

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)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль))

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему: Оптимизация состава и технологии получения полимерного компонента как сырья для производства полимер-песчаной продукции

Обучающийся

А.В. Харитонова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.В. Кравцова

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

Тольятти 2023

## Аннотация

Производство полимер-песчаной продукции из отходов загрязненного полиэтилена на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье» является объектом исследования.

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

В теоретической части были рассмотрены разнообразные патенты и статьи по теме данной работы.

Описана технология получения агломерата из незагрязненного полиэтилена на предприятии «ЭкоРесурсПоволжье».

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

Проведено экспериментальное получение полимер-песчаного изделия в лабораторных условиях.

Рассмотрены стадии получения полимер-песчаного изделия и предложено необходимое оборудование для производства на предприятии «ЭкоРесурсПоволжье».

Проведены материальные балансы для производства агломерата из полиэтилена и для производства полимер-песчаной плитки. Проведен экономический расчет всего производства.

Выпускная квалификационная работа состоит из 69 страниц, 23 рисунков, 12 таблиц, использовано 30 источников.

## **Abstract**

The production of polymer-sand products from contaminated polyethylene waste on the basis of EcoResourcePovolzhye LLC is the object of study.

The purpose of the bachelor's work is: to reduce the flow of contaminated polyethylene waste to the landfill by using them as secondary raw materials in the production of polymer-sand products.

In the theoretical part, various patents and articles on the topic of this work were considered.

The technology for obtaining agglomerate from uncontaminated polyethylene at the EcoResourcePovolzhye enterprise is described.

A search for technical solutions was carried out and a variant of optimizing the process of production of polymer-sand products from contaminated polyethylene waste on the basis of EcoResourcePovolzhye LLC was proposed.

An experimental production of a polymer-sand product in laboratory conditions was carried out.

The stages of obtaining a polymer-sand product are considered and the necessary equipment for production at the EcoResourcePovolzhye enterprise is proposed.

Conducted material balances for the production of polyethylene agglomerate and for the production of polymer-sand tiles. An economic calculation of the entire production was carried out.

The final qualifying work consists of 69 pages, 23 figures, 12 tables, 30 sources are used.

## Содержание

Введение.....	6
1 Литературный и патентный обзор.....	7
1.1 Анализ сведений о ПЭТ и его механическая переработка .....	7
1.1.1 Анализ сведений о ПЭТ .....	7
1.1.2 Механический способ переработки ПЭТ в ПЭТ-флекс на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».....	8
1.2 Анализ сведений о переработке полиэтилена в агломерат, свойства и применение .....	12
1.2.1 Анализ сведений о полиэтилене и агломерате .....	12
1.2.2 Свойства и применение полиэтилена и агломерата .....	14
1.3 Технология переработки полиэтилена в агломерат на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».....	17
1.4 Анализ производства полимер-песчаной продукции.....	18
1.5 Патентный обзор .....	19
2 Экспериментальная часть по получению полимер-песчаной смеси в лабораторных условиях .....	28
2.1 Получение образцов полимер-песчаного композиционного материала в лабораторных условиях.....	28
2.1.1 Получение опытного образца полимер-песчаного изделия без использования дополнительного компонента.....	28
2.1.2 Получение опытного образца с использованием дополнительного компонента (дибутилфталат 5%).....	30
2.1.3 Получение опытного образца с использованием дополнительного компонента (дибутилфталат 1%).....	31
2.1.4 Получение опытного образца с использованием дополнительного компонента (пластификатор Ю.Н. Орлова 5%) .....	32
2.1.5 Получение опытного образца с использованием дополнительного компонента (пластификатор Ю.Н. Орлова 1%) .....	33

2.1.6 Сравнение полученных образцов.....	34
2.2 Расчет материального баланса полимер-песчаной тротуарной плитки без использования дополнительного компонента - дибутилфталата .	35
2.3. Расчет материального баланса полимер-песчаной тротуарной плитки с использованием дополнительного компонента – дибутилфталата .	41
3 Оптимизация состава и производства полимер-песчаных изделий ...	50
3.1 Оптимизация состава с помощью определенной добавки – дибутилфталат .....	50
3.2 Оптимизация оборудования для производства полимер-песчаной продукции .....	51
3.3 Экономические расчеты технологической линии .....	59
3.3.1 Режим работы линии по производству полимер-песчаной тротуарной плитки .....	59
3.3.2 Расчет производительности технологической линии .....	60
3.3.3 Расчет себестоимости технологической линии .....	61
3.2 Расчет срока окупаемости оборудования для производства полимер-песчаной тротуарной плитки .....	65
Заключение .....	66
Список используемой литературы и используемых источников .....	67

## Введение

Бакалаврская работа посвящена проблеме утилизации отходов производства ПЭТ-флекса с помощью механической переработки, которые могут быть использованы для изготовления полимер-песчаной продукции.

Актуальность работы обусловлена тем, что с ростом населения трудно регулировать огромную массу остаточных материалов, образующихся в результате огромной промышленной деятельности. По данной причине переработка отходов доступными методами стала актуальной темой для исследования. Механическая переработка лучше всего подходит для термопластичных материалов, то есть для полимерной матрицы, которая может быть переработана и переплавлена в различные формы продуктов с помощью любого из методов смешивания в расплаве (например, литье под давлением и экструзия). Но при механической переработке ПЭТ-флексы есть отходы от этикеток и крышек, которые не имеют такого же качества как ПЭТ-флекса и может быть использована для производства разнообразных полимерных смесей совместно с сыпучими материалами и неорганическими красителями.

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

В соответствии с намеченной целью были поставлены следующие задачи:

- проанализировать существующие технологии в области производства полимер-песчаных изделий из отходов полиэтилена;
- оптимизировать технологию производства полимер-песчаных изделий их загрязненных отходов полиэтилена на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

# 1 Литературный и патентный обзор

## 1.1 Анализ сведений о ПЭТ и его механическая переработка

### 1.1.1 Анализ сведений о ПЭТ

«Процесс получения ПЭТ включает две стадии: переэтерификацию ДМТ (рисунок 1) или этерификацию ТФК с образованием дигликолевого эфира терефталевой кислоты (ДГТ) (рисунок 2) и линейную гомополиконденсацию дигликолевого эфира терефталевой кислоты (рисунок 3)» [7], [30].

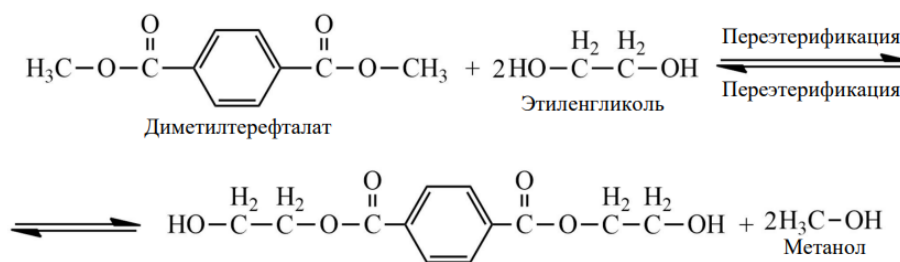


Рисунок 1 – Схема реакции переэтерификации для получения дигликолевого эфира терефталевой кислоты (ДГТ)

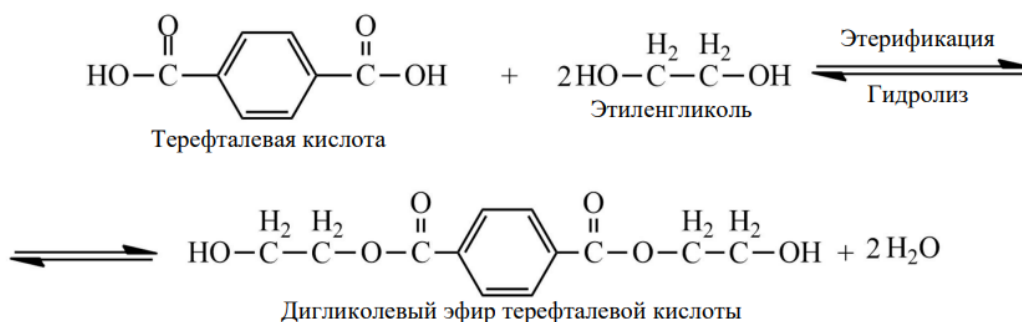


Рисунок 2 – Схема реакции этерификацию терефталевой кислоты с образованием дигликолевого эфира терефталевой кислоты

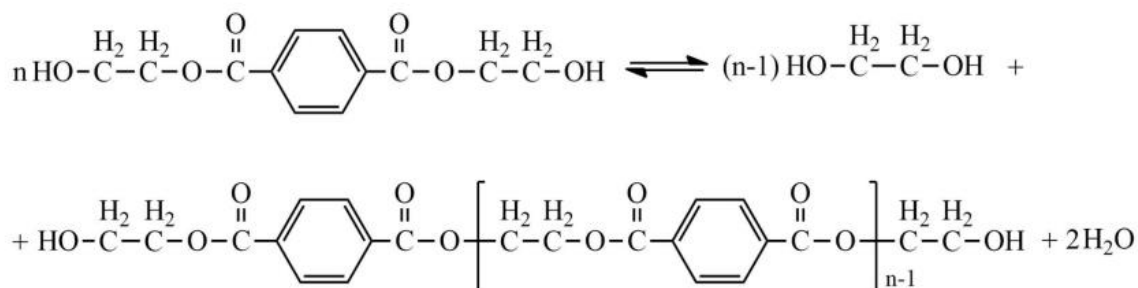


Рисунок 3 – Схема реакции линейной гомополиконденсации дигликолевого эфира терефталевой кислоты

«При достижении регулярности строения полимерной цепи повышается способность к кристаллизации, в значительной степени определяющая механические свойства. Фениленовая группа в основной цепи придает жесткость скелету и повышает температуру стеклования и температуру плавления. Химическая стойкость полиэтилентерефталата близка к стойкости полиамидов, при этом ПЭТ проявляет очень хорошие барьерные свойства, а также может существовать в аморфном или кристаллическом состояниях, кристалличность же определяется термической предысторией материала. Если охладить полиэтилентерефталат быстро, он будет аморфен и прозрачен, если же медленно – кристалличен (до 50%)» [26, 29].

### 1.1.2 Механический способ переработки ПЭТ в ПЭТ-флекс на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

Перед изготовлением новых ПЭТ-продуктов из вторсырья, производится переработка ПЭТ в ПЭТ-флекс. При повторном преобразовании этого материала, его качества практически не меняются, он легко поддается переработке и может использоваться в производстве неограниченное число раз. Такой метод переработки пластмасс экономит нефть, потому что в первичном производстве пластмассы используется этот ресурс. Далее на рисунке 4 представлена линия производства ПЭТ-флекс на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье».



## Линия переработки ПЭТ ООО "ЭкоРесурсПоволжье"

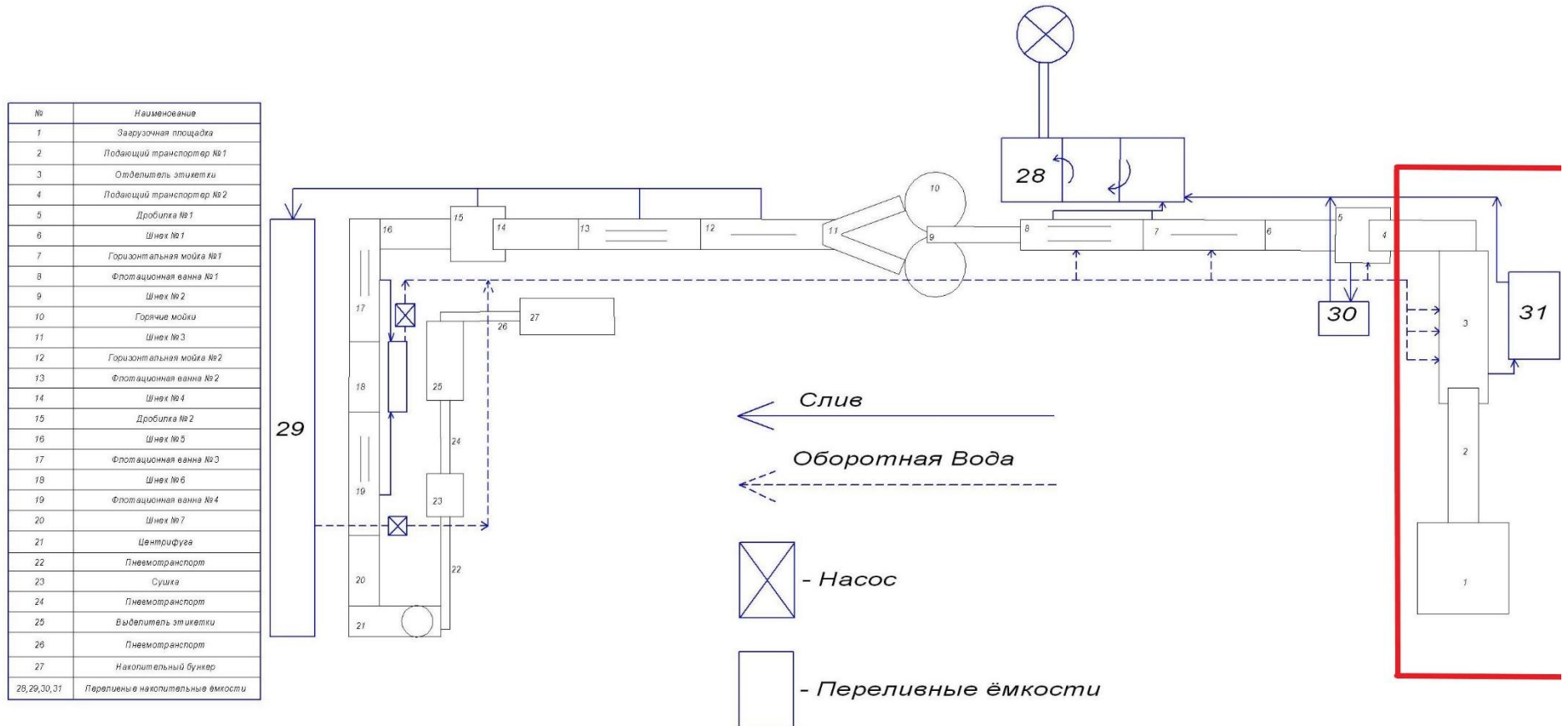


Рисунок 4 – Схема линии переработки ПЭТ на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

ПЭТ—хлопья (флексы) получают в результате вторичной переработки полиэтилентерефталата механическим способом. Требования к флексам формируются в зависимости от производимого из них продукта – волокна, пленки или преформ. Материал обладает хорошей прозрачностью, высокой прочностью и пластичностью [12], [28].

Описание производственного процесса переработки ПЭТФ бутылок на ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Количество технологических стадий (7 стадий): сортировка, прессование, дробление, мойка, флотация, сушка, фасовка.

ПЭТ-бутылки на предприятии поступают вместе с ТКО и выгружаются из мусоровозов на бетонированную площадку, где расположены три конвейера, углубленных в центре. Здесь проводится сортировка сырья на три линии, в ходе которых ПЭТ-бутылки, годные к дальнейшей переработке, отбираются вручную.

Далее отобранные бутылки помещают в приемные ячейки, находящиеся на каждом рабочем месте. После этого бутылки сортируют по цвету, разделяя их на светлые (прозрачные и голубые) и темные (зеленые и коричневые). Если необходимо, возможна дополнительная сортировка по каждому цвету. Во время процесса сортировки не бывает отбора для:

- белых бутылок из-под кефира, так как они загрязняют фильеры при производстве полиэфирного волокна;
- бутылок из-под масла, так как они загрязняют оборудование маслом.

Затем все выбранные бутылки проходят через пресс, который превращает их в тюки весом до 150 кг. После этого сырье отправляется на линию мойки и дробления в виде тюков, закрепленных проволокой.

С помощью болтореза отрезают проволоку, после чего тюк раскалывают лопатой и равномерно распределяют ПЭТФ-бутылки по ленточному конвейеру, который загружает их в дробилку. Бутылка измельчается на частицы размером 4-6 см, которые направляются по шнековому конвейеру в

горизонтальную мойку, где флекс тщательно промывается от загрязнений, связанных в основном с пылью, песком и другими подобными веществами.

После процесса очистки от физических загрязнителей будущее вторсырье отправляется во флотационную двухнековую мойку, где благодаря разным плотностям ПЭТ-хлопьев и, находящихся неизмельченных ПЭТ-бутылках на них до дробления, крышки и этикетки разделяются, а, именно, флекс оседает на дно, а так называемая пробкосодержащая смесь, или, иначе, ПСС, всплывает, имея удельную плотность меньше, чем у воды, находящейся в процессе. ПСС из флотационной ванны собирают вручную с помощью специального дуршлага с поверхности воды и перемещают в Биг-Бэг.

Следующим этапом обработки ПЭТ-флекса является мойка при высокой температуре с использованием едкого натра для отделения клея, оставшейся этикетки и других разнообразных загрязнителей и дальнейшего обеззараживания. Потом флекс проходит еще одну многостадийную мойку, включающую в себя: горизонтальную мойку и три ванны с процессом флотации. Такая мойка необходима для избавления от до этого прореагировавшего с клеем и загрязнениями едкого натра и извлечения попавших металлов. После этого этапа хлопья отправляются в очередную дробилку, где измельчаются до фракции 0,4-1,4 см и погружаются в центрифугу для избавления от воды после моек и снизить ее содержание до максимум 4%. В последующем хлопья поступают в сушильный шкаф, где они сушатся разогретым воздухом и после упаковываются в Биг-Бэг. Процесс получения ПЭТ-флекса представлен в Методических указаниях для проведения производственной практики на ООО «ЭкоРесурсПоволжье» [6].

## 1.2 Анализ сведений о переработке полиэтилена в агломерат, свойства и применение

### 1.2.1 Анализ сведений о полиэтилене и агломерате

Одним из самых распространенных полимерных материалов является полиэтилен (ПЭ, PE). Он производится в масштабных количествах и известен практически всем людям, а само понятие в быту является синонимом пластмассы. Полиэтилен является простейшим из полиолефинов. Этот полимер имеет множество разновидностей полиэтилен низкого и высокого давления. Формула полиэтилена изображена на рисунке 5.

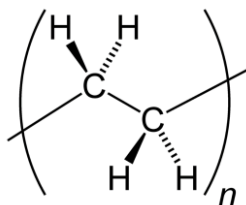


Рисунок 5 – Структурная формула полиэтилена

Полиэтилен является синтетическим полимером, его получение происходит методом полимеризации этилена по свободно-радикальному механизму. Реакция полимеризации этилена представлена на рисунке 6.

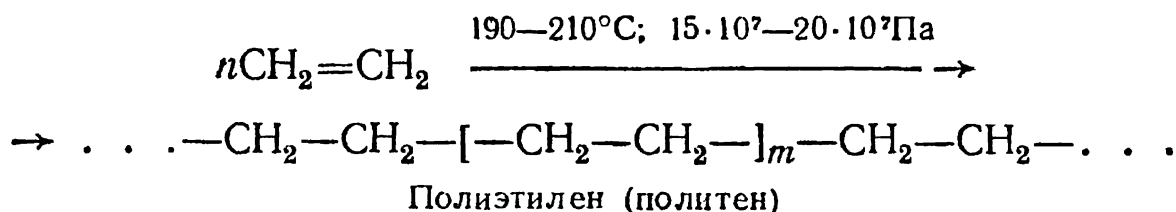


Рисунок 6 – Реакция полимеризации этилена

Этилен, полимеризующийся при высоком давлении, производится двумя методами с помощью образования полимера в массе или в суспензии.

Самым распространенным способом является образование полимера в массе, основные этапы которого представлены далее:

- этилен очищают от примесей;
- в очищенное сырье вводят кислород, выступающий в качестве катализатора (инициатора реакции). При этом концентрация кислорода зависит от температуры и давления в процессе реакции;
- вещество сжимают до давления, необходимого для полимеризации;
- производят процесс полимеризации, отделение полимера.

Этилен подвергается полимеризации в реакторах, способствующих последовательному нагреванию и охлаждению химических соединений, при этом образование полимера происходит в циклическом порядке. В каждом цикле около 15% этилена подвергается полимеризации, что в итоге приводит к полимеризации до 98% вещества. Кроме того, на этапе сжатия этилена вводится кислород, что увеличивает риск преждевременной полимеризации. Однако использование специальных химических реагентов, таких как ингибиторы полимеризации, позволяет успешно избежать этого риска.

Кроме того, ингибиторы позволяют:

- предотвратить нежелательную полимеризацию мономера при его хранении и транспортировке;
- регулировать скорость полимеризации и предотвращать «взрывы» в процессе реакции.

«Крупнотоннажный синтез ПЭВД и ПЭНД производится практически всеми ведущими мировыми нефтяными и газовыми концернами. В России полиэтилен производится на нефтехимических заводах «Роснефти», «Лукойла», «Газпрома», СИБУРа, на «Казаньоргсинтезе» и «Нижнекамскнефтехиме». В странах бывшего СССР полимер выпускают в Белоруссии, Узбекистане, Азербайджане. Серийные марки полиэтилена выпускают в виде гранул размером 2-5 мм, однако существуют и марки в виде

порошка, например, так выпускают в продажу сверхвысоко молекулярный полиэтилен (СВМПЭ)» [21], [27].

Продуктом вторичной переработки ПВД, ПНД, ПП является агломерат, имеющий форму неоднородных сферических частиц полиэтилена неправильной формы от 2 мм до 15 мм.

Для получения таких частиц применяют специальное оборудование – агломератор, состоящий из металлической бочки и вращающегося на дне бочки ножа. Сам процесс агломерации происходит следующим образом: материал загружают в бочку, нож на дне бочки рубит пленку и одновременно с этим разогревает ее из-за чего начинается процесс плавления. В этот момент плавления оператор вплескивает воду на пленку, в результате термического шока происходит образование агломерата. Далее агломерат выгружается из нижней части бочки.

Но такой способ получения приводит к тому, что полученный агломерат нестабилен по качеству, так как многое зависит от оператора и того в какой момент он ввел в процесс воду. Из-за этого агломерат чаще всего неоднороден.

«Любые включения, которые могли быть в материале, переходят в агломерат, поскольку какая-либо фильтрация здесь отсутствует. Кроме этого, чрезмерная рубка материала иногда способствует его деградации, сшивке. Простыми словами сшивка — это когда вы разрубили молекулу полиэтилена, образовались два активных конца, радикала, которые замкнулись на соседние молекулы, таким образом, образовали между ними связки, это не есть хорошо» [13], [21].

### **1.2.2 Свойства и применение полиэтилена и агломерата**

Свойства и применение полиэтилена зависит от условий, при которых проходила реакция полимеризации. Таким образом основными видами полиэтилена являются полиэтилен высокого давления (ПЭВД, LDPE) и полиэтилен низкого давления (ПЭНД, HDPE).

Синтез полиэтилена при повышенном давлении приводит к получению ПЭВД (LDPE), или полиэтилен высокого давления, и происходит либо

трубчатом реакторе, либо при окислении кислородом, пероксидом или их комплекса в автоклаве. На начальной стадии этилен соединяют с нужным для синтеза реагентом и воздействуют давлением в 25 МПа и повышают температуру смеси до 70°C, следующая стадия осуществляется в более жесточенных условиях, при которых температуры смеси повышают до 300°C и воздействие давления повышается до 250 МПа. Время пребывания смеси в реакторе составляет от 1,1 до 1,8 минут, за которое образуется примерно 18-20% полиэтилена, далее его охлаждают и отправляют на процесс грануляции. Этилен, не вступивший в реакцию, отправляется на рециклинг.

«Свойства ПЭВД:

- молекулярная масса ПЭВД колеблется от 30 000 до 400 000 атомных единиц;
- ПТР в зависимости от марки варьируется от 0,2 до 20 г/10 минут;
- степень кристалличности ПВД примерно составляет 60%;
- температура стеклования равна минус 4 °С;
- температура плавления марок материала от 105 до 115 °С;
- плотность около 930 кг/м<sup>3</sup>;
- технологическая усадка при переработке от 1,5 до 2%;
- основное свойство структуры полиэтилена высокого давления – разветвленное строение. Отсюда проистекает его низкая плотность, обусловленная рыхлой аморфно-кристаллической структурой материала на молекулярном уровне» [19], [27].

При синтезе с давлением 3,4-5,3 МПа, то есть пониженном давлении, получают полиэтилен низкого давления (ПЭНД). Производство делится на три основных вида: суспензионный, растворный, газофазный. В отличие от производства ПЭВД получение ПЭНД проходит в виде раствора этилена с гексаном, его нагревают до 160-250 °С и подвергают давлению в течении 10-15 минут, как только растворитель (гексан) выпаривается извлекают готовый полиэтилен. Полученный гранулят подвергают пропарке при температуре,

превышающей температуру плавления для избавления от низкомолекулярного гранулята и остатков растворителя.

«Свойства ПЭНД:

- молекулярная масса ПЭНД колеблется от 50 000 до 1 000 000 атомных единиц;
- ПТР в зависимости от марки варьируется от 0,1 до 20 г/10 минут;
- степень кристалличности ПНД составляет от 70 до 90%;
- температура стеклования равна 120 °С;
- температура плавления марок материала от 130 до 140 °С;
- плотность около 950 кг/м<sup>3</sup>;
- технологическая усадка при переработке от 1,5 до 2,0%» [19].

Полиэтилен применяется во многих сферах жизни, он не опасен для здоровья так как не имеет опасных выделений, при всех его положительных качествах пожароопасен и поддерживает горение, а также полиэтилен без применения в получении определенных добавок достаточно неустойчив, например, полиэтилен не стоек к солнечной радиации и УФ-излучению из-за чего подвергается фоторазложению.

«В случае переработки полиэтилена методом экструзии получают пленку, применяющуюся на каждом шагу как в чистом виде, так и в виде пакетов в упаковке, фасовке, сельском хозяйстве; ПЭ трубы для водоснабжения и газа; оболочки кабелей; листы; вспененные профили и т.д. Литьем полиэтилена под давлением производят многочисленные упаковочные изделия, например, крышки и пробки, баночки. Также литьем производят медицинские изделия, хозяйственные товары бытового назначения, канцтовары, игрушки. Полиэтилен можно переработать экструзионно-выдувным и инжекционно-выдувным формованием, ротоформованием, каландрованием, а также пневмо- или вакуумформованием из листов. Более редкие, специализированные типы полиэтилена, например сшитый, хлорсульфированный, сверхвысокомолекулярный используют во многих отраслях, но больше всего в строительстве. Например,



сверхвысокомолекулярный ПЭ входит в состав композиций для выпуска оболочек оптоволоконного кабеля. Армированный полиэтилен, в отличие от чистого полимера, может являться конструкционным материалом. Изделия из ПЭ хорошо поддаются сварке любыми методами: термоконтakтным, газовым, с применением присадочного прутка, трением и т.п.» [21].

По своим свойствам наиболее подходящий для получения полимер-песчаных изделий агломерат из полиэтилена высокого давления. ПЭВД имеет высокую прочность на растяжение и изгиб, устойчив к воздействию химических веществ, не подвержен образованию трещин и разрушению.

### **1.3 Технология переработки полиэтилена в агломерат на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье»**

В пункте 1.1.2 при описании получения ПЭТ-флексy на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье» после дробления ПЭТ-бутылок происходит процесс отделения этикетки. На этикеткоотделителе при подаче воды с помощью вращательных ножей отделяется этикетка, а после выдувается в специальный шкаф для этикеток. Грязная вода после этикеткоотделителя уходит в отстойник, а чистая вода уходит в канализацию, фильтрат удаляется.

После специального шкафа этикетка отправляется в дробилку вместе с полиэтиленовой пленкой в отношении 1:9. Смесь из этикетки и полиэтиленовой пленки загружается в агломератор, который изображен на рисунке 7.

«Процесс агломерации происходит следующим образом: смесь дробится до определенной консистенции, нагреваясь за счет ножей. Далее на разогретую смесь импульсно подается вода в объеме двух-трех ковшей. При охлаждении водой смесь превращается в многочисленные хлопья. Полученный агломерат переносится на транспортирующий люк, из которого он выходит, а потом переносится в Биг-Бэги.

Полученный агломерат идет на производство полимер-песчаной продукции.

Для получения полимер-песчаной продукции намного чаще используется нечистый, загрязненный агломерат, из чистого же производят гранулы, используемые в будущем для вторичного производства» [5], [6].

#### 1.4 Анализ производства полимер-песчаной продукции

Производство полимер-песчаной продукции на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье» на данный момент времени не осуществляется.

Технология получения полимер-песчаного изделия осуществляется следующим образом изображенным на рисунке 7.

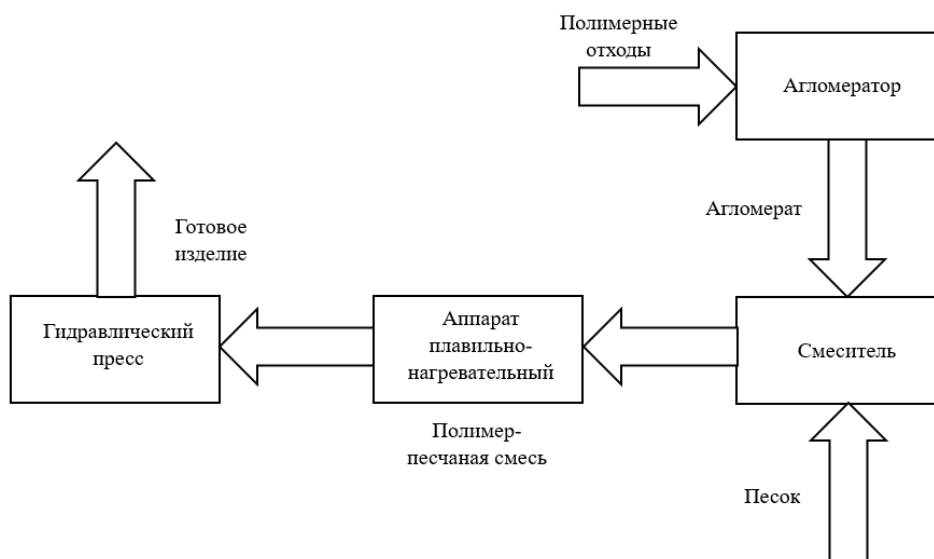


Рисунок 7 – Технологическая схема получения полимер-песчаного изделия

В определенном соотношении, которое определяет предприятие (чаще всего это 6:4 либо 7:3 песка к связующему, то есть агломерату соответственно) взвешивают сырье для смеси и перемешивают в смесителе до однородного вида. Полученную сухую смесь отправляют в аппарат для плавления, или же АПН (аппарат плавления-нагревательный), являющийся экструдером. Для лучшего образования полимер-песчаной смеси АПН, оснащенный

специальными терморегуляторами, подразделяется на 3 зоны с разными режимами температурами, разница которых составляет от 50 до 450 °С. В результате производится однородная полимер-песчаная смесь, где каждая частица песка покрыта связующим. На этой стадии отбирается определенное количество смеси и отправляется в пресс-форму для получения полимер-песчаного изделия и на нее воздействует гидравлический пресс с усилием в среднем 150 тонн. В пресс-форме предусмотрены специальные отверстия в виде каналов и штуцеров, обеспечивающие охлаждение изделия.

В конечном счете производится готовое полимер-песчаное изделие, которое отправляется на обработку механическим способом специальным ножом. Изделие после обработки отправляется на качественный анализ, в ходе которого выявляют изъяны и браки, упаковывают и отправляют на склад.

## **1.5 Патентный обзор**

В ходе работы был проведен патентный обзор, в котором были рассмотрены три патента на наличие нужных добавок и оборудования для более улучшенной работы производства полимер-песчаной продукции на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

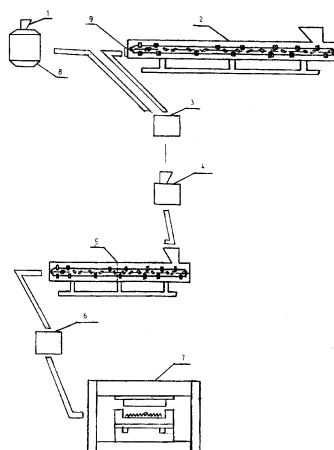
Также были выбраны более доступные добавки и оборудование, определен нужный температурный режим для работы с агломератом из загрязненного полиэтилена.

В патенте «Технологическая линия по производству полимер-наполненных изделий» (Патент РФ №66271 U1 B29B 17/00, 2006) процесс происходит следующим образом:

«Способ производства строительных изделий, в котором используется система изготовления строительных изделий из сыпучих материалов и полимерных отходов. Система включает устройства дробления полимерных материалов, нагреватель песка и смеситель-активатор, соединенные между собой технологическими линиями, а также пресс-форму готовых изделий с

транспортирующей линией подачи продукции на склад, (заявка РФ №94008420/04, МПК С04В 26/00 от 10.11.1995). При этом в смесителе-активаторе в течение 35-40 мин при интенсивности воздействия 30-65 Вт/кг перемешивают нагретый до температуры 400°С кварцевый песок с размерами частиц 0,5-3,0 мм, фракции частиц от 0,5 до 1,0 мм и фракции частиц от 1,0 до 3,0 мм берут в соотношении соответственно 1:(0,3-0,5) 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. В смеситель-активатор загружают 70-80% нагретого кварцевого песка указанных фракций (от общего количества) и 20-30% полиэтиленовых отходов указанного размера частиц и осуществляют перемешивание в течение 15-20 мин, после чего загружают оставшееся количество кварцевого песка и полиэтиленовых отходов, предварительно совмещенных с пигментом, и осуществляют окончательное перемешивание до получения однородной смеси» [10].

«Схема процесса представлена на рисунке 8.



1 - устройство дробления полимерных материалов, 2 - нагреватель минерального наполнителя, 3 - весовой дозатор, 4 - смеситель, 5 - реактор, выполненный в виде двухзонного по температуре шнекосмесительного агрегата с нагревательными элементами, расположенного в цилиндрическом корпусе, 6 - второй весовой дозатор, 7 - формовочное устройство

Рисунок 8 – Технологическая схема получения полимер-песчаного изделия

Согласно технологическому регламенту, для производства полимер-наполненных материалов используется следующее сырье: наполнитель - песок мелкой фракции, отходы карьерного производства мелкой фракции и т.д., связующее - полимерные материалы (ПВД, ПНД, полистирол, АБС, ПЭТ и т.д.) и краситель - железно-окисный пигмент» [10].

В патенте «Сырьевая смесь для получения строительного материала и способ получения строительного материала» (Патент РФ №2773577 С1 С04В 40/00, 2021) описывается еще одна технология получения смеси для полимер-песчаных изделий: «Строительный материал из песчано-сырьевой смеси, содержащей песок - 25; волокно - 5; указанная смесь полиэтиленов - 60; жидкая фаза - 10, получают следующим образом.

На первом этапе осуществляют подготовку жидкой фазы, для этого сульфированный поликонденсат (структурная формула I, в которой R - H, а M - Na) сульфат натрия, глицерин и воду, при соотношении указанных компонентов в смеси 1:1:1:1, в необходимых количествах добавляют в смеситель и перемешивают до однородной массы. Затем осуществляют перемешивание компонентов песчано-полимерной смеси, для этого песок предварительно нагретый до 180°C в необходимом количестве добавляется в смеситель, далее в смеситель при постоянном перемешивании в необходимом количестве добавляется смесь ЛПЭНП и ПЭВД, при соотношении ЛПЭНП к ПЭВД 1:3, и волокно, после чего осуществляют перемешивание до понижения температуры до 90°C, затем в смеситель добавляется в необходимом количестве подготовленная жидкая фаза с последующим перемешиванием до получения однородной пластической массы при температуре 90°C. Полученную однородную массу при температуре 90°C формировали прессованием в пресс-форме при давлении 1 Мпа, а затем охладили до температуры 85°C, сняли давление с прессформы, после чего отвердевшее готовое изделие (железнодорожный рельс) охладили до комнатной температуры. Физико-механические свойства конечного продукта

представлены в таблице 1. Конечное изделие имеет темно-желтый (песчаный) цвет» [9].

Прототипом для предыдущего патента служит патент «Песчано-полимерный материал» (Патент РФ №2170716 С1 С04В 26/02, В29В 17/00, 2001. Процесс в этом патенте описывается следующим образом:

«Пример конкретного конструкционного материала и его изготовления.

Состав массы: горный песок 72%, вторичный полиэтилен 27,5%, краситель - сурик железный 0,5%. В разогретый до 400°C песок (с крупностью зерен 0,5-0,9 мм) при постоянном перемешивании постепенно вводилась (дробленая до размера <15 мм) смесь вторичных полиэтиленов (бытовые отходы: пленка, бутылки, упаковки и др.) и краситель, перемешивание продолжалось при падении температуры до 200°C, при этом образовалась однородная пластическая масса.

Полученная масса была обработана давлением методом прессования в охлаждаемой пресс-форме, давление 29 МПа было снято при отверждении массы до достижения ей температуры 95°C, время обработки 150 секунд.

Получен образец: цвет - красно-коричневый, поверхность - однородная глянцево-матовая, без пор, плотность 2700 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение - 0, разрушающее напряжение: - при изгибе 150 МПа, - при растяжении 90 МПа, - при сжатии 200 МПа, кислотостойкость - 99%, щелочностойкость - 96,5%, удельное объемное электрическое сопротивление  $1 \cdot 10^{15}$  Ом х см.

Образец трудно сгораем - постепенно обугливается при воздействии открытого огня, при его удалении материал прекращает обугливаться.

В момент прессования материала в него можно впрессовывать различные материалы, например металлы (пример - отвертка - металл, ручка)» [8].

«Подготовка горячей массы для прессования может быть следующей.

- заранее приготовленная смесь из песка, гранулированного или дробленого полимера и добавок при перемешивании нагревается до получения

однородной пластичной массы.  $T_{\text{нагр.}} = 90-500^{\circ}\text{C}$  (зависит от применяемых полимеров);

- песок нагревается до  $T_{\text{нагр.}} = 200-600^{\circ}\text{C}$  (зависит от применяемых полимеров). При перемешивании в разогретый песок постепенно вводится необходимое количество полимера или смеси полимеров и добавок, или, наоборот, разогретый песок вводится в полимер. При перемешивании смеси  $T_{\text{нагр.}}$  падает, процесс продолжается до получения однородной пластичной массы с необходимой для обработки давлением температурой;

- в нагретый до  $T_{\text{нагр.}} = 90-450^{\circ}\text{C}$  (зависит от применяемых полимеров) песок при перемешивании вводится расплавленный полимер или смесь полимеров, вводятся добавки, масса перемешивается до однородного пластичного состояния;

- в расплавленный полимер при перемешивании вводится песок, нагретый до  $T_{\text{нагр.}} = 90-450^{\circ}\text{C}$  песок, вводятся добавки, масса перемешивается до однородного пластичного состояния;

- заранее сплавленная песчано-полимерная смесь (возможно вторичная) дробленая или гранулированная разогревается и перемешивается до получения однообразной пластичной массы.  $T_{\text{нагр.}} = 90-450^{\circ}\text{C}$  (зависит от характеристик входящих в состав смеси полимеров). При перемешивании для придания дополнительных свойств в эту массу могут вводиться: песок, полимеры и дополнительные добавки;

- заявленный материал может быть использован вторично. Он дробится, нагревается до пластичного состояния, перемешивается, в него дополнительно вводятся при необходимости песок, полимеры, добавки.

Охлаждение может быть естественным и искусственным, например, в охлаждаемой и неохлаждаемой пресс-форме. Охлаждение естественным способом занимает многократно больше времени, чем охлаждение искусственным способом» [8].

В таблице 1 показано сравнение патентов.

Таблица 1 – Патентный обзор

Патент	Основные компоненты	Добавки	Достоинства	Недостатки	Плотность и температура использования	Примечание
РФ №66271 U1 B29B 17/00, 2006	Агломерат из полиэтиленовых отходов, кварцевый песок мелкой фракции	Неорганический краситель (железо-окисный пигмент)	Несложное производство, использование не только чистого песка, а также с некоторыми загрязнителями по типу металлической стружки или химических загрязнителей, низкая вероятность получения трещин из-за однородности фракции песка	Слишком высокая температура нагревания песка (400°C), есть вероятность расслоения полученной продукции из-за этого	$\rho \approx 1500 \text{ г/см}^3$ t от -25 до +30	Температурный режим не подходит для Самарской области и не может быть использован для данной территории; данная технология достаточно проста в исполнении, может быть использована для разного рода изделий из полимер-песчаной смеси
РФ №2773577 С1 С04В 40/00, 2021	Кварцевый песок, смесь из ЛПЭНП и ПЭВД	Жидкая фаза, состоящая из сульфированного поликонденсата, сульфата натрия, глицерина и воды	Благодаря добавкам полимер-песчаная продукция выдерживает более низкие и высокие температуры, имеет более высокую плотность, смесь	Некоторые из добавок достаточно дорогостоящие, также, в случае данной работы, используется ЛПЭНП, который тоже труднодоступен;	$\rho \approx 1628 \text{ г/см}^3$ t от -50 до +45	Данная технология очень эффективна, но при этом очень сложна в исполнении; дорогостоящая технология; может быть использована



Продолжение таблицы 1

Патент	Основные компоненты	Добавки	Достоинства	Недостатки	Плотность и температура использования	Примечание
		(соотношение 1:1:1:1), волокно (базальтовые, асбестовые, стеклянные, углеродные, из оксида алюминия, карбида кремния	полимеров дает большую устойчивость к ультрафиолету	сложная технология производства, нужно учитывать каждый компонент полимер-песчаной смеси, чтобы определить нужный температурный режим для производства		для разного вида изделий из полимер-песчаной смеси
РФ №2170716 С1 С04В 26/02, В29В 17/00, 2001	Кварцевый песок, вторичный полиэтилен	Краситель (сурик железный), в зависимости от нужных свойств могут быть другие добавки, такие как дибутилфталат или диоктилфталат	Высокая плотность, устойчивость к разным температурам, достаточно легкая, не энергоемкая технология производства, самый бюджетный и экологичный способ получения полимер-песчаной продукции	Нужно учитывать температуру плавления используемого полимера, желательно использовать смесь	$\rho \approx 1850 \text{ г/см}^3$ , может быть и выше $t$ от -35 до +40 может различаться из-за разных добавок	Данная технология достаточно эффективна, не является сильно дорогой, может быть использована для разного рода полимер-песчаных изделий, имеет высокую устойчивость к разным условиям среды

Проведен анализ выбранных патентов исходя из технологии производства полимер-песчаной смеси и используемых дополнительных компонентов.

Первый патент не удовлетворяет следующие параметры:

- из-за высокой температуры нагревания будет тратиться много электроэнергии, что приведет к повышению цены на готовое изделие;
- в производстве не используются дополнительные компоненты, что может повлиять на качество изготавливаемого продукта, то есть вероятность появления трещин и сколов на готовом изделии намного выше, а также продукция может залипать в пресс-форме, что приводит к потерям.

Второй рассматриваемый патент не удовлетворяет следующие параметры:

- в производстве используются сложноизготавливаемые и дорогостоящие добавки;
- сложная и трудоемкая технология изготовления продукции занимает много времени, что приводит к большому расходу ресурсов в виде электроэнергии и воды и таким образом повышает стоимость готового изделия.

Во втором патенте наиболее подходящая технологическая схема.

Третий изученный патент наиболее перспективен.

Он удовлетворяет следующие параметры:

- наилучший температурный режим (90-450 °С), при котором не будет использоваться большое количество электроэнергии, что не будет повышать стоимость изготовленного изделия;
- благодаря добавке в виде пластификатора, изделия станет менее хрупким и более эластичным, а также не будет залипать в пресс-форме, что приведет к уменьшению потерь при производстве.

В первой разделе данной работы были рассмотрены общие сведения о механической переработке ПЭТ в ПЭТ-флексу, при получении которой отделяется полиэтиленовая этикетка.

Рассмотрены общие сведения о полиэтилене, его получении, а также механическая переработка загрязненного полиэтилена в агломерат на основе методических указаний, представленных предприятием ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Проанализирован общий метод получения полимер-песчаного изделия.

Проведен патентный обзор и анализ выбранных патентов, на основе которых выбрана более перспективная, менее энергозатратная технология производства полимер-песчаного изделия и рассмотрены более доступные, недорогостоящие и повышающие качество изделия дополнительные компоненты, служащие пластификаторами.

На основе патентного и литературного обзора выполняется экспериментальная часть данной работы.

## **2 Экспериментальная часть по получению полимер-песчаной смеси в лабораторных условиях**

Цель данного эксперимента – рассмотреть полученные образцы полимер-песчаного изделия и определить их достоинства и недостатки.

Материалы и оборудование:

- образец полиэтиленового агломерата, фракцией 0,1-3 мм;
- термометр до 400 °С;
- песок фракцией от 0,5-3 мм;
- электрическая плитка;
- алюминиевая тара для нагревания на 1,5 л;
- весы лабораторные с точностью до 0,01 г;
- дибутилфталат;
- пластификатор Ю.Н. Орлова.

### **2.1 Получение образцов полимер-песчаного композиционного материала в лабораторных условиях**

#### **2.1.1 Получение опытного образца полимер-песчаного изделия без использования дополнительного компонента**

Для получения 100 г полимер-песчаной смеси было взвешено 40,08 г агломерата и 60,04 г песка. Далее песок переносится в алюминиевую тару для последующего нагревания.

Песок нагревают до 245-250 °С, проверяя температуру с помощью градусника. Постепенно в нагретый песок всыпают связующее, т.е. агломерат, тщательно перемешивают с песком. В этот момент температура смеси падает. Температуру смеси поднимают до 260-275 °С в зависимости от фракции агломерата. Смесь перемешивают до момента образования единого комка из

песка и агломерата. Процесс изготовления и получения комка изображен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Процесс изготовления полимер-песчаной смеси

Далее смесь перекладывают на поверхность, стойкую к высоким температурам, и прессуют. Дожидаются полного охлаждения получившегося образца.

Опытный образец изделия изображен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Образец полимер-песчаного изделия из опыта №1

Результат опыта №1. При приготовлении смеси очень тяжело шло смешивание и формирование комка, цвет образца изделия серо-коричневый, сам образец достаточно ломкий, при разламывании слегка крошится.

### **2.1.2 Получение опытного образца с использованием дополнительного компонента (дибутилфталат 5%)**

Для получения 100 г полимер-песчаной смеси с использованием дибутилфталата было взвешено 5 г добавки, 38,05 г агломерата и 57,04 г песка. Далее песок переносится в алюминиевую тару для последующего нагревания.

Песок нагревают до 245-250<sup>0</sup>С, проверяя температуру с помощью градусника. Постепенно в нагретый песок всыпают связующее, т.е. агломерат, тщательно перемешивают с песком. В этот момент температура смеси падает. Температуру смеси поднимают до 260-275<sup>0</sup>С в зависимости от фракции агломерата. Смесь перемешивают и дают смеси опустить температуру до 200<sup>0</sup>С и вливают дибутилфталат, тщательно перемешивают до образования единого комка.

Далее смесь перекладывают на поверхность, стойкую к высоким температурам, и прессуют. Дожидаются полного охлаждения получившегося образца. Опытный образец изделия изображен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Образец полимер-песчаного изделия из опыта №2

Результат опыта №2. При приготовлении полимер-песчаной смеси ком формировался с добавлением дибутилфталата формировался намного быстрее

и легче, цвет образца темно-серый, сам образец очень тяжело разломить, не крошится как образец из опыта №1.

### **2.1.3 Получение опытного образца с использованием дополнительного компонента (дибутилфталат 1%)**

Для получения 100 г полимер-песчаной смеси с использованием дибутилфталата было взвешено 1 г добавки, 39,55 г агломерата и 59,4 г песка. Далее песок переносится в алюминиевую тару для последующего нагревания.

Песок нагревают до 245-250<sup>0</sup>С, проверяя температуру с помощью градусника. Постепенно в нагретый песок всыпают связующее, т.е. агломерат, тщательно перемешивают с песком. В этот момент температура смеси падает. Температуру смеси поднимают до 260-275<sup>0</sup>С в зависимости от фракции агломерата. Смесь перемешивают и дают смеси опустить температуру до 200<sup>0</sup>С и вливают дибутилфталат, тщательно перемешивают до образования единого комка.

Далее смесь перекалывают на поверхность, стойкую к высоким температурам, и прессуют. Дожидаются полного охлаждения получившегося образца. Опытный образец изделия изображен на рисунке 12.



Рисунок 12 – Образец полимер-песчаного изделия из опыта №3

Результат опыта №3. При приготовлении полимер-песчаной смеси ком формировался с добавлением дибутилфталата формировался намного быстрее

и легче, цвет образца серо-коричневый, образец похож на образец из опыта №1.

#### **2.1.4 Получение опытного образца с использованием дополнительного компонента**

Для получения 100 г полимер-песчаной смеси с использованием пластификатора было взвешено 5 г добавки, 38,05 г агломерата и 57,04 г песка. Далее песок переносится в алюминиевую тару для последующего нагревания.

Песок нагревают до 245-250<sup>0</sup>С, проверяя температуру с помощью градусника. Постепенно в нагретый песок всыпают связующее, т.е. агломерат, тщательно перемешивают с песком. В этот момент температура смеси падает. Температуру смеси поднимают до 260-275<sup>0</sup>С в зависимости от фракции агломерата. Смесь перемешивают и дают смеси опустить температуру до 200<sup>0</sup>С и вливают дибутилфталат, тщательно перемешивают до образования единого комка.

Далее смесь перекладывают на поверхность, стойкую к высоким температурам, и прессуют. Дожидаются полного охлаждения получившегося образца. Опытный образец изделия изображен на рисунке 13.



Рисунок 13 - Образец полимер-песчаного изделия из опыта №4

Результат опыта №4. При приготовлении полимер-песчаной смеси ком формировался с добавлением пластификатора Ю.Н. Орлова формировался



сложнее и дольше, чем образец из опыта №2 и №3, цвет образца серо-коричневый, образец похож на образец из опыта №1.

### **2.1.5 Получение опытного образца с использованием дополнительного компонента**

Для получения 100 г полимер-песчаной смеси с использованием пластификатора было взвешено 1 г добавки, 39,55 г агломерата и 59,4 г песка. Далее песок переносится в алюминиевую тару для последующего нагревания.

Песок нагревают до 245-250 °С, проверяя температуру с помощью градусника. Постепенно в нагретый песок всыпают связующее, т.е. агломерат, тщательно перемешивают с песком. В этот момент температура смеси падает. Температуру смеси поднимают до 260-275 °С в зависимости от фракции агломерата. Смесь перемешивают и дают смеси опустить температуру до 200°С и вливают дибутилфталат, тщательно перемешивают до образования единого комка. Далее смесь перекладывают на поверхность, стойкую к высоким температурам, и прессуют. Дожидаются полного охлаждения получившегося образца. Опытный образец изделия изображен на рисунке 14.



Рисунок 14 - Образец полимер-песчаного изделия из опыта №5

Результат опыта №5. При приготовлении полимер-песчаной смеси ком формировался с добавлением пластификатора Ю.Н. Орлова формировался сложнее и дольше, чем образец из опыта №2 и №3 и примерно также как

образец №4, цвет образца серо-коричневый, образец похож на образец из опыта №1.

### 2.1.6 Сравнение полученных образцов

После проведенных опытов был проведен сравнительный зрительный обзор двух полученных образцов в результате которого были выделены следующие отличия:

- образцы №1, №3, №4, №5 имеют отличный от образца №2 цвет;
- образцы с содержанием пластификатора 1% и образец без пластификатора более ломкие и хрупкие.

Далее был проведен сравнительный обзор образцов с помощью гидравлического пресса, благодаря которому можно измерить прочность при сжатии образцов полимер-песчаного изделия, а также температура конечной смеси образцов и время ее образования. Сравнительный анализ продемонстрирован в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ полученных образцов полимер-песчаного изделия экспериментально в лабораторных условиях

Характеристика полученного материала	Вид образца, полученного полимер-песчаного композиционного материала				
	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Время начала плавления, мин	4	3	4,5	3,5	4
Время формирования однородной смеси, мин	10	5	8	7	9
Температура полученного образца, °С	275	260	270	265	275
Прочность при сжатии, МПа	17	18,5	18	18	17

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что пластификатор – дибутилфталат показывает лучшие результаты в

эксперименте и является преимущественной добавкой для оптимизации состава полимер-песчаной смеси.

## 2.2 Расчет материального баланса полимер-песчаной тротуарной плитки без использования дополнительного компонента - дибутилфталата

Производство полимер-песчаных изделий можно разделить на несколько: смешение, экструдирование, прессование и складирование.

Общая технологическая схема процесса получения полимер-песчаного изделия продемонстрирована на рисунке 15.

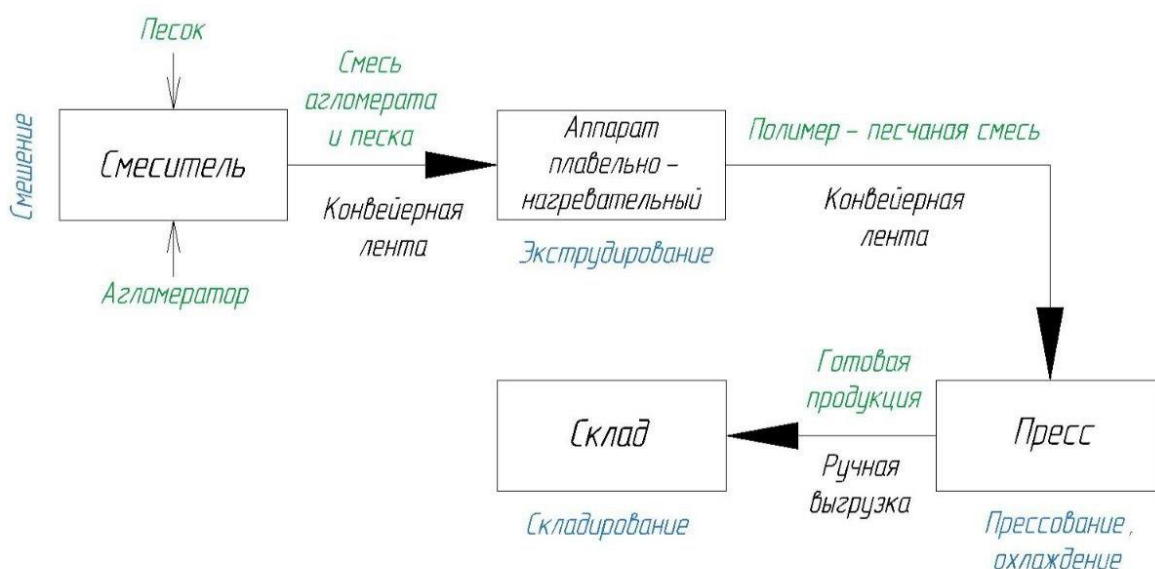


Рисунок 15 – Блок-схема технологического процесса получения полимер-песчаных изделий

Исходные данные для расчета материального баланса производства полимер-песчаной тротуарной плитки взяты из справочников по проектированию производств изделий из пластмасс, справочных данных о типовых нормах потерь на предприятиях стройиндустрии, а также на

основании потерь при производстве гранул на предприятии ООО«ЭкоРесурсПоволжье» [11], [20].

Исходные данные для расчета материального баланса указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета материального баланса без использования добавки [23]

Составляющие	Масса, т	Смешение		Экструдирование		Прессование		Складирование	
		Потери, %							
		Возвратные	Безвозвратные	Возвратные	Безвозвратные	Возвратные	Безвозвратные	Возвратные	Безвозвратные
Песок	0,7	2,5	0,8	0,8	0,15	1,2	0,18	0,9	0
Агломерат	0,3	1,5	0,4	0,5	0,08	0,8	0,15	0,5	0
Всего	1	4	1,2	1,3	0,23	2	0,33	1,4	0

На основе данных, представленных в таблице 3 идет расчет необходимого количества сырья для получения 1000 кг (1 т) тротуарной полимер-песчаной плитки.

Расчет массовой доли потерь песка на стадии складирования осуществляется по формуле 2.1:

$$M = \frac{m \cdot w}{100}, \quad (2.1)$$

где M – масса полиэтилена на определенной стадии получения сырья, т;

w – процентная доля потерь, %;

m – масса сырья, т.

$$M_{1.1 \text{ П}} = \frac{0,7 \cdot 0,9}{100} = 0,0063, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь песка на стадии прессования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{1.2 \text{ П}} = \frac{0,7 \cdot (0,18 + 1,2)}{100} = 0,00966, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь песка на стадии экструдирования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{1.3 \text{ П}} = \frac{0,7 \cdot (0,8 + 0,15)}{100} = 0,00665, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь песка на стадии смешения осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{1.4 \text{ П}} = \frac{0,7 \cdot (2,5 + 0,8)}{100} = 0,0231, \text{ т}$$

Расчет необходимого количества песка на стадии складирования осуществляется по формуле 2.2:

$$m_{\text{ПС1}} = m + M_{1.1 \text{ П}}, \quad (2.2)$$

где  $m_{\text{ПС1}}$  – масса песка, необходимая для получения 1 т продукта на стадии складирования, т.

$$m_{\text{ПС1}} = 0,7 + 0,0063 = 0,7063, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества песка на стадии прессования осуществляется по формуле 2.3:

$$m_{\text{ПП1}} = m_{\text{ПС1}} + M_{1.2 \text{ П}}, \quad (2.3)$$

где  $m_{\text{ПП1}}$  – масса песка, необходимая для получения 1 т продукта на стадии прессования, т.

$$m_{\text{ПП1}} = 0,7063 + 0,00966 = 0,716, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества песка на стадии экструдирования осуществляется по формуле 2.4:

$$m_{\text{ПЭ1}} = m_{\text{ПП1}} + M_{1.3 \text{ П}}, \quad (2.4)$$

где  $m_{\text{ПЭ1}}$  – масса песка, необходимая для получения 1 т продукта на стадии экструдирования, т.

$$m_{\text{ПЭ1}} = 0,716 + 0,00665 = 0,723, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества песка на стадии смешения осуществляется по формуле 2.5:

$$m_{\text{ПСМ1}} = m_{\text{ПЭ1}} + M_{1.4 \text{ П}}, \quad (2.5)$$

где  $m_{\text{ПСМ1}}$  – масса песка, необходимая для получения 1 т продукта на стадии смешения, т.

$$m_{\text{ПСМ1}} = 0,723 + 0,0231 = 0,7461, \text{ т.}$$

Расчет массовой доли потерь агломерата на стадии складирования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{1.1 \text{ А}} = \frac{0,3 \cdot 0,5}{100} = 0,0015, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь агломерата на стадии прессования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{1.2 \text{ А}} = \frac{0,3 \cdot (0,15 + 0,8)}{100} = 0,00285, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь агломерата на стадии экструдирования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{1.3A} = \frac{0,3 \cdot (0,5 + 0,08)}{100} = 0,00174, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь агломерата на стадии смешения осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{1.4A} = \frac{0,3 \cdot (1,5 + 0,4)}{100} = 0,0057, \text{ т}$$

Расчет необходимого количества агломерата на стадии складирования осуществляется по формуле 2.6:

$$m_{AC1} = m + M_{1.1A}, \quad (2.6)$$

где  $m_{AC1}$  – масса агломерата, необходимая для получения 1 т продукта на стадии складирования, т.

$$m_{AC1} = 0,3 + 0,0015 = 0,3015, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества агломерата на стадии прессования осуществляется по формуле 2.7:

$$m_{AP1} = m_{AC1} + M_{1.2A}, \quad (2.7)$$

где  $m_{AP1}$  – масса агломерата, необходимая для получения 1 т продукта на стадии прессования, т.

$$m_{AP1} = 0,3015 + 0,00285 = 0,3044, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества агломерата на стадии экструдирования осуществляется по формуле 2.8:

$$m_{AЭ1} = m_{АП1} + M_{1.3 A}, \quad (2.8)$$

где  $m_{AЭ1}$  – масса агломерата, необходимая для получения 1 т продукта на стадии экструдирования, т.

$$m_{AЭ1} = 0,3044 + 0,00174 = 0,306, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества агломерата на стадии смешения осуществляется по формуле 2.9:

$$m_{АСМ1} = m_{AЭ1} + M_{1.4 A}, \quad (2.9)$$

где  $m_{АСМ1}$  – масса агломерата, необходимая для получения 1 т продукта на стадии смешения, т.

$$m_{АСМ1} = 0,306 + 0,0057 = 0,312, \text{ т.}$$

Результаты расчета материального баланса без использования дополнительного компонента представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчета материального баланса производства полимер-песчаной плитки без использования добавок

Составляющие	Масса потери, т	Смешение		Экструдирование		Прессование		Складирование	
		Приход, т (%)	Расход, т (%)	Приход, т (%)	Расход, т (%)	Приход, т (%)	Расход, т (%)	Приход, т (%)	Расход, т (%)
Песок	0,2536	0,7461 (106,6)	0,723 (103,3 %)	0,723 (103,3 %)	0,716 (102,3 %)	0,716 (102,3 %)	0,7063 (100,9 %)	0,7063 (100,9 %)	0,7 (100 %)
Агломерат	0,0118	0,312 (104 %)	0,306 (102 %)	0,306 (102 %)	0,3044 (101,46 %)	0,3044 (101,46 %)	0,3015 (100,5 %)	0,3015 (100,5 %)	0,3 (100 %)



В данном пункте было рассчитано необходимое количество песка и агломерата для производства полимер-песчаной плитки. При расчете учитывались все потери при процессе производства. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что на стадии смешения, чтобы получить 1 тонну готовой продукции, нужно использовать песка на 6,6 % больше, а агломерата - на 4 %.

### 2.3. Расчет материального баланса полимер-песчаной тротуарной плитки с использованием дополнительного компонента – дибутилфталата

Технологическая схема получения полимер-песчаной продукции с использованием добавки представлена на рисунке 16.

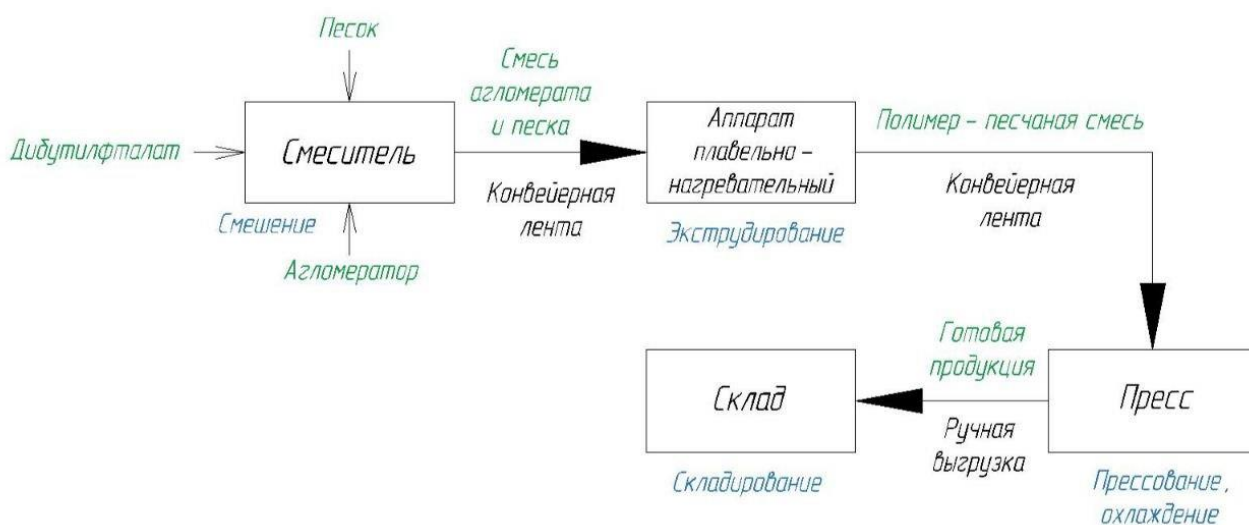


Рисунок 16 – Блок-схема технологического процесса получения полимер-песчаных изделий с использованием добавки

Исходные данные для расчета материального баланса производства полимер-песчаной тротуарной плитки взяты из справочников по проектированию производств изделий из пластмасс, справочных данных о типовых нормах потерь на предприятиях стройиндустрии, а также на

основании потерь при производстве гранул на предприятии ООО«ЭкоРесурсПоволжье».

Исходные данные для расчета материального баланса приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Исходные данные для материального баланса [25]

Составляющие	Масса, т	Смешение		Экструдирование		Прессование		Складирование	
		Потери, %							
		Возвратные	Безвозвратные	Возвратные	Безвозвратные	Возвратные	Безвозвратные	Возвратные	Безвозвратные
Песок	0,72	1,21	0,38	0,06	0,017	0,6	0,018	0,7	0
Агломерат	0,23	0,8	0,15	0,08	0,03	0,2	0,015	0,3	0
Дибутилфталат	0,05	0,008	0,005	0,0015	0,005	0,001	0,0012	0,001	0
Всего	1	1,47	0,93	0,155	0,367	0,801	0,045	1,001	0

На основе данных, представленных в таблице 1 идет расчет необходимого количества сырья для получения 1000 кг (1 т) тротуарной полимер-песчаной плитки.

Расчет массовой доли потерь песка на стадии складирования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{2.1 П} = \frac{0,72 \cdot 0,7}{100} = 0,005, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь песка на стадии прессования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{2.2 П} = \frac{0,72 \cdot (0,6 + 0,018)}{100} = 0,0045, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь песка на стадии экструдирования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{2.3 \text{ П}} = \frac{0,72 \cdot (0,06 + 0,017)}{100} = 0,0055, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь песка на стадии смешения осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{2.4 \text{ П}} = \frac{0,72 \cdot (0,38 + 1,21)}{100} = 0,012, \text{ т}$$

Расчет необходимого количества песка на стадии складирования осуществляется по формуле 2.10:

$$m_{\text{ПС2}} = m + M_{2.1 \text{ П}}, \quad (2.10)$$

где  $m_{\text{ПС2}}$  – масса песка, необходимая для получения 1 т продукта на стадии складирования, т.

$$m_{\text{ПС2}} = 0,72 + 0,005 = 0,725, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества песка на стадии прессования осуществляется по формуле 2.11:

$$m_{\text{ПП2}} = m_{\text{ПС2}} + M_{2.2 \text{ П}}, \quad (2.11)$$

где  $m_{\text{ПП2}}$  – масса песка, необходимая для получения 1 т продукта на стадии прессования, т.

$$m_{\text{ПП2}} = 0,725 + 0,0045 = 0,7295, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества песка на стадии экструдирования осуществляется по формуле 2.12:

$$m_{\text{ПЭ2}} = m_{\text{ПП2}} + M_{2.3 \text{ П}}, \quad (2.12)$$

где  $m_{\text{ПЭ2}}$  – масса песка, необходимая для получения 1 т продукта на стадии экструдирования, т.

$$m_{\text{ПЭ2}} = 0,7295 + 0,00055 = 0,73, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества песка на стадии смешения осуществляется по формуле 2.13:

$$m_{\text{ПСМ2}} = m_{\text{ПЭ2}} + M_{2.4 \text{ П}}, \quad (2.13)$$

где  $m_{\text{ПСМ2}}$  – масса песка, необходимая для получения 1 т продукта на стадии смешения, т.

$$m_{\text{ПСМ2}} = 0,73 + 0,012 = 0,742, \text{ т.}$$

Расчет массовой доли потерь агломерата на стадии складирования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{2.1 \text{ А}} = \frac{0,23 \cdot 0,3}{100} = 0,00069, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь агломерата на стадии прессования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{2.2 \text{ А}} = \frac{0,23 \cdot (0,2 + 0,015)}{100} = 0,0005, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь агломерата на стадии экструдирования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{2.3 A} = \frac{0,23 \cdot (0,03 + 0,08)}{100} = 0,00025, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь агломерата на стадии смешения осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{2.4 A} = \frac{0,23 \cdot (0,8 + 0,15)}{100} = 0,0022, \text{ т}$$

Расчет необходимого количества агломерата на стадии складирования осуществляется по формуле 2.14:

$$m_{AC2} = m + M_{2.1 A}, \quad (2.14)$$

где  $m_{AC2}$  – масса агломерата, необходимая для получения 1 т продукта на стадии складирования, т.

$$m_{AC2} = 0,23 + 0,00069 = 0,231, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества агломерата на стадии прессования осуществляется по формуле 2.15:

$$m_{AP2} = m_{AC2} + M_{2.2 A}, \quad (2.15)$$

где  $m_{AP2}$  – масса агломерата, необходимая для получения 1 т продукта на стадии прессования, т.

$$m_{AP1} = 0,231 + 0,0005 = 0,2315, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества агломерата на стадии экструдирования осуществляется по формуле 2.16:

$$m_{AЭ2} = m_{AP2} + M_{2.3 A}, \quad (2.16)$$

где  $m_{AЭ2}$  – масса агломерата, необходимая для получения 1 т продукта на стадии экструдирования, т.

$$m_{AЭ2} = 0,2315 + 0,00025 = 0,2318, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества агломерата на стадии смешения осуществляется по формуле 2.17:

$$m_{ACM2} = m_{AЭ2} + M_{2.4A}, \quad (2.17)$$

где  $m_{ACM2}$  – масса агломерата, необходимая для получения 1 т продукта на стадии смешения, т.

$$m_{ACM2} = 0,2318 + 0,0022 = 0,234, \text{ т.}$$

Расчет массовой доли потерь добавки на стадии складирования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{1д} = \frac{0,05 \cdot 0,001}{100} = 5 \cdot 10^{-7}, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь добавки на стадии прессования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{2д} = \frac{0,05 \cdot (0,001 + 0,0012)}{100} = 1,1 \cdot 10^{-6}, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь добавки на стадии экструдирования осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{3д} = \frac{0,05 \cdot (0,0015 + 0,005)}{100} = 3,25 \cdot 10^{-6}, \text{ т}$$

Расчет массовой доли потерь добавки на стадии смешения осуществляется по формуле 2.1:

$$M_{4д} = \frac{0,05 \cdot (0,005 + 0,008)}{100} = 6,5 \cdot 10^{-6}, \text{ т}$$

Расчет необходимого количества добавки на стадии складирования осуществляется по формуле 2.18:

$$m_{дс} = m + M_{1д}, \quad (2.18)$$

где  $m_{дс}$  – масса добавки, необходимая для получения 1 т продукта на стадии складирования, т.

$$m_{дс} = 0,005 + 5 \cdot 10^{-7} = 0,005, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества добавки на стадии прессования осуществляется по формуле 2.19:

$$m_{дп} = m + M_{2д}, \quad (2.19)$$

где  $m_{дп}$  – масса добавки, необходимая для получения 1 т продукта на стадии прессования, т.

$$m_{дп} = 0,005 + 1,1 \cdot 10^{-6} = 0,005, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества добавки на стадии экструдирования осуществляется по формуле 2.20:

$$m_{дэ} = m + M_{3д}, \quad (2.20)$$

где  $m_{дэ}$  – масса добавки, необходимая для получения 1 т продукта на стадии экструдирования, т.

$$m_{дэ} = 0,005 + 3,25 \cdot 10^{-6} = 0,05, \text{ т.}$$

Расчет необходимого количества добавки на стадии смешения осуществляется по формуле 2.17:

$$m_{дсм} = m + M_{4д}, \quad (2.14)$$

где  $m_{дсм}$  – масса добавки, необходимая для получения 1 т продукта на стадии смешения, т.

$$m_{дсм} = 0,005 + 6,5 \cdot 10^{-6} = 0,05, \text{ т.}$$

Результаты расчета материального баланса без использования дополнительного компонента представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчета материального баланса

Составляющие	Масса потери, т	Смешение		Экструдирование		Прессование		Складирование	
		Приход, т (%)	Расход, т (%)	Приход, т (%)	Расход, т (%)	Приход, т (%)	Расход, т (%)	Приход, т (%)	Расход, т (%)
Песок	0,0221	0,742 (103%)	0,73 (101,4%)	0,73 (101,4%)	0,7295 (101,3%)	0,7295 (101,3%)	0,725 (100,7%)	0,725 (100,7%)	0,72 (100%)
Агломерат	0,0036	0,234 (101,7%)	0,2318 (100,8%)	0,2318 (100,8%)	0,2315 (100,6%)	0,2315 (100,6%)	0,231 (100,4%)	0,231 (100,4%)	0,23 (100%)
Добавка	$11,35 \cdot 10^{-6}$	0,05 (100%)	0,05 (100%)	0,05 (100%)	0,05 (100%)	0,05 (100%)	0,05 (100%)	0,05 (100%)	0,05 (100%)

В данном пункте было рассчитано необходимое количество песка, агломерата и добавки (дибутилфталат) для производства полимер-песчаной плитки.



При расчете учитывались все потери при процессе производства. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что на стадии смешения, чтобы получить 1 тонну готовой продукции, нужно использовать песка на 3 % больше, а агломерата - на 1,7 %. Потери добавки при этом незначительные.

Благодаря использованию дибутилфталата, как добавки для производства полимер-песчаной продукции уменьшились потери песка, с 6,6% до 3 %, и агломерата, с 4% до 1,7%. Произошло это за счёт связывающих свойств пластификатора дибутилфталата, также он обеспечивает меньшее прилипание к пресс-формам и экструдеру из-за чего также снижаются потери при производстве.

На основе результатов экспериментальной части и расчету материального баланса оптимизируется производство полимер-песчаной продукции.

### **3 Оптимизация состава и производства полимер-песчаных изделий**

Оптимизация состава и производства полимер-песчаных изделий является важным этапом в процессе производства. Это позволяет не только улучшить качество идущей на производство продукции, но и повысить ее конкурентоспособность на рынке. Оптимизация состава материалов позволяет добиться требуемых свойств изделия - прочности, устойчивости к воздействию влаги и температурным режимам, а также долговечности. В производственном процессе лучше всего использовать современное и высококачественное оборудование, которое обеспечивает более точный и быстрый процесс изготовления изделий. Руководствуясь принципами оптимизации, можно значительно повысить производительность и рентабельность производства полимер-песчаных изделий.

#### **3.1 Оптимизация состава с помощью определенной добавки – дибутилфталат**

Из проведенного эксперимента следует, что дибутилфталат, как дополнительный компонент в виде пластификатора демонстрирует наилучшие результаты и является основной добавкой, которая оптимизирует состав полимер-песчаной смеси. Благодаря дибутилфталату время плавления связующего уменьшилось, сама полимер-песчаная смесь была более однородной и при плавлении смесь не прилипала к оборудованию, что приводит к меньшим потерям при производстве изделий.

«Дибутилфталат – это повсеместно используемый пластификатор, обеспечивающий изделиям из бетона или песка большую износостойкость, пластичность и стойкость к низким температурам. Представляет собой низковязкую однородную прозрачную маслянистую жидкость слабого желтоватого оттенка с несильным, но горьковатым запахом, при контакте схожей оставляет маслянистый налет. Если после контакта с ДБФ, не помыв

руки, взять в руки пластиковую зажигалку, она очень быстро теряет прочность и выпускает газ, прямо на вас. Если нанести небольшое количество Дибутилфталата на одежду (желательно изготовленную не из ПВХ, иначе она будет безнадежно испорчена), то в течении нескольких часов ни один комар не сядет на вас, чтобы попить кровь. Они его не любят, поэтому дибутил- и диоктилфталат раньше применялись, как основное сырье для репеллентов» [4], [9].

При добавлении дибутилфталата повышается упругость, износостойкость, а также стойкость к низким температурам, способствующая более долгому использованию на территории Самарской области, и препятствует появлению трещин из-за резких перепадов температур и высокой влажности.

### **3.2 Оптимизация оборудования для производства полимер-песчаной продукции**

Первые два этапа производства полимер-песчаной продукции описаны в пунктах 1.1.2 и 1.3 для производства агломерата. Дальнейшее производство описано в пункте 1.4.

В технологическую линию производства полимер-песчаной плитки будут включены некоторые, из имеющихся на предприятии ООО«ЭкоРесурсПоволжье», агрегаты, такие как дробилка ИМП-1/18,5 и агломератом АПР-30.

«Дробилка ИМП-2/18,5 изображена на рисунке 17, а технические характеристики указаны в таблице 7.

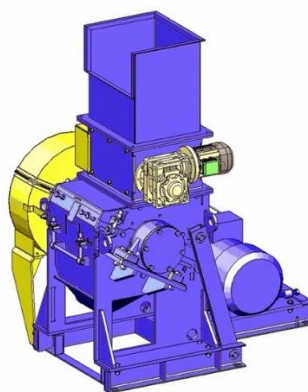


Рисунок 17 – Дробилка ИМП-2/18.5

Таблица 7 - Технические характеристики дробилки-измельчителя ИМП- 2/18,5

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		1700·1100·1600
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» [15].

«На ООО «ЭкоРесурсПоволжье» для переработки отходов

загрязненного полиэтилена в агломерат используется агломератор АПР-30. Такой агломератор изображен на рисунке 18, а его характеристики продемонстрированы в таблице 8.



Рисунок 18 – Агломератор АПР-30

Таблица 8 - Характеристики АПР-30 [18]

Тип	Однороторный
Установленная мощность, кВт	30
Ножи роторные, шт.	6
Тип роторных ножей	Прямоугольные
Ножи стационарные, шт.	0/6
Объем корпуса, л	180
Тип корпуса	Съемный
Размеры, мм	1500·600·1600
Масса, кг	600

Конструкция агломератора включает в себя:

- рабочий корпус – стальная емкость шаровидной формы с загрузочным и выгрузочным окном;
- электродвигатель;
- ножи роторные;
- ремневая передача;
- пульт управления» [3], [13].

Для улучшения работы по производству полимер-песчаных изделий на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье» понадобится приобрести определенное оборудование: смеситель, экструдер и пресс.

«Для производственной линии по изготовлению полимерпесчаной плитки подойдет смеситель универсальный с объемом бункера 1 м<sup>3</sup>. Технические характеристики смесителя универсального с объемом бункера 1 м<sup>3</sup> представлены в таблице 9, а его внешний вид изображен на рисунке 19.



Рисунок 19 – Смеситель универсальный с объемом бункера 1 м<sup>3</sup>

Таблица 9 – 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	5AMX132S6 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» [16].

«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 процесс больших объемов смеси за короткий промежуток времени» [16].

«Агрегат плавильно-нагревательный (АПН) или экструдер – это устройство подготовки формовочной массы. Для воспроизведения технологической линии производства полимер-песчаных изделий на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье» подойдет экструдер модели АПН-300.

Внешний вид представлен на рисунке 20, а характеристики АПН-300 продемонстрированы в таблице 10.



Рисунок 20 – АПН-300

Таблица 10 – 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
Частотная регулировка оборотов двигателя		+
Масса, кг		1100
Скорость вращения шнека, об/мин		6,5-13
Производительность, кг/час (усредненная)		350
Габариты, мм		3000·00·1300
Тип привода	двигатель+клиноременная передача + редуктор	+
	мотор-редуктор	+

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» [17].



«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» [16].

Внешний вид пресса показан на рисунке 21, а его характеристики продемонстрированы в таблице 11.



Рисунок 21 – Гидравлический пресс Д2430

Таблица 11 – «Технические характеристики гидравлического пресса Д2430» [23]

«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	00·00
Мощность двигателя насоса, кВт	4
Габариты, мм	11·0·2100·3200
Масса, кг	2750
Режим работы пресса	Полуавтомат» [23]

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

Внешний вид пресс-формы для полимер-песчаных изделий представлен на рисунке 22.

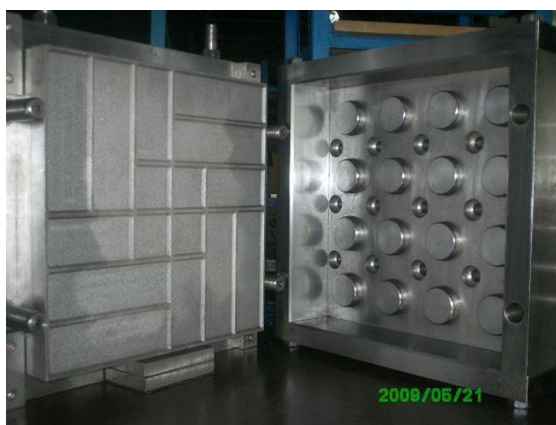


Рисунок 22 – Пресс-форма для полимер-песчаных изделий

«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 прямоточными, а по всем плоскостям изделия с повторением его конфигурации» [2].

В ходе исследования было выяснено, что на производстве необходимо установить ленточный конвейер, который минимизирует потери в ходе загрузки и выгрузки сырья. Идеально подойдет ленточный конвейер L-образной формы. Внешний вид продемонстрирован на рисунке 23.



Рисунок 23 – Ленточный конвейер

«Ленты транспортера износостойкие резинотканевые 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» [24].

### **3.3 Экономические расчеты технологической линии**

#### **3.3.1 Режим работы линии по производству полимер-песчаной тротуарной плитки**

«Режим работы линии является отправным материалом для расчета производительности и материального баланса технологического процесса. Режим работы устанавливают в соответствии с трудовым законодательством РФ по нормам технологического проектирования предприятий вяжущих веществ» [7].

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 3.1:

$$t_{\text{гф}} = t_{\text{рс}}TK_{\text{то}}, \quad (3.1)$$

где  $t_{\text{гф}}$  – расчетный годовой фонд времени работы технологического оборудования в часах;

$t_{\text{рс}}$  – расчетное количество рабочих суток в году;

$T$  – количество рабочих часов в сутки;

$K_{\text{то}}$  – 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 0,92-0,97.

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

$$t_{\text{гф}} = 365 \cdot 24 \cdot 0,93 = 8146,8$$

### 3.3.2 Расчет производительности технологической линии

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

Производительность гидравлического прессы в год рассчитывается по формуле 3.2:

$$G_{\text{г}} = G_{\text{ч}} \cdot t_{\text{гф}}, \quad (3.2)$$

Производительность одной пресс формы в час составляет 5,83 м<sup>3</sup>/с, из чего следует, что производительность в год:

$$Q_{\Gamma} = 5,83 \cdot 8146,8 = 47495,84 \text{ м}^3$$

Производительность на 1 м<sup>2</sup> полимер-песчаной плитки, на который уходит 9 плит, в год:

$$Q_{\Gamma} = 47495,84 \cdot 9 = 427462,6, \text{ шт}$$

В месяц:

$$Q_{\text{м}} = \frac{427462,6}{8146,8} \cdot 30 \cdot 24 = 37778,4, \text{ шт}$$

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

$$Q_{\Gamma} = \frac{427462,6 \cdot 2,5}{1000} = 1068,66, \text{ т}$$

Производительность прессы в сутки:

$$Q_{\text{с}} = \frac{1068,66}{8146,8} \cdot 24 = 3,15, \text{ т}$$

Производительность прессы в сутки составляет 3,15 тонн.

### **3.3.3 Расчет себестоимости технологической линии**

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» [14].

Объем готовой продукции за месяц:

$$O_{\text{гот.пр.}} = 3,15 \cdot 28 = 88,2, \text{ т}$$

Расходы по оплате на 1 т готовой продукции составит:

$$P_{\text{опл.пр.}} = \frac{160000}{88,2} = 1814,1, \text{ руб}$$

«Потребление электроэнергии за смену:

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

– 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;

– смеситель - 5,5 кВт/час 1 промес – 2 мин. Перемешивает 500 кг за один промес. Для получения 1 т смеси агломерата из загрязненного 60 полиэтилена и песка понадобится 2 промеса;

Смеситель проработает 4 мин, объем потребляемой энергии составит:

$$O_{\text{потр.эн.}} = \frac{5,5}{60} \cdot 4 = 0,37, \text{ кВт}$$

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

– 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» [14].

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

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

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

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

$$O_{\text{потр.эн.}} = 37 + 96 + 0,37 + 29,6 + 11,6 + 16,8 = 191,37, \text{ кВт}$$

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

$$O_{\text{потр.эн./сут}} = 191,37 \cdot 3,15 = 602,8, \text{ кВт}$$

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 2022 год: 5,04 руб/кВт\*ч» [22].

Стоимость потребляемой электроэнергии в сутки составит 4489,6 руб.

Также для расчета себестоимости полимер-песчаной тротуарной плитки необходимы данные о ценах на сырье. Средняя рыночная стоимость песка карьерного (строительного) составляет 1200 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:

$$F_{\text{л}} = 1200 \cdot 3,15 = 3780, \text{руб}$$

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

$$V_{\text{сут}} = 3780 + 4489,6 = 8269,6$$

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

$$G_{\text{мес}} = (4489,6 \cdot 28) + 160000 = 285709, \text{руб}$$

Производительность полимер-песчаной тротуарной плитки в месяц составляет 37778,4 шт. Исходя из этого, себестоимость одной полимер-песчаной плитки составляет:

$$\frac{285709}{37778,4} = 7,6, \text{руб/шт}$$

Средняя рыночная стоимость плитки составляет 137 руб/шт.

При 100% реализации выручка от продажи в месяц составит:



$$B = 37778,4 \cdot 58 = 5175641, \text{руб}$$

$$\text{Пр} = 5175641 - 285709 = 4889932, \text{руб}$$

Чистая прибыль от производства и продажи полимер-песчаной тротуарной плитки составит 4889932 руб.

### **3.2 Расчет срока окупаемости оборудования для производства полимер-песчаной тротуарной плитки**

Стоимость оборудования, необходимого для запуска производства представлена в таблице 12.

Таблица 12 – «Стоимость оборудования, необходимого для запуска производства полимер-песчаной тротуарной плитки» [14]

«Оборудование	Стоимость, руб
Смеситель универсальный с объемом бункера 1 м <sup>3</sup>	277 700
АПН (экструдер)-300	540 000
Пресс гидравлический Д2430	339 990
Пресс форма	220 000
Ленточный конвейер L-профиля	250 000
Пуско-наладочные работы	50 000
Итого	1677690» [14]

При начальных вложениях размером 1677690 руб., при условии 100% реализации, срок окупаемости составит около 1 месяца.

## Заключение

Производство изделий, изготовленных на основе песка и связующего, а именно агломерата из полиэтилена, является относительно новым направлением в технологиях переработки отходов, стремительно набирающее популярность. В данной работе рассмотрены имеющиеся технологии изготовления полимер-песчаных изделий, их достоинства и недостатки. Изучены данные о патентах по технологии производства полимер-песчаных изделий, а также патенты по составу полимер-песчаного композита. В настоящее время очень остро стоит вопрос утилизации загрязняемого полиэтилена. Промышленность переработки и производства полезных вторичных материалов в России только начинается.

В данной работе были проанализированы технология производства агломерата из загрязненного полиэтилена и последующего производства из этого агломерата полимер-песчаной продукции, в особенности полимер-песчаной тротуарной плитки.

Проведен эксперимент по получению пробных образцов полимер-песчаного изделия без и с использованием добавки для улучшения качества данной продукции. Проведен литературный и патентный обзор, благодаря которому выявлены возможности оптимизации производства полимер-песчаной продукции, а именно рассмотрено перспективное оборудование и улучшение состава полимер-песчаной продукции. Проведены расчеты материального баланса полимер-песчаной плитки с использованием дополнительного компонента и без него. В ходе расчета материального баланса было выявлено, что для снижения потерь при производстве должен использоваться пластификатор – дибутилфталат, благодаря которому потери песка снизились на 3%, а агломерата на 2%.

Также выполнен экономический расчет производства, в ходе которого была выявлена общая стоимость оборудования и окупаемость продукции.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Беданокон А.Ю., Бештоев Б.З., Микитаев М.А., Микитаев А.К., Сазонов В.В. Полиэтилентерефталат: новые направления рециклинга. Пласт. массы. 2019. Вып. 6. С. 18–21
2. Журавлев А.Б. Пути утилизации бытовых отходов полиэтилентерефталата / А.Б. Журавлев, Р.И. Адилов, М.Г. Алимухамедов, Ф.А. Магрупов // Пластические массы. 2019. №3. С. 47-53.
3. Кудрявцева З. А., Ермолаева Е. В. Проектирование производств по переработке пластмасс методом экструзии: учебное пособие к выполнению курсового и дипломного проектов. Владимир: ВГУ, 2020. 96 с.
4. 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, 2018. 163 с.
5. Методические указания для проведения производственной практики на ООО «ЭкоРесурсПоволжье». Описание производственного процесса переработки полиэтиленовых пакетов на ООО «ЭкоРесурсПоволжье».
6. Методические указания для проведения производственной практики на ООО «ЭкоРесурсПоволжье». Участок сортировки ТКО.
7. 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, 2018.
8. Патент № 2170716 РФ. ПЕСЧАНО-ПОЛИМЕРНЫЙ МАТЕРИАЛ // Тарасенко А.М., Жуков А.И. (РФ), Манес Михаэль (ДЕ)
9. Патент № 2773577 РФ. Сырьевая смесь для получения строительного

материала и способ получения строительного материала // Алонин А. Д., Халецкий А. Б., Оленич С. В. (РФ)

10. Патент № 66271 РФ. Технологическая линия по производству полимер-наполненных изделий // Минин Л.В. (РФ)

11. 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.

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

13. Агломераторы: что это такое, назначение и виды URL: <https://oplenke.ru/aglomeratory-chto-eto-takoe-naznachenie-i-vidy/> (дата обращения 15.04.23).

14. Бизнес-план производства тротуарной плитки URL: <https://www.beboss.ru/bplans/191-biznes-plan-proizvodstva-trotuarnoy-plitki/3-opisanie-rynka-sbyta> (дата обращения 22.04.23).

15. Дробилки-измельчители полимерных материалов URL: [http://www.niiasbest.ru/drobilki\\_izmelsiteli](http://www.niiasbest.ru/drobilki_izmelsiteli) (дата обращения 21.03.23).

16. Комплексы для выпуска композитных изделий URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/687857759/?page...> (дата обращения 08.03.23).

17. Оборудование по переработке пластиковых отходов URL: <https://18ps.ru/> (дата обращения 25.02.23).

18. Однороторный и двухроторный агломераторы URL: <https://xn--80aaii3agndqcu.xn--p1ai/apr-30> (дата обращения 20.02.23).

19. Пакеты ПВД и ПНД: Отличия полиэтилена высокого и низкого давления URL: <https://www.tularack.ru/packopedia/pvd-i-pnd-pakety.html> (дата обращения 27.02.23).

20. Полимер-песчаная плитка тротуарная, садовая, террасная и для эксплуатируемой кровли URL: <http://tetto.ru/polimerpeschanaya-plitka/> (дата обращения 06.03.23).

21. Полиэтилен высокого давления (ПВД) URL: <https://propolyethylene.ru/LDPE/> (дата обращения 13.04.23).
22. Тарифы на электроэнергию в 2022 году в Тольятти URL: <https://tarif-zkh.ru/tolyatti/tarify-elektroenergiyi-v-tolyatti/> (дата обращения: 10.03.23).
23. Технические условия на элементы строительные полимер-песчаные URL: <https://xnбkcbaeeywflm3c1andac1au8v.xn--p1ai/tekhnicheskie-usloviya-na-elementy-stroitelnye-polimerno-peschanye-tu> (дата обращения: 11.05.23).
24. Технология производства полимер-песчаной продукции URL: <https://www.stroyportal.ru/articles/article-tehnologiya-proizvodstva-polimerpeschanoy-produkts-7284/> (дата обращения 20.12.22).
25. Типовые нормы трудноустраняемых потерь на предприятиях стройиндустрии URL: [http://www.rucem.ru/tehnology/poteri\\_pr.php](http://www.rucem.ru/tehnology/poteri_pr.php) (дата обращения 18.03.23).
26. 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.
27. 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.
28. Kim Y., Kim D.H. Pretreatment of low-grade poly (ethylene terephthalate) waste for effective depolymerization to monomers. Korean J. Chem. Eng. 2018. V. 35. N 11. P. 2303-2312. DOI: 10.1007/s11814-018-0130-9
29. Malik N., Kumar P., Shrivastava S., Ghosh S.B. An overview on PET waste recycling for application in packaging // International Journal of Plastics Technology. 2020. Volume 21. №1. Pp. 451-464.
30. Nováková K., Šeps K., Achten H. Experimental development of a plastic bottle usable as a construction building block created out of polyethylene terephthalate: Testing PET(b)rick 1.0 // J. Build. Eng. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 12. P. 239–247