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

36. Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., Kopec, M. Degradation of Polyethylene and Biocomponent-Derived Polymer Materials // Journal of Polymers and the Environment volume 27. 2019. pp. 600-611.

37. Patent No. 4434252 Germany. A device for processing mixed plastic waste // Fabien Michel, Alain Scharreir (Germany).

38. Slietsova I., Savchenko B., Sova N., Slietsov A.. Polymer sand composites based on the mixed and heavily contaminated thermoplastic waste. (2016). Department of Polymer and Chemical Fibre Technology, Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, Ukraine.

39. White J. L., Choi D. D. Polyethylene, polypropylene and other polyolefins. Translation from English lang edited by prof. E.S. Tsobkallo. St. Petersburg: Profession, 2006. 256 p.