

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 звукоизоляционных
панелей из полиэфирного волокна, произведенного из полимерных отходов

Обучающийся

Л.Р. Аксянова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Мельникова

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

Тольятти 2022



Росдистант

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнила: Аксянова Л.Р.

Тема работы: Оптимизация технологического процесса производства звукоизоляционных панелей из полиэфирного волокна, произведенного из полимерных отходов.

Научный руководитель: старший преподаватель кафедры «Химическая технология и ресурсосбережение» Мельникова Д.А.

Объектом исследования в представленной работе является применение полиэфирного волокна, произведенного из переработанного ПЭТ, в производстве звукоизоляционных панелей.

В работе представлен патентный обзор технологий производства полиэфирного воолокна из переработанного ПЭТ, а также технологий по производству звукоизоляционных панелей. В экспериментальной части представлены принципиальные технологические схемы и рассчитан материальный баланс.

Выпускная квалификационная работа состоит из 52 страниц, содержит 6 рисунков и 8 таблиц, а так же, содержит 21 литературный источник.

Содержание

Введение.....	5
1. Литературный обзор.....	7
1.1 Переработка отходов ПЭТ.....	7
1.2. Технология получения ПЭТ волокна	10
1.2.2. RU 2 188 262 C2 Способ переработки отходов полиэтилентерефталата	12
1.2.3. CN 1 033 059 60 B Способ производства полиэфирных штапельных волокон из переработанных полиэфирных бутылок.....	13
1.3. Технология получения звукоизоляционного материала	16
1.3.1. US7998890B2 Нетканая композитная офисная панель	16
1.3.2. RU2485229C2 Нетканый материал и способ получения такого материала	20
1.3.3. US7837009B2 Нетканый материал для звукоизоляции и способ его изготовления.....	22
1.3.4. RU 203791 U1 Звукопоглощающий нетканый материал	24
1.3.5. RU 2 671 058 C1 Звукопоглощающий и изолирующий материал с повышенной термостойкостью и формруемостью и способ его изготовления 27	
2. Экспериментальная часть	31
2.1. Анализ существующей технологии переработки отходов ПЭТ на ООО «ЭкоРесурсПоволжье»	31
2.2. Технологический процесс производства полиэфирного волокна	34
2.2.1. Технологическая схема процесса производства полиэфирного волокна.....	34
2.2.2. Подбор оборудования	36

2.2.3. Материальный баланс	39
2.3. Технология производства звукоизоляционных панелей из полиэфирного волокна	41
2.3.1. Подбор оборудования	43
2.3.2. Материальный баланс	46
Заключение	49
Список используемой литературы и используемых источников.....	51

Введение

Полиэтилентерефталат, более известный как ПЭТ в упаковочной промышленности и обычно называемый «полиэстер» в текстильной промышленности, является незаменимым материалом с широким применением благодаря своим превосходным физическим и химическим свойствам. Свойства, которыми он обладает, включая превосходную прочность на растяжение и ударную вязкость, соответствующую термическую стабильность, химическую стойкость, прозрачность, низкую проницаемость для кислорода и воды и хорошую жесткость, делают его удобным материалом в различных сферах применения. Его использование значительно возросло в последние годы с момента его появления в качестве материала для производства упаковки для напитков. Кроме того, он широко используется в текстильной промышленности и в производстве высокопрочных волокон и фотопленок [6], [10], [13].

ПЭТ сам по себе не представляет прямой опасности для окружающей среды, но, поскольку он является неразлагаемым пластиком в нормальных условиях, он составляет значительный объем всех бытовых отходов, попадающих на свалки. Из-за высокой устойчивости к атмосферным воздействиям и биологическим агентам он не подвергается эрозии и по этой причине считается опасным для человека [6], [8].

Увеличение количества отходов ПЭТ привело к экономическим и экологическим проблемам. Одним из лучших способов утилизации отходов ПЭТ является их переработка. В настоящее время отходы ПЭТ являются одним из самых простых материалов для вторичной переработки. Среди различных методов переработки ПЭТФ (первичная, вторичная или механическая, третичная или химическая, четвертичная с рекуперацией энергии) только химическая переработка соответствует принципам устойчивого развития, поскольку приводит к образованию сырьевых материалов из которого изначально сделан ПЭТ. Производство изделий из

переработанного пластика может сэкономить до 50-60% энергии по сравнению с изготовлением того же изделия из первичной смолы [5], [7], [9].

При переработке ПЭТ следует учитывать три основных фактора: во-первых, это сбор ПЭТ после потребления, во-вторых, сама переработка, и, в-третьих, вопрос о том, существует ли рынок для конечного продукта процесса переработки [10], [12], [13], [17]–[19]. ООО «ЭкоРесурсПоволжье» занимается переработкой отходов ПЭТ с получением ПЭТ флексы, которая потом может использоваться как вторичное сырье в производстве полиэфирного волокна, применяемого в различных областях промышленности.

Целью выпускной квалификационной работы является снижение негативного воздействия на окружающую среду путем оптимизации существующего технологического процесса производства звукоизоляционных панелей из полиэфирного волокна, произведенного из полимерных отходов.

Для реализации вышеназванной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести литературный обзор по теме исследования;
- выполнить теоретический анализ существующих и перспективных энерго- и ресурсосберегающих способов технологического процесса производства звукоизоляционных панелей из полиэфирного волокна, произведенного из полимерных отходов;
- предложить изменения в технологической схеме или в конструкции оборудования;
- выбрать оборудование для его реализации;
- провести расчет материального баланса;
- представить выводы по результатам проведенной работы о возможности и целесообразности предложенной оптимизации.

1. Литературный обзор

1.1 Переработка отходов ПЭТ

Переработка ПЭТ может осуществляться разными способами. Было предложено четыре основных подхода [7]:

1.1.1. Первичная переработка

Данный тип переработки является наиболее популярным, поскольку его легко осуществить, и он относительно не затратный. Перерабатываемый материал должен быть чистым, свободным от загрязнений и не смешиваться с другими типами материалов. Он смешивается с первичным сырьем в количествах и способами, обеспечивающими надлежащее качество производимой продукции. Он также может быть использован в качестве материала второго сорта [7].

1.1.2. Механическая переработка (вторичная переработка)

Полимерный материал отделяют от примесей и превращают в гранулы путем обычной экструзии расплава. Механическая переработка состоит из следующих этапов: сортировка, удаление примесей, измельчение, фильтрация расплава и риформинг пластика. Основным недостатком этого метода является тенденция к ухудшению свойств продукта в каждом последующем цикле, что связано со снижением молекулярной массы рециклируемого полимера вследствие цепной реакции полимера, инициируемой присутствием примесей воды и кислоты. Методы, используемые для предотвращения побочных реакций, включают интенсивную сушку, повторную обработку с помощью вакуумной дегазации, использование соединений, удлиняющих цепь, и т. д .

Первоначально в большинстве случаев производят механическую переработку, которая включает в себя сортировку, мойку и измельчение. Такой вариант подходит для термопластичного отхода ПЭТ поскольку в

процессе переработки производится термическое воздействие на материал с целью получения вторичного сырья [7].

Кроме того, ПЭТ, как и большинство полимеров, разлагается в течение всего срока службы из-за различных факторов, таких как температура, ультрафиолетовое излучение, кислород, озон и механические нагрузки, что приводит к изменению свойств по сравнению со свойствами исходного ПЭТ [7].

Механическая переработка может включать в себя следующие этапы, каждый из которых может выполняться или вообще отсутствовать или присутствовать несколько раз на протяжении всей последовательности:

- разделение и сортировка: это происходит по форме, плотности, размеру, цвету или химическому составу;
- пакетирование: если пластик не обрабатывается там, где он сортируется, его часто упаковывают между ними для транспортировки;
- мойка: удаление (часто органических) загрязнений;
- измельчение: измельчение продуктов до хлопьев;
- компаундирование и гранулирование: необязательная переработка хлопьев в гранулят, который легче использовать для конвертеров, чем хлопья.

Преимущества механической переработки по сравнению с химической включают относительно простой метод, низкие затраты, использование установленного оборудования, гибкость в отношении объема исходного сырья и незначительное негативное воздействие на окружающую среду [1], [6]–[9].

1.1.3. Третичная переработка

Третичная переработка определяется как процесс, ведущий к полной деполимеризации ПЭТФ в мономеры или олигомеры. Только химическая переработка соответствует принципу устойчивого развития, поскольку приводит к образованию сырья или мономеров, из которых изначально изготавливается ПЭТФ [7].

1.1.4. Четвертичный рецикл

Рекуперация энергии относится к восстановлению энергетической ценности пластика. В настоящее время это наиболее эффективный метод уменьшения объема органических материалов. Хотя полимерные материалы являются ценным источником энергии, этот метод в настоящее время широко обвиняют в том, что он является экологически неприемлемым из-за риска для здоровья от переносимых по воздуху токсичных веществ, таких как диоксины [1].

В дополнение к методам, упомянутым выше, интересным решением представляется прямое повторное использование ПЭТ. Во многих странах обычной практикой является повторное наполнение и повторное использование ПЭТ-бутылок. Однако пластиковые бутылки впитывают загрязнения легче, чем стеклянные. Затем примеси могут мигрировать в пищу при повторном наполнении упаковки., а наполнение ПЭТ-бутылок напитками с высоким содержанием алкоголя может вызвать деградацию полимерной цепи.

Многочисленные исследования показали, что эффективная переработка ПЭТ может быть достигнута при условии, что используемые хлопья ПЭТ соответствуют набору конкретных минимальных требований.

Особое значение имеют содержание и тип примесей, присутствующих в ПЭТФ-хлопьях. Образец минимальных требований показан в таблице 1 [7].

Таблица 1 - Минимальные требования к хлопьям вторичного полиэтилентерефталата для переработки [7].

Свойства	Значения
Коэффициент вязкости $[\eta]$	$>0,7 \text{ см}^3/\text{г}$
Точка плавления T_m	$>240^\circ\text{C}$
Содержание воды	$<0.02 \text{ масс.}\%$

Продолжение таблицы 1

Свойства	Значения
Размер флексы	$0.4 \text{ мм} < D < 8 \text{ мм}$
Содержание красителя	<10 ppm
Индекс пожелтения	<20
Содержание металла	<3 ppm
Содержание поливинилхлорида	<50 ppm
Содержание полиолефинов	<10 ppm

1.2. Технология получения ПЭТ волокна

Полиэфиры как первичные материалы обычно производятся из нефти, из которой получают составляющие кислоты и спирты. Полиэфирные волокна используются во многих областях, например, в коврах, волокнистом наполнителе и нетканых материалах. Они также используются в промышленности. Отходы ПЭТ аналогично используют для создания полиэфирного волокна [6], [7]. Примерный общий алгоритм процесса представляет собой следующий порядок:

- производят сбор и разделение ПЭТ отходов от мусора;
- полученный материал подвергают очистке и далее измельчают;
- затем эти хлопья сушат и направляют в вакуумные сушилки, где поверхностная влага удаляется, хлопья размягчаются/кристаллизуются и высушиваются;
- затем эти высушенные хлопья отправляются в экструдер для создания волокна. Волокно получают с различной плотностью и длиной.

Процесс описан в патентах, которые рассматривают технологию получения полиэфирного волокна из полиэтилентерефталатного сырья [4], [10], [19].

1.2.1. RU 2 531 296 C2 Способ получения териленового волокна из полиэфирных отходов

В патенте авторы предлагают новый способ получения высокопрочной полиэфирной нити из переработанного ПЭТ сырья. Процесс получения заключается в нескольких этапах [21]:

- очищенные, высушенные отходы пэт с содержанием воды не более 30 ppm направляют в шнековый расплавитель и полиэфирный расплав экструдировать при температуре 260-295°С;

- полиэфирный расплав дважды фильтруют для удаления примесей;

- реакцию макромолекулярной полимеризации полиэфирного расплава проводят для придания однородности молекулярной массе макромолекулярного полимера и для повышения вязкости полиэфира. дважды отфильтрованный полиэфирный расплав направляют в реактор для гомополимеризации и повышения клейкости и затем проводят реакцию полимеризации полиэфирного расплава, чтобы придать однородность молекулярной массе макромолекулярного полимера и повысить вязкость расплава до определенной степени, в вакууме 70~100 па и при температуре 280~295°С;

- расплав с повышенной вязкостью тонко фильтруют, используя прецизионный фильтр для расплава. расплав, воспроизведенный после этапа 3, подают на прецизионный фильтр для расплава посредством нагнетательного насоса для повторной фильтрации, размер ячейки которой может составлять ≤ 20 мкм;

- давление полученного расплава повышают до 12,0 мпа~18,0 мпа шестеренным насосом и направляют непосредственно в систему формования по трубе для расплава (температура теплопередающей среды трубы составляет 270~285°С);

- расплав проходит через дозирующий насос, компоненты и фильеры в прядильной кружке и затем экструдироваться в элементарные нити, которые охлаждают и отверждают поперечным обдувом при температуре 20~25°С. температуру формующего коллектора поддерживают в диапазоне от

285°С до 295°С, и давление в компонентах поддерживают в диапазоне от 15,0 мпа до 20,0 мпа;

– полученные нити наматывают;

Данный вариант предполагает производство в конечном итоге нитей в качестве итогового продукта. Промежуточные этапы, которые описаны выше могут быть взяты для основы процесса производства полиэтилентерефталевого волокна, которое далее может служить исходным материалом в получении экономически более выгодных продуктов [21].

1.2.2. RU 2 188 262 С2 Способ переработки отходов полиэтилентерефталата

Описанное в данном патенте изобретение относится к методу переработки вторичных термопластичных полимеров в изделия и может быть использован при изготовлении различных волокнистых материалов. Способ обеспечивает возможность переработки разнородных промышленных и бытовых отходов в волокнистые материалы без добавления первичного сырья [20].

Предлагаемый способ осуществляется представляет собой следующий процесс. Отходы ПЭТ подвергают очистке, измельчают, сушат и в нагретом состоянии при температуре выше температуры стеклования ПЭТФ (70-85°С) подают в цилиндр экструзионного генератора волокон. В процессе транспортировки измельченные отходы ПЭТ разогреваются, плавятся и гомогенизируются. Полученный расплав продавливается через фильеру волокнообразующей головки в виде вязкотекучего волокна. На выходе из фильеры волокно подхватывается нагретой до температуры 190-350°С закрученной по спирали струей газа (например, воздуха). При этом происходит вытяжка волокна и его утончение. Закрученный поток газа увеличивает интенсивность силового и теплового воздействия по сравнению с прямоточной струей, а следовательно, и усилие растяжения, что приводит к кристаллизации ПЭТ в условиях интенсивного растяжения волокна. Это позволяет получить волокно с более высокой степенью молекулярной

ориентации и однородного по диаметру. Кристаллизация ПЭТФ в процессе интенсивной вытяжки волокна приводит к образованию в нем кристаллических форм, ориентированных в направлении силового поля и сообщающих волокну высокую прочность. При этом подвижность частей молекул, расположенных в аморфных областях, оказывается ограниченной за счет того, что другие их части входят в состав кристаллических областей, т.е. фиксируется молекулярная структура волокна [20].

Для повышения прочности волокон к дробленным отходам ПЭТФ можно добавлять кристаллизующие добавки, например минеральные наполнители (диоксид титана, триоксид сурьмы и т.п.) в количестве до 2%. Введение этих наполнителей в большем количестве приводит к снижению прочности волокон, они становятся мутными и хрупкими.

Полученные по предлагаемому способу волокнистые материалы можно использовать в качестве фильтров, сорбентов для сбора различных нефтепродуктов, материалов для набивки мягкой игрушки, подушек, мягкой мебели. В данном патенте приведено описание принципиального процесса по производству волокон из ПЭТ и важные технологические характеристики, которые необходимо учитывать в разработке и оптимизации производств данного типа.

1.2.3. CN 1 033 059 60 В Способ производства полиэфирных штапельных волокон из переработанных полиэфирных бутылок

Изобретение раскрывает способ производства полиэфирных штапельных волокон из переработанных полиэфирных бутылок. Способ включает следующие этапы: повторное использование отходов полиэфирных бутылок и выполнение дробления, очистки, загрузки, экструзии из расплава, прядения-экструзии, вытягивания, сушки, калибровки и резки переработанных полиэфирных бутылок для получения полиэфирных штапельных волокон. Способ производства, раскрытый в изобретении, не только экономит природные ресурсы, но также снижает загрязнение окружающей среды и защищает окружающую среду, тем самым обеспечивая

хорошие экономические и социальные выгоды, а пропорции сырья можно регулировать для получения продуктов с заданными характеристиками. Данный патент зарегистрирован в КНР и изобретение, описанное выше соответствует классам продукта стандарта текстильного сырья Китая [2].

Способ регенерации полиэфирных бутылок для производства полиэфирного штапельного волокна, отличающийся тем, что включает следующие этапы:

- после сортировки, снятия этикетки, предварительной очистки полиэфирные бутылки рекуперации разламываются на бутылочное полотно;
- полученный материал подвергают обеззараживанию в воде с температурой 95°C или 100°C;
- материал попадает во вращающийся барабан устройства для сушки паром на 9 ~ 11 часов при 145°C ~ 150°C, так же добавляют соответствующий отбеливающий порошок, диоксид титана и перемешивают с порошком в течение 0,5-2,5 часов, далее сырье доставляется в экструдер, а экструдированный расплав, после фильтрования входит в трубопровод расплава для соответствующего дозирования количество расплава для экструзии при 270°C или 285°C и давлении 5 ~ 10 МПа. Материал становится жгутом из прядильного волокна, опять же за счет направленной тяги, охлаждение происходит за счет движения воздушного потока, также на данном этапе снимают статическое электричество;
- производят формирование волокна путем пропускания полупродукта через обжимные механизмы.

В данном случае описан процесс ориентированный для получения ПЭТ волокна для дальнейшего его использования в текстильной промышленности. Кроме целевого использования данные патента могут быть использованы для линий производства сырья в качестве полиэфирного волокна, что является востребованным материалом и обладает выгодой с экономической точки зрения [2].

При сравнении взятых для обзора патентов можно отметить общие характеристики, по которым осуществлен их отбор:

- в качестве сырья для волокон использовали ПЭТ-флекс, полученные из переработанных отходов ПЭТ;
- первоначальная обработка материала включает в себя механическую переработку, отмывание и обеззараживание;
- процесс начинается с экструзии горячего расплава

В виду различного применения в патентах присутствуют различия в технологии. Получаемые волокна обладают потенциалом использования как в аппаратной промышленности, так и в текстильной, за счет прочности получаемого волокна и применения добавок.

Патент RU 2 531 296 С2 содержит в технологическом процессе стадию с проведением реакции гомополимеризации. Наличие данного этапа повышает однородность молекулярной массы и повышает вязкость, но для создания волокна с параметрами, подходящими для использования волокон в технологическом процессе производства панелей это не требуется. Соответственно, наличие стадии с реакцией увеличивает процесс и необоснованно увеличивает стоимость производства.

Патент CN 1 033 059 60 рассматривает получение полиэфирного волокна для использования в текстильной промышленности, что сказывается в данном случае на технологическом процессе. Стадия обеззараживания и сушки с диоксидом титана не являются необходимыми при получении полиэфирного волокна для промышленных целей, кроме текстильной сферы. В данном случае эти этапы описаны как обязательные по описанию изобретения. Для дальнейшего продукта данные стадии не имеют целесообразного основания, поэтому данный патент не стоит рассматривать в качестве варианта.

Однако стоит подчеркнуть, что общие стадии процесса, описанные в данных патентах, являются информативными, поскольку процесс описан подробно с указанием параметров.

Выбранный за основу патент RU 2 188 262 C2 предлагает технологию для получения волокон, используемых в промышленности для производства фильтров, сорбентов, наполнителей и мебели. В случае данного патента добавление минерального наполнителя носит рекомендательный характер, что значительно упрощает процесс. Кроме того, после механической переработки отходов ПЭТ материал должен быть высушен при 70-85°C и далее он сразу подвергается экструзии. Процесс состоит из 4 основных стадий, что отличает его простотой и удобством для внедрения на действующее предприятие. Так же простота этапов производства волокна способствует уменьшению затрат на закупку оборудования для обеспечения новой технологической линии.

1.3. Технология получения звукоизоляционного материала

Одним из перспективных направлений использования полиэфирного волокна является производство тепло- и звукоизоляционного материала на основе полиэфирного волокна. Большая часть работ, представленных по данному вопросу, включают использование первичного материала для получения продукта, в то время как переработка ПЭТ отходов может удешевить данное производство и оказать благоприятный экологический эффект. Материалы, изготавливаемые из полиэфирного волокна, а в частности из ПЭТ волокна, обладают хорошими звукоизоляционными свойствами, которые применяют в производстве машин, техники, при строительных работах и в интерьере. Такой материал обеспечивает снижения шумов, что положительно влияет на здоровье человека. В патентах представлены различные варианты звукоизоляционных панелей, в основе которых находится полиэфирное волокно, сформированное в нетканый материал [6], [12], [17]–[19].

1.3.1. US7998890B2 Нетканая композитная офисная панель

Предложен гомогенный нетканый композит, содержащий в своем составе придающие прочность волокна с высоким значением плотности и

связующие волокна с меньшим значением плотности (рисунок 1). В предпочтительном варианте все волокна состоят из одного и того же материала, например, полиэстера. Полученный материал обладает огнестойкостью, прочностью, жесткостью, а также обладает гладкой поверхностью [3]. Технологическая схема процесса показана на рисунке 2.

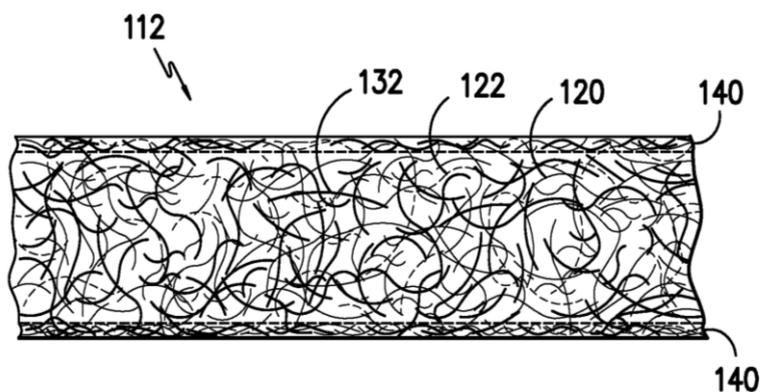


Рисунок 1 – Слои нетканого звукоизолирующего материала

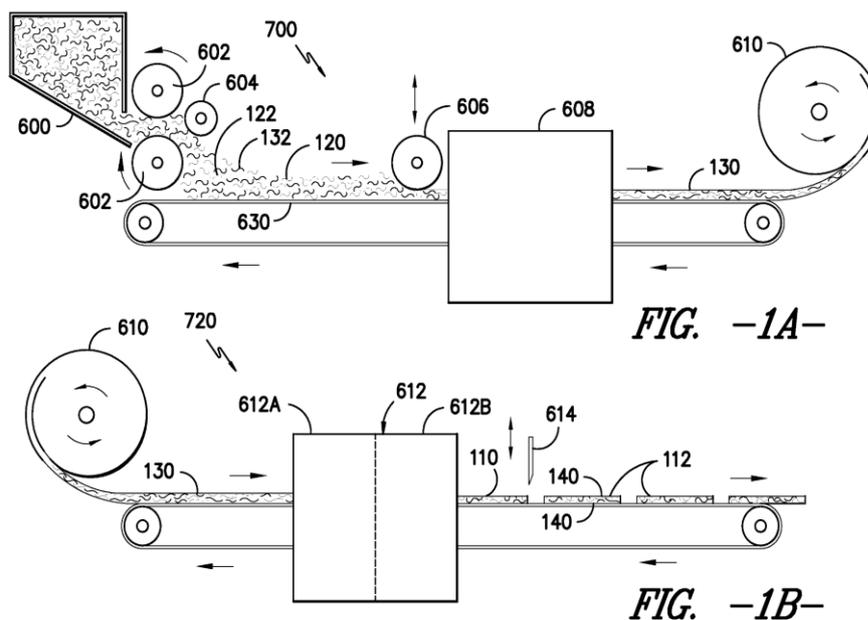


Рисунок 2 – Технологические схемы процесса

Этот процесс выполняется с использованием оборудования 700 для воздушной укладки, которое коммерчески доступно от Fehrer AG из Линца,

Австрия, под торговой маркой «K-12 HIGH-LOFT RANDOM CARD». При подготовке к обработке волокна, придающие прочность, связующие и огнестойкие волокна взвешивают, вскрывают, смешивают и расчесывают [3].

Процесс описывается в патенте как алгоритм из нескольких этапов [3]:

- связующие волокна 120, огнестойкие волокна 122 и волокна 132, придающие прочность, подаются из емкости 600 через пару вращающихся направляющих роликов 602 к отклоняющемуся ролику 604;

- отклоняющий ролик 604 расположен так, что он создает турбулентность в пространстве между отклоняющим валиком 604 и направляющими валиками 602, которые служат для смешения волокон 120, 122 и 132 в однородную смесь;

- затем волокна 120, 122 и 132 помещаются на собирающую ленту 630. если бы отклоняющий ролик 604 отсутствовал, то волокна 132, придающие прочность, выступали бы дальше вдоль собирающей ленты 630 из-за их большего значения плотности;

- однако наличие отклоняющего ролика 604 приводит к смешиванию волокон 120, 122, 132, так что такие волокна относительно равномерно распределяются на собирающую ленту 630;

- определенный процент выступающих волокон 120, 122 и 132 имеет тенденцию быть ориентированным в направлении «z» (то есть несколько вертикально по отношению к собирающей ленте 630), тем самым придавая волокнистому полотну высокий объем. такая высокая ориентация по оси z позволяет изделию иметь более высокую прочность на сжатие и больший объем. ориентация z может быть изменена по изменению положения микшера;

- затем поднятое волокнистое полотно подается под регулируемый валик 606 для установки зазора, который начинает сжимать волокна 120, 122 и 132 в нетканое полотно;

- нетканое полотно транспортируется через печь 608, где температура устанавливается для размягчения связующих волокон 120, так что, по меньшей мере, некоторые из оболочек связующих волокон 120, по

меньшей мере, частично расплавляются и скрепляют волокнистые компоненты вместе в слабо скрепленную панель 130;

– эта же печь имеет зону охлаждения, в которой продукт затем охлаждается для стабилизации нетканого полотна до тех пор, пока, при желании, не может быть завершен процесс формирования уплотненного композита;

– какие-то офисные панели производят с подложкой. этот продукт можно разрезать на подходящие размеры и использовать в этой форме, или же полотно 130 наматывают на приемный рулон 610 или другое устройство для будущей обрезки по размеру;

– как показано в фиг.1б, рыхло скрепленную панель 130 затем транспортируется через устройство 612, предпочтительно имеющее зону 612, а нагрева и зону охлаждения 612 в. такая обработка может эффективно происходить в двухленточном прессе, ламинаторе, прессе с горячей и холодной зонами или с другим подобным оборудованием;

– в зоне нагрева 612а рыхло скрепленная панель 130 сжимается до желаемой толщины по роликам с регулируемым зазором (не показаны) и нагревается до температуры, достаточной для расплавления легкоплавкого компонента связующего волокна 120;

– таким образом, оболочки связующих волокон 120 расплавляются и протекают через полотно 130, склеивая полотно вместе и образуя пленкообразную оболочку 140 на обеих внешних поверхностях уплотненного нетканого материала 110;

– покрытие 140 в основном изготовлено из легкоплавких оболочек связующих волокон 120. огнестойкие волокна 122 и волокна 132, придающие прочность, тоже могут быть, но в меньшей степени. хотя была сделана ссылка на связующие волокна типа сердцевина-оболочка, следует понимать, что вместо них можно использовать другие типы связующих волокон, а также волокна из одного легкоплавкого полимера;

– в зоне охлаждения 612в уплотненный нетканый материал 110

охлаждается с использованием охлажденной воды для охлаждения валиков;

– при перемещении уплотненного нетканого материала 110 через зону 612в охлаждения расплавленные связующие волокна 120 затвердевают, и окончательная высота нетканого материала 110 устанавливается на требуемой высоте;

– как только уплотненный нетканый материал 110 выходит из зоны 612в охлаждения устройства 612, он транспортируется через режущее устройство 614, такое как резак гильотинного типа. вместо этого можно использовать другое режущее устройство, если это целесообразно или желательно.

Уплотненный нетканый материал 110 разрезается на панели 112 из нетканого композита нужных размеров. Процессы формирования и укрепления (ФИГ. 1А и 1Б) могут быть объединены таким образом, что не происходит сворачивания слабо скрепленного полотна. Вместо этого линия спроектирована так, что нагреватели нагревают только волокнистый нетканый материал и исключают процесс охлаждения. Затем нагретый нетканый материал поступает в печь для прессования, где панель нагревается, а затем охлаждается, как описано выше. Комбинация двух процессов позволяет запускать продукт на 50 % быстрее, чем два отдельных процесса [3].

Приоритетно в данном процессе используется полиэтилентерефталатное или фосфорорганическое волокно. В данном случае по мере возможности может применяться один вид волокна, удовлетворяющий параметрам процесса. В работе представлена технологическая схема формирования полотна, которая может быть адаптирована под конкретное предприятие в зависимости от потребностей в материале.

1.3.2. RU2485229C2 Нетканый материал и способ получения такого материала

Нетканый материал и способ его формирования обеспечивают для формирования в целом ровного или плоского самонесущего ядра неорганического основного волокна и органического вяжущего волокна,

предпочтительно применяя аэродинамическую холстформирующую головку. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления органическое основное волокно имеет прочность волокна при нагрузке на разрыв приблизительно 10 г или меньше и удлинение приблизительно 20 процентов или меньше. Предпочтительно, органическое вяжущее волокно имеет вяжущий компонент и структурный компонент в единичных нитях волокна. В одном аспекте структурный компонент органического вяжущего волокна имеет композицию, эффективную, чтобы обеспечить его прочность, таким образом нетканый материал можно резать вручную с минимальным усилием. В такой форме нетканый материал является подходящим, чтобы работать в качестве плиты акустического потолка [15].

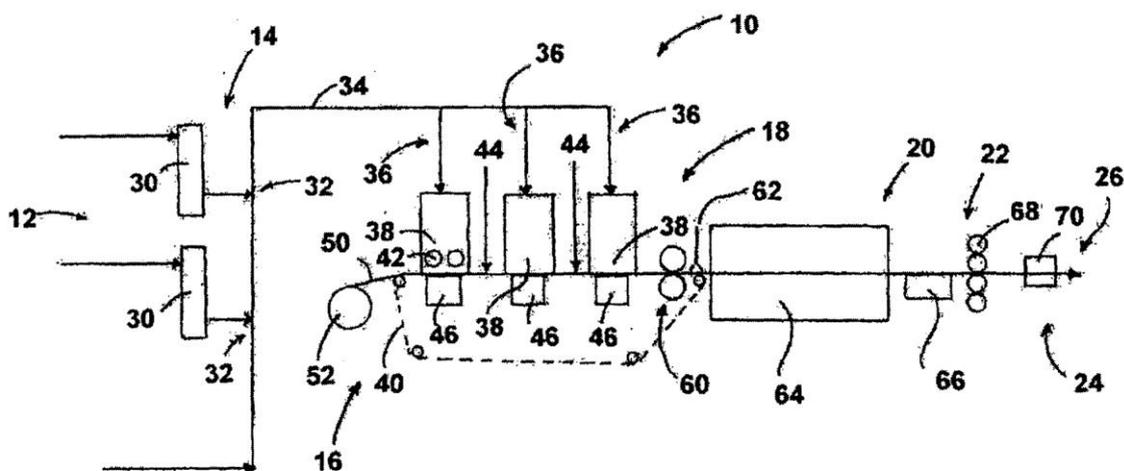


Рисунок 3 – Технологическая схема

Плиты акустического потолка обычно выполняются посредством способа мокрой выкладки, который использует водную среду, чтобы транспортировать и формировать основные компоненты в нетканый мат, применяемый для формирования ядра плиты акустического потолка (рисунок 3).

Основной способ включает этап, на котором первично перемешивают различные ингредиенты плиты в водную суспензию.

Водную суспензию затем транспортируют к напорному баку и

распределяют по движущемуся ячеистому проволочному полотну, чтобы сформировать однородный мат, имеющий желаемый размер и толщину. Воду затем удаляют и мат сушат [15].

Затем высушенный мат может быть подвергнут окончательной обработке до структуры плиты потолка посредством нарезки, перфорирования, покрытия и/или ламинирования покрытия поверхности до плиты [15].

В способе мокрой выкладки вода служит в качестве транспортной среды для различных ингредиентов плиты. Данный способ мокрой выкладки является приемлемым, поскольку могут быть получены высокие скорости производства и может применяться дешевое сырье (например, переработанные волокна газетной бумаги, переработанная гофрированная бумага, волокна полиэфирных отходов, хлопковый пух, отходы тканей и подобное). Однако применение воды для производства плиты акустического потолка имеет ряд недостатков, которые делают способ и готовый продукт не такими привлекательными. Несмотря на это в патенте представлена технологическая схема и алгоритм производственного процесса, который может быть изменен в зависимости от требований конкретного производства.

1.3.3. US7837009B2 Нетканый материал для звукоизоляции и способ его изготовления

Предложен улучшенный звуко- и теплоизолирующий огнестойкий композиционный материал, пригодный для использования в конструкциях, таких как здания, бытовые приборы, внутренние салоны и внешние компоненты автомобилей. Материал состоит, по меньшей мере, из одного волокнистого слоя аэродинамической укладки с контролируемой плотностью и составом, а также включает подходящие связующие вещества и добавки, необходимые для снижения уровня шума, огнестойкости и устойчивости к плесени. Отдельно предлагается аэродинамическая структура, которая обеспечивает уменьшенный регулируемый поток воздуха через нее, полезный для звукоизоляции, и которая включает тканый или нетканый холст. Также

предложен способ производства огнестойкого нетканого материала [5].

Волокна целлюлозы могут быть смешаны с синтетическими волокнами, такими как полиэфир, нейлон, полиэтилен или полипропилен. Синтетические волокна, подходящие для использования в качестве матричных волокон, включают ацетат целлюлозы, полиолефины (включая полиэтилен и полипропилен), нейлон, полиэстер (включая полиэтилентерефталат (ПЭТФ)), винилхлорид и регенерированную целлюлозу, такую как вискозное волокно, стекловолокно, керамическое волокно, и различные двухкомпонентные волокна, известные в данной области техники. Хотя двухкомпонентные волокна могут служить в качестве матричных волокон в нетканом материале по настоящему изобретению, они будут более подробно описаны и обсуждены ниже в контексте их роли в качестве связующего волокна [5].

В настоящем изобретении описан способ производства огнестойкого нетканого материала, включающий:

- на движущейся перфорированной проволоке из одной или нескольких формовочных головок нанесение смеси, содержащей: от примерно 95 массовых процентов до примерно 40 массовых процентов матричных волокон; от примерно 60 массовых процентов до примерно 5 массовых процентов связующего вещества сердцевины для формирования сердцевины нетканого материала, где массовые проценты от общей массы сердцевины, и огнезащитный состав;

- нагревание нетканого материала для консолидации смеси волокон матрицы и связующего; или же, нанесение на движущуюся перфорированную проволоку: тканый или нетканый носитель с плотностью от примерно 10 г/м² до примерно 2000 г/м²; с последующим нанесением на носитель из одной или нескольких формирующих головок смеси, содержащей: от примерно 95 массовых процентов до примерно 40 массовых процентов матричных волокон, огнезащитный, и от примерно 60 процентов по массе до примерно 5 процентов по массе связующего вещества сердцевины для образования основы из нетканого материала, где массовые проценты основаны на общей массе

сердцевины, и таким образом, чтобы носитель составлял единое целое с поверхностью нетканого материала;

– нагревание нетканого материала для консолидации смеси волокон матрицы и связующего, где: сердцевина имеет базовую массу от примерно 200 г/м² до примерно 3000 г/м², ядро имеет плотность от примерно 0,015 г/см² до примерно 0,10 г/см², и нетканый материал имеет снижение передачи звука на 5 децибел или более в тесте на передачу звука LSTT.

Способ производства огнезащитного нетканого материала может дополнительно включать этапы нанесения огнезащитного средства на первую поверхность нетканого материала, вторую поверхность нетканого материала или нематричные волокна или их комбинацию. Способ также может включать этапы получения измельченного листа, необязательно предварительно обработанного огнезащитным или водоотталкивающим антивыщелачивающим средством или их комбинацией. Затем предварительно обработанный измельченный лист можно подавать в молотковую мельницу для создания матричных волокон, содержащих огнезащитный или водоотталкивающий антивыщелачивающий агент, или их комбинацию [5].

В данной работе представлен вариант использования смешанного сырья, такого как целлюлоза и полиэфирное сырье.

1.3.4. RU 203791 U1 Звукопоглощающий нетканый материал

Полезная модель относится к нетканому звукопоглощающему трехслойному материалу на основе полиэфирных волокон, который может быть использован для звукоизоляции строительных конструкций и сооружений, для снижения уровня шума внутри салонов транспортных средств, а также для изготовления шумозащитных конструкций, снижающих шум различных стационарных машин и механизмов, для придания акустического комфорта в различного рода помещениях и т.п. Технический результат заключается в повышении эффективности звукопоглощения в диапазоне частот 630-6300 Гц, в особенности, в диапазоне 2500-3150 Гц. Звукопоглощающий нетканый материал представляет собой трехслойную

структуру в виде полотна из смеси полиэфирных волокон, при этом указанная смесь содержит полиэфирное легкоплавкое волокно с линейной плотностью 0,19-0,25 текс, полиэфирное регулярное волокно 1 с линейной плотностью 0,28-0,42 текс, полиэфирное регулярное волокно 2 с линейной плотностью 0,07-0,20 текс, а также полиэфирное регулярное ультратонкое волокно с линейной плотностью 0,02-0,05 текс в количестве 10-20 мас. %, при этом лицевой наружный и противоположный ему наружный слой материала сформированы путем термокаландрирования материала основного слоя [11].

Технология изготовления материала включает в себя следующие этапы.

- все волокнистое кипованное сырье подвергается предварительному разрыхлению и дозированию;
- далее используемое волокнистое сырье проходит процессы грубого и тонкого разрыхления и перемешивания;
- затем на чесальной машине происходит упорядочивание волокнистого сырья и образование пророчеса с последующей формировкой холста и выравнивания структуры с помощью драфтера;
- после этого в термопечи происходит процесс термоскрепления полиэфирных волокон за счет легкоплавких бикомпонентных волокон, оболочка которых подплавляется, соединяя смесь волокон, так как остальные волокна в составе материала являются более тугоплавкими;
- одновременно под воздействием температуры и давления транспортеров в печи полиэфирные волокна в зависимости от их температуры плавления и диаметра подвергаются пластической деформации в определенной степени, что позволяет получить заданную структуру основного звукопоглощающего полотна;
- затем панель обрабатывается валковым термокаландром, где происходит подплавление его поверхностей с обеих сторон до заданной степени;
- в качестве неограничивающего примера полимер оболочки бикомпонентного волокна может быть выбран из низших полиолефинов или

сополимеров низших олефинов, имеющих температуру плавления 110-180°C, а полимер ядра может представлять собой полиэтилентерефталат с температурой плавления 230-270°C;

В предпочтительном варианте осуществления линейная плотность полиэфирного легкоплавкого волокна в смеси полиэфирных волокон может составлять 0,22 текс, линейная плотность полиэфирного регулярного волокна 1 может составлять 0,33 текс, линейная плотность полиэфирного регулярного волокна 2 может составлять 0,11 текс, а с линейной плотность полиэфирного регулярного ультратонкого волокна - 0,03 текс [11].

Содержание полиэфирных волокон в смеси, из которой получают заявленный звукопоглощающий материал, может составлять для полиэфирного легкоплавкого волокна 20-40 мас. %; для полиэфирного регулярного ультратонкого волокна - 10-20 мас. %; для полиэфирного регулярного волокна 1 - 10-20 мас. %; и для полиэфирного регулярного волокна 2 - оставшаяся часть до 100 мас. %.

В предпочтительном варианте реализации полезной модели содержание полиэфирных волокон в указанной смеси может составлять для полиэфирного легкоплавкого волокна 30 мас. %; для полиэфирного регулярного ультратонкого волокна - 10-20 мас. %; для полиэфирного регулярного волокна 1-15 мас. %; и для полиэфирного регулярного волокна 2 - 35-45 мас. %.

Таким образом, для улучшения звукопоглощающих свойств предлагаемого материала, в особенности, в диапазоне 2500-3150 Гц, в него введено полиэфирное регулярное ультратонкое волокно с линейной плотностью 0,03 текс в количестве 10-20 мас. %. Суммарная длина данного волокна в 1 м² материала составляет в среднем 5000×Р погонных метров, что с учетом содержания остальных волокон составляет в сумме 9090×Р погонных метров. Это значительно превышает величину соответствующей суммарной длины волокон, которая у прототипа максимально может составлять 4191×Р погонных метров [11].

1.3.5. RU 2 671 058 C1 Звукопоглощающий и изолирующий материал с повышенной термостойкостью и формуемостью и способ его изготовления

Изобретение относится к звукопоглощающему и изолирующему материалу с повышенной термостойкостью и формуемостью и к способу его изготовления, а точнее к звукопоглощающему и изолирующему материалу, имеющему в качестве поверхностного слоя термостойкий материал, приготовленный путем пропитывания связующим веществом нетканого полотна, образованного из термостойкого волокна, уложенного на одной стороне базового слоя, образованного из стандартного звукопоглощающего и изолирующего материала, и к способу его изготовления. Звукопоглощающий и изолирующий материал согласно настоящему изобретению представляет собой стандартный звукопоглощающий и изолирующий материал, который обладает повышенным звукопоглощающим свойством, ингибированием пламени, теплоизолирующим свойством и термостойкостью, по сравнению со стандартным звукопоглощающим и изолирующим материалом, пригодный для деталей, поддерживаемых при высоких температурах 200°С или выше, благодаря поверхностному слою, и формуемый, с образованием желаемой формы в ходе отверждения связующего вещества, пропитывающего поверхностный слой. Поэтому звукопоглощающий и изолирующий материал согласно настоящему изобретению может быть широко использован в областях промышленности, требующих наличия звукопоглощающих и изолирующих материалов, включая электроприборы, такие как кондиционер, холодильник, стиральная машина, газонокосилка, и т.п., транспортное средство, такое как автомобиль, корабль, самолет и т.п., конструкционные материалы, такие как стеновой материал, настилочный материал, и т.п., и т.д [14].

Звукопоглощающий и изолирующий материал, в котором термостойкое волокно представляет собой одно или более волокон, выбранных из группы, состоящей из арамидного волокна, волокна оксидированного

полиакрилонитрила (окси-ПАН), волокна полиимида (ПИ), волокна политетрафторэтилена (ПТФЭ), углеродного волокна, стекловолокна, базальтового волокна, кремнеземного волокна и керамического волокна [14].

Способ изготовления звукопоглощающего и изолирующего материала содержит несколько стадий:

- погружение нетканого полотна, содержащего 30-100 мас.% термостойкого волокна, в раствор связующего вещества;
- формирование поверхностного слоя путем сушки нетканого полотна; и
- укладку поверхностного слоя на одну сторону базового слоя, образованного из стандартного звукопоглощающего и изолирующего материала, при этом раствор связующего вещества содержит 1-30 мас.% связующего вещества, 0,1-10 мас.% отвердителя, 0,01-5 мас.% катализатора, 1-30 мас.% ингибитора горения и 40-95 мас.% растворителя, и связующее вещество равномерно распределено и прикреплено к поверхности нитей нетканого полотна и поддерживает или дополнительно образует микрополости нетканого полотна.

Далее возможна дополнительная формовка звукопоглощающего и изолирующего материала при высокой температуре [14].

Настоящее изобретение обеспечивает способ изготовления звукопоглощающего и изолирующего материала, соответственно, включающий в себя: этап погружения нетканого полотна, содержащего 30-100 мас.% термостойкого волокна, в раствор связующего вещества; этап формирования поверхностного слоя путем сушки нетканого полотна; этап укладки поверхностного слоя на одну сторону базового слоя, образованного из стандартного звукопоглощающего и изолирующего материала.

По аналогии с патентным обзором технологий производства полиэфирного волокна провели анализ патентов, содержащих технологический процесс по производству звукоизолирующего материала. Звукоизолирующие панели получают в основном двумя подходами:

– смешение полиэфирных волокон с различной линейной плотностью и температурой плавления с дальнейшей термообработкой с целью скрепления в единый нетканый материал – панель, обладающую звукоизолирующими свойствами;

– так же нетканый материал с похожими свойствами получают при комбинации минеральных, природных и полиэфирных волокон, готового нетканого материала методом иглопробивания, что подразумевает более сложный процесс изготовления панели.

Для изготовления звукоизолирующей панели из полиэфирного волокна, полученного из переработанного ПЭТ, используется процесс, состоящий из небольшого количества стадий и с применением дополнительного волокна, поскольку волокно из ПЭТ обладает высокой температурой плавления.

В патенте US7998890B2 описан процесс с использованием оборудования, произведенного в Австрии. Этапы процесса достаточно просты и удобны для переноса его на другое оборудование, в связи с чем возникает только трудность с параметрами. В данном изобретении отсутствует описание используемых волокон с характеристиками, а так же температурный режим оборудования.

По аналогии патент RU2485229C2 не имеет целесообразности включения как новой технологической линии. В данном случае проблема возникает не только в оборудовании, технологических параметрах и требованиях к волокну, но и к этапу в процессе, а именно использование водного формования полотна. При наличии воздушного формования, использование воды удорожает процесс и создает необходимость в очистке водного ресурса.

Патент US7837009B2 улучшенный вариант звукоизолирующего полотна с использованием добавки к полиэфирному волокну – целлюлозы. Целлюлоза в данном случае используется как матричные волокна, которые одновременно составляют и ПЭТ волокна. Данный вариант не имеет смысла рассматривать, так как использование целлюлоза будет снижать процент ПЭТ

волокна, используемого для производства панелей.

Изобретение по патенту RU 2 671 058 C1 отличается от выбранного процесса в патенте RU 203791 U1 тем, что панель первоначально погружают в раствор связующего вещества, что будет усложнять процесс.

В отличие от перечисленных недостатков патент RU 203791 U1 содержит изобретение, которое является наиболее удобным для внедрения, так как:

- отсутствует использование растворов, формирование происходит процессами: разрыхления, чесания, перемешивания;
- описано возможное к использованию сырье с указанием параметров: температуры плавления и линейной плотности;
- в соответствии с используемым сырьем происходит подбор параметров технологического оборудования для формирования панели.

Вывод по первому разделу: в данном разделе рассмотрены основные способы переработки отходов ПЭТ. Далее проведен патентный поиск по технологиям получения полиэфирного волокна из ПЭТ сырья. В результате которого найдены ключевые стадии процесса, на основе которых возможно предложение линии производства полиэфирного волокна на действующей перерабатывающей линии. В качестве основы наиболее подходящий является патент RU 2 188 262 C2, так как по сути технологии он является более удобным для внедрения. Так же проведен патентный поиск в области технологий производства звукоизоляционных панелей, что дало понимание основного алгоритма получения материала. В качестве основы выбран патент RU 203791 U1.

2. Экспериментальная часть

2.1. Анализ существующей технологии переработки отходов ПЭТ на ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

Переработка отходов ПЭТ на производстве относится к механическому методу переработки, в ходе которого происходит переработка чистых и грязных отходов. После данного процесса получают ПЭТ флексы, которые могут быть использованы в качестве вторичного сырья. Технологический процесс переработки ПЭТ отходов на предприятии состоит из нескольких этапов. Принципиальная блок-схема представлена на рисунке 4 [16].

Отходы ПЭТ поступают в дробилку, где производится измельчение с получением крупной фракции. Измельчение проводят с подачей воды для одновременного удаления загрязнений. Далее материал отмывают и отбеливают. На следующем этапе производят отделение этикеток и отмывание клея в щелочном растворе. После очищения ПЭТ флекса поступает в следующую дробилку, из которой получают мелкую фракцию. Затем производят флотационное отделение мелкой фракции флексы с чистой водой. Влажную ПЭТ флексу помещают в центрифугу для удаления влаги. Далее производится сушка в бункере при температуре 110°-120°С. На финальном этапе производится сбор этикеток из флотационных ванн, а полученная ПЭТ флекса переносится в бункер для хранения [16].

В таблице 2 представлены требования, которые выдвигаются к поступающему на переработку сырью.

В таблице 3 приведены параметры получаемой на выходе флексы и побочных материалов.

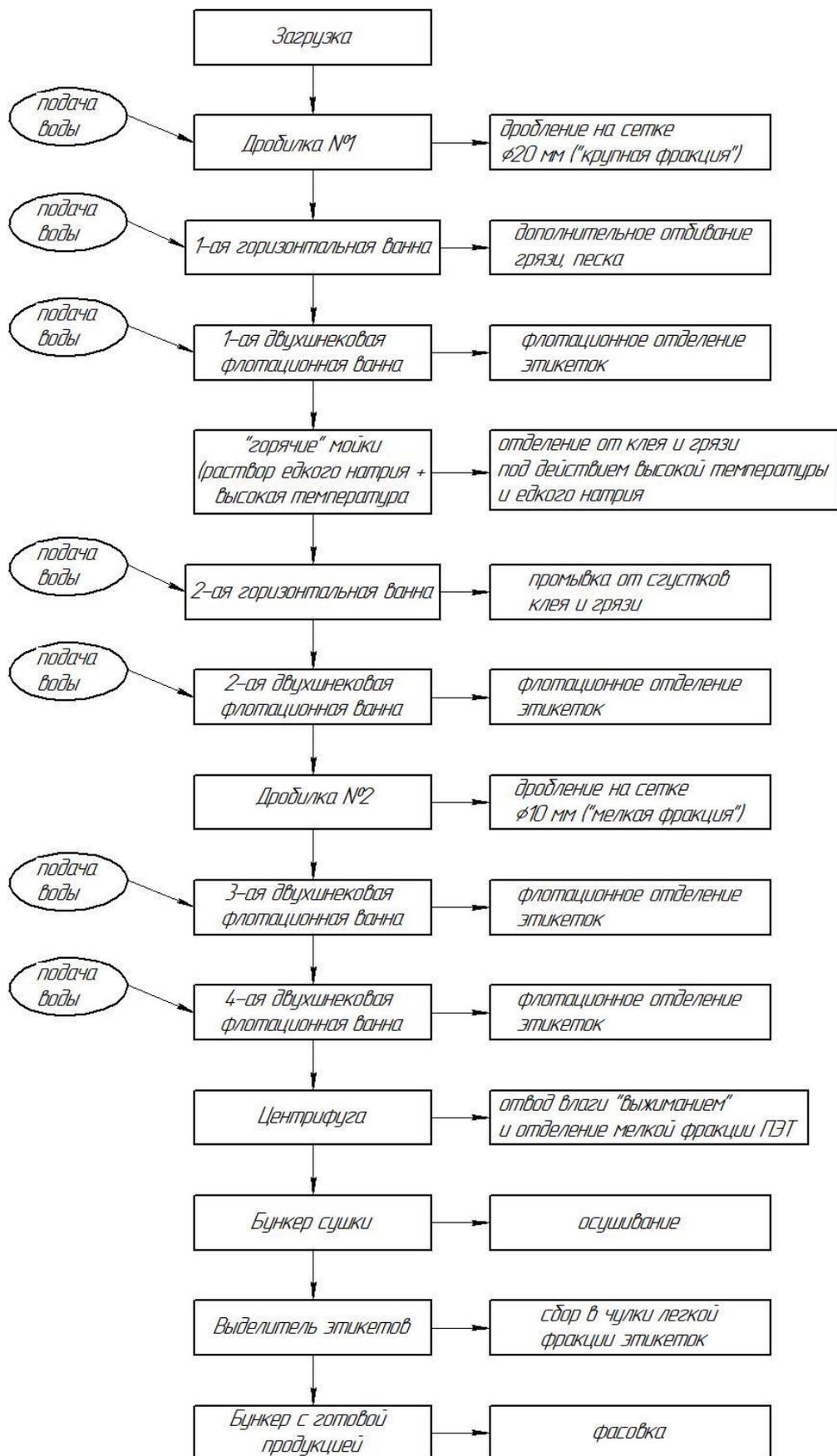


Рисунок 4 – Алгоритм технологических операций выполнения механической переработки ПЭТ [16]

Таблица 2 – Требования, предъявляемые к перерабатываемым ПЭТ [16]

Наименование показателя	ПЭТ бутылка светлая V до 5л	ПЭТ бутылка темная V до 5л
ПЭТ бутылка	прозрачная, голубая, микс светлый не менее 96%	коричневая, зеленая, микс темный (включая светлую), не менее 97%
	прочие цвета не более 2%	белая, матовая
ПЭТ бутылка с жидкостью внутри	не допускается	
ПЭТ масло	не допускается	
Бутылки из-под бытовой химии, масел, растворителей	не допускается	
Металл (кроме обвязочной проволоки)	не допускается	
Посторонние включения	не допускается	
Степень загрязнения		
1 категория	не значительные загрязнения	
2 категория	масса грязи, налипшей на бутылку более 10 %	
3 категория	масса грязи, налипшей на бутылку более 25 %	

Таблица 3 – Характеристика флексы и инородных примесей по окончании технологического процесса [16]

Наименование показателя	1 сорт	2 сорт	Брак
Размеры хлопьев:			
от 0 до 2 мм	не более 5 %		более 5%
от 2 до 12 мм	не менее 93 %		менее 93 %
от 15 мм и более	не допускается		наличие
Инородные примеси, %			
бумага, металл, песок, резина и другие	не более 0,15 %		более 0,15 %
полимерная этикетка	не более 0,03 %		более 0,03%
полиэтилен (крышка)	не более 0,02 %		более 0,02%
ПВХ	не более 0,02 %		более 0,02%
прочее ЛПП	не допускается		наличие
Влажность	не более 2 %		более 2 %
Качество промывки	Хорошее (для прозрачных хлопьев)	Удовлетворительно (для прозрачных хлопьев)	-
	Удовлетворительно (для прочих цветов)	Неудовлетворительное (для хлопьев любого цвета)	-

2.2. Технологический процесс производства полиэфирного волокна

После проведения литературного обзора выявили подходящую для производства технологию получения полиэфирного волокна. Данная технология описана в патенте RU 2 188 262 С2 [20]. Патент описывает способ получения волокна по методу переработки вторичных термопластичных полимеров и может быть использован при изготовлении различных волокнистых материалов. Способ обеспечивает возможность переработки разнородных промышленных и бытовых отходов в волокнистые материалы без добавления первичного сырья.

Предлагаемый способ осуществляется представляет собой следующий процесс:

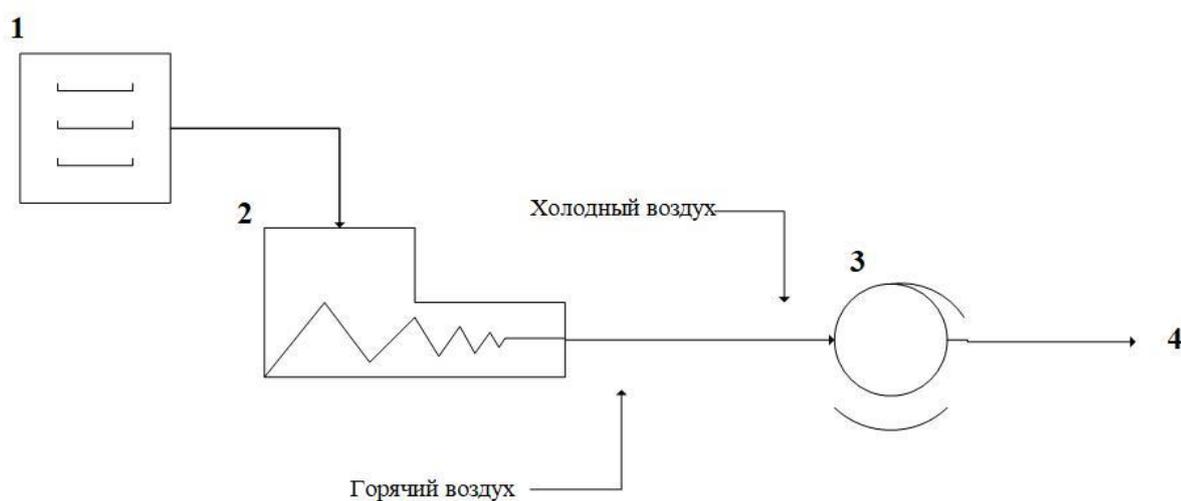
- отходы пэт подвергают очистке, измельчают, сушат и в нагретом состоянии при температуре выше температуры стеклования пэтф (70-85°C) подают в цилиндр экструдера;
- в процессе транспортировки измельченные отходы пэт разогреваются, плавятся и гомогенизируются. полученный расплав продавливается через фильеру в виде вязкотекучего волокна;
- на выходе из фильеры волокно подхватывается нагретой до температуры 190-350°C закрученной по спирали струей газа (например, воздуха). при этом происходит вытяжка волокна и его утончение.

2.2.1. Технологическая схема процесса производства полиэфирного волокна

Технологический процесс для производства полиэфирного волокна может быть начат со стадии сушки в действующей линии по переработке ПЭТ отходов на производстве. Данная точка выбрана началом, поскольку температура, требуемая для сушки в рамках патента ниже, чем установленная в данный момент в бункере сушки.

Далее по схеме расположен экструдер с нагревом, в котором происходит плавление и гомогенизация флексы. Полученный расплав продавливается через подходящую фильеру, на выходе из которой волокно нагревается разогретым до температуры 190-350°C потоком воздуха. Происходит вытяжка волокна, в результате которой получают продукт, подходящий под заданные требования. По окончании процесса волокна остужают и наматывают для транспортировки или хранения.

Принципиальная технологическая схема представлена на рисунке 5.



№	Обозначение
1	Сушилка
2	Экструдер
3	Устройство намотки и разрезания нитей
4	Склад

Рисунок 5 – Принципиальная технологическая схема линии производства полиэфирного волокна

2.2.2. Подбор оборудования

Для процесса сушки может быть использован установленный на производстве бункер сушки, так как возможна установка параметров температуры согласно технологическому процессу.

Для осуществления процесса на рынке представлено несколько готовых решений, которые включают подходящие стадии. Примеры оборудования представлены в таблице 4. Наиболее подходящей линией для предложенного процесса является Линия для производства полиэфирного волокна, IS-MAC, Китай, поскольку она удовлетворяет по параметрам производительности и конечный продукт имеет линейную плотность от 0,089 до 0,167 текс, кроме того, линия может быть адаптирована для получения волокна с линейной плотностью до 0,5 текс.

Таблица 4 – Обзор оборудование для процесса получения полиэфирного волокна

Название установки, фирма, страна производства	Вид установки	Характеристики установки
<p>Экструзионная линия для производства сырья, LIUTIRA GROUP, США</p>		<p>Применяемое сырье: ПЭТ хлопья (флекса), первичные и вторичные ПЭТ гранулы Макс производительность экструдера: 80 Кг/час Энергопотребление: 180-240 кВт Питание 380 / 50 В/Гц</p>
<p>Одностадийная линия для производства полиэфирного волокна, АСТАТ, Россия</p>		<p>Тип выпускаемой продукции: полиэфирное штапельное волокно; Производственная мощность: 1 875 кг/ч (45 тонн/сутки); Тонина волокна: 0,17-1,7 текс, 0,33-1,7 текс полые волокна; Филлера: 42 000 нитей (для тонины 0,17-0,78 текс), для тонины (1,11-1,7 текс) 15 000; Скорость прядения: 20-70 м/мин; Норма расхода электроэнергии на 1 тонну волокна: 400 кВт; Норма расхода воды на 1 тонну волокна: 2 тонны; Норма расхода газа: 110 м³/ч; Количество обслуживающего персонала: 7-8 человек в смену. Требования, предъявляемые к качеству ПЭТ флекса: Размер хлопьев: 10-12 мм;</p>

Продолжение таблицы 4

<p>Линия для производства полиэфирного волокна, IS-MAC, Китай</p>		<p>Спецификация линии:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Конечный продукт 0,89-1,67 дтекс 2. Шаг прядения: 550 мм, 650 мм 3. Диаметр фильеры: 328 мм 4. Скорость прядения: машинная – 400-1500 м/мин, технологическая 500-1300 м/мин 5. Тип охлаждения: изнутри к внешней стороне, снаружи к внутренней стороне <p>Производительность:</p> <p>(для линии с типом охлаждения: снаружи к внутренней стороне, 1,56 дтекс, № отверстий фильеры 3064, скорость 1150 м/мин, общее рабочее время 8000 ч, многократная вытяжка 3,5, эффективность линии 0,96)</p> <p>(для линии с типом охлаждения: изнутри к внешней стороне, 1,56 дтекс, № отверстий фильеры 4984, скорость 1150 м/мин, общее рабочее время 8000 ч, многократная вытяжка 3,5, эффективность линии 0,96)</p> <p>Годовая производительность линии обработки составляет 5000-25000 т/год нормальных волокон и волокон высокой прочности. Отжиг волокна может осуществляться посредством нагрева пара или горячим маслом.</p>
---	--	--

2.2.3. Материальный баланс

Исходные данные по параметрам производства полиэфирного волокна из ПЭТ флексы:

- масса ПЭТ флексы, получаемой за год $G_{\text{ПЭТ флексы}} = 2800$ т;
- температура сушки $-75-80^{\circ}\text{C}$;
- влажность материала $\varphi = 2$ %;
- потери при производстве 6 %.

Уравнение материального баланса имеет вид (1):

$$G_{\text{ПЭТ-флексы}} = G_{\text{волокно}} + G_{\text{вода}} + G_{\text{потери}}, \quad (1)$$

где $G_{\text{ПЭТ-флексы}}$ – масса сырья в виде ПЭТ флексы;

$G_{\text{волокно}}$ – масса получаемого ПЭТ волокна;

$G_{\text{вода}}$ – масса испаряемой влаги в процессе сушки;

$G_{\text{потери}}$ – масса потерь во время процесса;

Массу получаемого ПЭТ волокна находим по формуле (2):

$$G_{\text{волокно}} = G_{\text{ПЭТ-флексы}} - (G_{\text{вода}} + G_{\text{потери}}), \quad (2)$$

Произведем расчет потерь, которые составляют 6 %, по формуле (3):

$$G_{\text{потери}} = G_{\text{ПЭТ-флексы}} \cdot 0,06 \quad (3)$$

$$G_{\text{потери}} = 2800 \cdot 0,06 = 168 \text{ т}$$

Произведем расчет потерь воды, которые оставляют 2 %, по формуле (4):

$$G_{\text{потери}} = G_{\text{ПЭТ-отходы}} \cdot 0,02 \quad (4)$$

$$G_{\text{потери}} = 2800 \cdot 0,02 = 56 \text{ т}$$

Рассчитаем массу получаемого ПЭТ волокна

$$G_{\text{ПЭТ-волокно}} = 2800 - (56 + 168) = 2576 \text{ т}$$

При этом для дальнейшего использования в производстве звукоизоляционных панелей необходимо производить волокно с линейной плотностью 0,11 текс и 0,33 текс. Исходя из необходимой пропорции в сырье 15 % и 45 % соответственно. Из этого следует, что доля каждой плотности выглядит как 25 % и 75 %:

$$G_{\text{ПЭТ вол 0,11 текс}} = G_{\text{ПЭТ-волокно}} \cdot 0,25 \quad (5)$$

$$G_{\text{ПЭТ вол 0,11 текс}} = 2576 \cdot 0,25 = 644 \text{ т}$$

$$G_{\text{ПЭТ вол 0,33 текс}} = G_{\text{ПЭТ-волокно}} \cdot 0,75 \quad (6)$$

$$G_{\text{ПЭТ вол 0,33 текс}} = 2576 \cdot 0,75 = 1932 \text{ т}$$

На основании проведенных расчет составим материальный баланс годового производства полиэфирного волокна (таблица 5).

Таблица 5 – Материальный баланс производства полиэфирного волокна

Приход			Расход		
Компонент	Масса, т	Содержание, %	Компонент	Масса, т	Содержание, %
ПЭТ флексы	2744	98	ПЭТ волокно 0,11 текс	644	23
Вода	56	2	ПЭТ волокно 0,33 текс	1932	69
-	-	-	Вода	56	2
-	-	-	Потери	168	6
Итого:	2800	100	Итого:	2800	100

2.3. Технология производства звукоизоляционных панелей из полиэфирного волокна

Производство звукоизоляционных панелей может быть основано на патенте RU 203791 U1 [11]. Выбор патента сделан исходя из удобства и универсальности технологического процесса. Технологический процесс состоит из пяти основных стадий:

- расчесывание, разрыхление и перемешивание волокон;
- выравнивание волокна драфтером;
- термическая обработка волокон для скрепления их в нетканый материал;
- прохождение материала через валковый термокаландер для задания толщины;
- нарезка и упаковка материала.

В патенте приводятся требования для сырья, которые включают в себя линейную плотность и процентный состав волокон. Так как процесс требует содержание волокон разной температуры плавления, то использование только ПЭТ волокна невозможно. Для осуществления технологического процесса необходимо закупать бикомпонентное волокно в качестве скрепляющих волокон, так как оно содержит сополимер ПЭТ и имеет меньшую температуру плавления. Кроме того, необходимо закупать сверхтонкое волокно с линейной плотностью порядка 0,03-0,05 текс для улучшения звукоизолирующей функции конечного продукта.

Для осуществления дальнейшего производства волокно должно обладать параметрами:

- линейная плотность полиэфирного волокна в смеси может составлять 0,22 текс,
- линейная плотность полиэфирного регулярного волокна 1 может составлять 0,33 текс,

– линейная плотность полиэфирного регулярного волокна 2 может составлять 0,11 текс,

– линейной плотность полиэфирного регулярного ультратонкого волокна - 0,03 текс.

При этом содержание полиэфирных волокон в указанной смеси может составлять:

– для полиэфирного легкоплавкого волокна 30 мас. %;

– для полиэфирного регулярного ультратонкого волокна - 10-20 мас. %;

– для полиэфирного регулярного волокна 1 - 15 мас. %;

– для полиэфирного регулярного волокна 2 - 35-45 мас. %.

– Длина применяемых волокон варьируется: 28, 32, 51, 64, 76 мм.

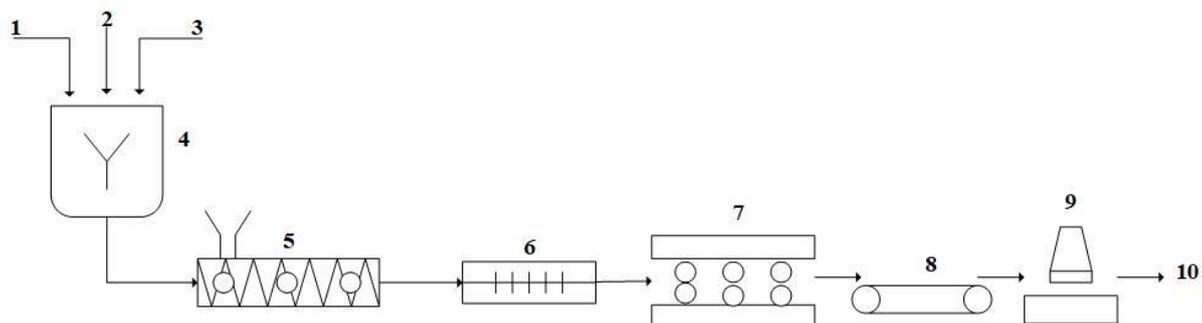
Согласно ГОСТ Р 51626-2000 Волокна химические. Требования безопасности, температура плавления полиэтилентерефталевого волокна составляет 259 - 263°C. В качестве волокна с низкой температурой плавления может быть выбран один из материалов: полиэтилен (т.пл. 110°C) или полипропилен (т.пл. 180 °C). Кроме того, в качестве легкоплавкого волокна можно выбрать волокно легкоплавкое бикомпонентное с температурой плавления 110°C, которое состоит из полиэтилентерефталата и его сополимера. В качестве сверхтонкого волокна применяется волокно из полиамида, которое обладает линейной плотностью 0,03 текс.

В зависимости от выбранного материала технологический процесс будет предусматривать подходящий температурный режим валиков формирования полотна.

Принципиальная технологическая схема представлена на рисунке 6.

Технологический процесс начинается с разрыхления и дозирования сырья. Сырье разделяется и перемешивается, далее оно подвергается упорядочиванию волокон и формированию драфтером. Далее происходит

термоскрепление волокон путем плавления легкоплавких волокон и обработка термокаландером для задания необходимой толщины материала.



№	Обозначение	№	Обозначение
1	Волокно 0,11 и 0,33 текс	6	Печь
2	Волокно 0,22 текс	7	Термокаландер
3	Волокно 0,03 текс	8	Конвейер
4	Смеситель	9	Гильотина
5	Драфтер (вытягиватель)	10	Склад

Рисунок 6 – Принципиальная технологическая схема процесса производства звукоизоляционных панелей

2.3.1. Подбор оборудования

Для начала процесса необходимо наличие кипоразрыхлителя, в котором будет находится исходное сырье. В ходе поиска оборудования найдено несколько готовых решений для создания линии производства звукоизолирующих панелей. Примеры оборудования представлены в таблице 6. Приоритетным вариантом является Линия по производству акустических панелей, Sail, Китай. Данная линия предназначена для комбинирования иглопробивного и термотермического способов. Данная линия может быть оптимизирована под требования предложенного технологического процесса.

Таблица 6 - Обзор оборудование для процесса получения звукоизоляционных панелей

Название установки, фирма, страна производства	Вид установки	Характеристики установки
<p>Линия по производству фильтровального войлока при нормальной температуре и 100% ПТФЭ, FEILONG, Китай</p>		<p>Область применения: 100% фторопластовое волокно, ПЭТФ, ППС, П84, НОМЕКС, ПП и другие термостойкие волокна; используются для высокотемпературных и антикоррозионных материалов для воздушных фильтров и фильтрующих материалов для очистки воды на электростанциях, химических заводах, металлургические заводы, цементные заводы и т.д.</p> <p>Основные характеристики: рабочая ширина: 2,5-5 м, вес изделия: 400-900 г/м².</p>

Продолжение таблицы 6

<p>Линия для производства волокнистых и конструкционных материалов, Sifania technika, Беларусь</p>			<p>Технические характеристики линии: Производительность по волокну - 10-15 кг / ч Диаметр волокон - 10 - 300 мкм Плотность получаемого материала или изделия - 0,01 - 0,55 г / см³ Установленная мощность - до 35 кВт</p>
<p>Линия по производству акустических панелей, Sail, Китай</p>			<p>Конечный продукт: акустическая панель Доступное сырье: полиэфирное волокно, низкоплавкое волокно и т. д. Функции : Комбинация иглопробивания и термического склеивания. Специализированная конфигурация и оптимизированный рабочий процесс для производства панелей высокой жесткости и плотности. Современный дизайн, удобное управление благодаря управлению с помощью ПЛК</p>

2.3.2. Материальный баланс

Исходные данные по параметрам производства звукоизоляционных панелей из полиэфирного волокна за год:

- масса волокна: $G_{\text{ПЭТ вол } 0,11 \text{ текс}} = 644 \text{ т}$; $G_{\text{ПЭТ вол } 0,33 \text{ текс}} = 1932 \text{ т}$;
 $G_{\text{вол } 0,22 \text{ текс}} = 1288 \text{ т}$; $G_{\text{вол } 0,03 \text{ текс}} = 429 \text{ т}$;
- температура термопечи и каландера – $<260^\circ\text{C}$;
- потери при производстве 5 %.

Уравнение материального баланса имеет вид (7):

$$G_{\text{ПЭТ вол } 0,11 \text{ текс}} + G_{\text{ПЭТ вол } 0,33 \text{ текс}} + G_{\text{вол } 0,22 \text{ текс}} + G_{\text{вол } 0,03 \text{ текс}} = G_{\text{панели}} + G_{\text{потери}}, \quad (7)$$

где $G_{\text{панели}}$ – масса получаемого продукта;

$G_{\text{ПЭТ вол } 0,11 \text{ текс}}$ – масса сырья в виде ПЭТ волокна с линейной плотностью 0,11 текс;

$G_{\text{ПЭТ вол } 0,33 \text{ текс}}$ – масса сырья в виде ПЭТ волокна с линейной плотностью 0,33 текс;

$G_{\text{вол } 0,22 \text{ текс}}$ – масса сырья в виде легкоплавкого волокна с линейной плотностью 0,22 текс;

$G_{\text{вол } 0,03 \text{ текс}}$ – масса сырья в виде сверхтонкого волокна с линейной плотностью 0,03 текс;

$G_{\text{потери}}$ – масса потерь во время процесса;

Массу получаемых панелей находим по формуле (8):

$$G_{\text{панели}} = G_{\text{ПЭТ вол } 0,11 \text{ текс}} + G_{\text{ПЭТ вол } 0,33 \text{ текс}} + G_{\text{вол } 0,22 \text{ текс}} + G_{\text{вол } 0,03 \text{ текс}} - G_{\text{потери}}, \quad (8)$$

Произведем расчет потерь, которые составляют 5 %, по формуле (9):

$$G_{\text{потери}} = G_{\text{панели}} \cdot 0,05 \quad (9)$$

$$G_{\text{потери}} = 4293 \cdot 0,05 = 215 \text{ т}$$

Рассчитаем массу получаемых панелей:

$$G_{\text{панели}} = 644 + 1932 + 1288 + 429 - 215 = 4078 \text{ т}$$

На основании проведенных расчетов составим материальный баланс по производству звукоизоляционных панелей за год (таблица 7). При толщине получаемой панели 20 мм, площадь получаемого полотна с ограничением по ширине каландера и с ограничением по длине при обрезке составляет около 14 млн м² в год, т.е. около 19 млн шт при стандартных параметрах 20x600x1200 мм.

Таблица 7 – Материальный баланс производства звукоизоляционных панелей

Приход			Расход		
Компонент	Масса, т	Содержание, %	Компонент	Масса, т	Содержание, %
ПЭТ волокно с линейной плотностью 0,11 текс	644	15	Панель	4078	95
ПЭТ волокно с линейной плотностью 0,33 текс	1932	45	Потери	215	5
Легкоплавкое волокно с линейной плотностью 0,22 текс	1288	30	-	-	-
Сверхтонкое волокно с линейной плотностью 0,03 текс	429	10	-	-	-
Итого:	4293	100	Итого:	4293	100

Вывод по второму разделу: в экспериментальной части представлены принципиальные технологические схемы предлагаемых линий производства полиэфирного волокна и звукоизоляционных панелей,

которые могут быть внедрены для увеличения доли использования переработанной ПЭТ флексы в продукт. Рассчитаны материальные балансы на 2800 т исходной ПЭТ флексы с получением 2576 т полиэфирного волокна двух плотностей и на 4293 т сырья волокна с оборотом за 1 год. Кроме того, при реализации ПЭТ флексы цена сбыта 1 кг в зависимости от сорта варьируется от 60 руб до 75 руб.

В тоже время цена на волокно примерно: 141 руб/кг с линейной плотностью 0,11 текс ПЭТ волокно из переработанного материала; 67,5 руб/кг с линейной плотностью 0,33 текс ПЭТ волокно из переработанного материала; 129 руб/кг с линейной плотностью 0,22 текс волокно легкоплавкое бикомпонентное с температурой плавления 110°C; 122 руб/кг с линейной плотностью 0,03 текс волокно полиамидное.

Экономическая выгода производства волокна и панелей приведена в таблице 8:

Таблица 8 – Экономическая эффективность от процесса производства полиэфирного волокна и звукоизоляционных панелей.

Материал	Производство т/год	Сумма дохода от материала (без учета затрат для производства волокна)
ПЭТ флекса	2800	$2800 \cdot 75 \cdot 1000 = 210$ млн руб
ПЭТ волокно с линейной плотностью 0,11 текс	644	$644 \cdot 141 \cdot 1000 = 90,8$ млн руб
ПЭТ волокно с линейной плотностью 0,33 текс	1932	$1932 \cdot 67,5 \cdot 1000 = 130,4$ млн руб
Звукоизоляционная панель с параметрами: толщина 20 мм, ширина 600 мм и длина 1200 мм	4078	$(14 \cdot 10^6 \cdot 808) - 1288 \cdot 129 \cdot 1000 - 429 \cdot 122 \cdot 1000 = 11,1$ млрд руб

Стоимость панелей, произведенных из полиэфирного волокна, за 1 м²: 808 руб/м² при толщине 20 мм, ширине 600 мм и длине 1200 мм (фирма изготовитель СтопЗвук Эко) – звукоизоляция используемая при строительстве; 1460 руб/м² при толщине 9 мм, ширине 300 мм и длине 300 мм с формой гексагона, одна панель 146 руб (фирма Echoton) – декоративная звукоизоляция.

Заключение

В ходе работы достигнута поставленная цель, которой являлось повышение уровня использования вторичного сырья для производства готовой продукции, по результатам решенных задач.

В ходе обзора видов переработки ПЭТ отходов рассмотрены четыре основных типа. Для реализации поставленной цели с точки зрения дальнейшего использования сырья для производства полиэфирного волокна проведен патентный поиск по технологиям получения полиэфирного волокна из ПЭТ сырья. В ходе патентного обзора по технологиям получения полиэфирного волокна найдены несколько патентов, в которых представлено принципиальное описание технологического процесса и даны технологические параметры удовлетворяющие при использовании ПЭТ как сырья. В результате найдены ключевые стадии процесса, на основе которых возможно предложение линии производства полиэфирного волокна на действующей перерабатывающей линии. В качестве основы наиболее подходящий является патент RU 2 188 262 C2, так как по сути технологии он является более удобным для внедрения.

Так же проведен патентный поиск в области технологий производства звукоизоляционных панелей, что дало понимание основного алгоритма получения материала. В ходе патентного обзора получения звукоизоляционных панелей из полиэфирного волокна, которые могут быть адаптированы под использование ПЭТ-волокна как единственного сырья, так и в смеси с другими материалами.

Найдены несколько патентов, в которых представлены технологические схемы производств, дано описание технологического процесса и прописаны основные технологические параметры процесса. В качестве основы выбран патент RU 203791 U1, так как процесс прост и удобен для внедрения.

В экспериментальной части представлены принципиальные технологические схемы предлагаемых линий производства полиэфирного волокна и звукоизоляционных панелей, которые могут быть внедрены для увеличения доли использования переработанной ПЭТ флексы в продукт. Рассчитаны материальные балансы на 2800 т исходной ПЭТ флексы с получением 2576 т полиэфирного волокна двух плотностей и на 4293 т сырья волокна с оборотом за 1 год.

В заключение проведен анализ экономической эффективности от производства полиэфирного волокна и звукоизоляционных панелей по сравнению с продажей ПЭТ флексы. В результате чего, оказалось, что без учета затрат на оборудование выгодным является производство звукоизоляционных панелей с использованием собственного полиэфирного волокна.

В результате работы выполнены поставленные задачи по представлению технологической реализации производства полиэфирного волокна и звукоизоляционных панелей с использованием мощностей ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Кроме того, звукоизоляционные панели являются востребованным продуктом, позволяющим грамотно избавиться от шумового загрязнения в помещениях. Производство данных панелей позволяет реализовать потенциал вторичного сырья в большей степени одновременно увеличивая экономическую выгоду для предприятия. В частности в настоящее время приоритет на получение государственного контракта отдается материалам, произведенным из вторичного сырья.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Bartolome L. Recent Developments in the Chemical Recycling of PET // Material Recycling - Trends and Perspectives. 2012. № May 2014.
2. CN103305960B // 2014.
3. Flack L. O. US 7 998 890 B2 // 2011. Т. 2. № 12.
4. Hannemann A. Modular Industrial PET Waste Recycling Concept with the unique MRS Extruder 2018. № January 2014.
5. Hurley J. S. US 7 837 009 B2 // 2010. Т. 2. № 12.
6. Intini F., Kühtz S. Recycling in buildings: An LCA case study of a thermal insulation panel made of polyester fiber, recycled from post-consumer PET bottles // International Journal of Life Cycle Assessment. 2011. № 4 (16). С. 306–315.
7. Langer E. Methods of PET Recycling / E. Langer, K. Bortel, S. Waskiewicz, M. Lenartowicz-Klik, 2020. 127–171 с.
8. Simon K., Milad M. Recycling Plastic Bottle into Synthetic Fiber 2019. № December 2019.
9. Tapia-Picazo J. C. Polyester fiber production using virgin and recycled PET // Fibers and Polymers. 2014. № 3 (15). С. 547–552.
10. Гарифуллина Г. А. Инновационные разработки в производстве полиэфирных волокон, применяемых для текстильных материалов 2010.
11. Голубков С. Ю., Котов Е. В., Хидиров Т. Г. RU 203 791 U1 // 2021. № 19. С. 1–11.
12. Евменов С. Д. Исследование процесса получения вторичного полиэтилентерефталата и композиционных материалов на его основе 2005. С. 62–65.
13. Застрогина О. Б. Особенности изготовления трехслойных сотовых панелей с полимерным наполнителем горячего отверждения 2017. С. 6–9.
14. Ким К. Й., Дзеонг К. Й., Парк Б. Х. RU 2 671 058 C1 // 2014. № 19. С. 18–30.

15. Муэллер Д. С. RU 2 485 229 C2 // 2012. Т. 42. № 19. С. 1–25.
16. Один И. Н. Совершенствование технологического процесса механической переработки ПЭТ флексы для уменьшения примеси в готовой продукции 2021.
17. Салимова А. И. Использование полимеров в производстве нетканых материалов 2018.
18. Саматова Э. М. Современные технологии производства нетканых материалов 2015.
19. Семенов В. С. Перспективы применения вторичных полиэфирных волокон для производства тепло- и звукоизоляционных материалов 2016. С. 21–24.
20. Чернорубашкин А. И. RU 2 188 262 C2 // 2000. Т. 7. № 19. С. 1–6.
21. Шэнь В., Тун В. RU 2 531 296 C1 // 2010. № 19. С. 18–30.