

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: 22. 04. 01 «Материаловедение и технологии материалов»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|--|
| Создание полимерных композитов на основе СВМП для 3д-печати пористых изделий |

УДК _678.5-419.8:004.925.84

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 4БМ83 | Толеш Наурызбай Талгатулы | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Ляпков Алексей Алексеевич | К.Х.Н | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Спицына Любовь Юрьевна | К.Э.Н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Романцов Игорь Иванович | К.Т.Н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Руководитель отделения материаловедения | Мартюшев Никита Владимирович | К.Т.Н. | | |

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

| Код Результата | Результат обучения |
|---------------------------|---|
| P1 | Осуществлять сбор, анализ и обобщение научно-технической информации в области материаловедения и технологии материалов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, глобальных информационных ресурсов |
| P2 | Работать с патентным законодательством и авторским правом при подготовке документов к патентованию и оформлению ноу-хау |
| P3 | Выполнять маркетинговые исследования и анализировать технологический процесс как объекта управления, разрабатывать технико-экономическое обоснование инновационных решений в профессиональной деятельности |
| P4 | Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия |
| P5 | Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов, быть готовым к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, позволяющих получать и диагностировать материалы и изделия различного назначения. |
| P6 | Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов |
| P7 | Внедрять системы управления качеством продукции в области материаловедения, эксплуатировать оборудование, позволяющее диагностировать материалы и изделия из них, в том числе наноматериалы |
| P8 | Действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения, выбирать наиболее рациональные способы защиты и порядка в действиях малого коллектива в чрезвычайных ситуациях |
| P9 | Общаться в устной и письменной формах на государственном языке РФ и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности, подготавливать и представлять презентации планов и результатов собственной и командной деятельности, формировать и отстаивать собственные суждения и научные позиции |
| P10 | Самостоятельно осваивать новые методы исследования, изменять научный, научно-педагогический и производственный профиль своей профессиональной деятельности |
| P11 | Применять принципы рационального использования природных ресурсов, основные положения и методы социальные, гуманитарные и экономические подходы при решении профессиональных задач с учетом последствий для общества, экономики и экологии. |
| P12 | Использовать основные категории и понятия общего и производственного менеджмента в профессиональной деятельности |

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: 22.04.01 *Материаловедение и технологии материалов*

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Н.В. Мартюшев

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|----------------------------|
| 4БМ83 | Толешу Наурызбаю Талгатулы |

Тема работы:

| | |
|--|--|
| Создание полимерных композитов на основе СВМП для 3д-печати пористых изделий | |
| Утверждена приказом директора ИШ НПТ | |

| | |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | |
|--|--|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| Исходные данные к работе | |
|---|--|
| <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i> | Основной целью данной диссертационной работы является изучение возможности получения композитного материала на основе СВМПЭ для биопротезирования, произведенного аддитивными технологиями. Результатом работы должны стать метод, получение пористого изделия, Основной задачей работы стало выявление достаточной пропорции матрицы и наполнителя для 3Д печати. |

| | |
|--|---|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Изучения материала и проведение литературного обзора по связанной теме. 2. Изготовление гранул композитного материала. 3. Подбор параметров печати на 3D-принтере ArmPrinter 2 4. Изучение методик получения пористой структуры детали. |
| <p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <p>Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point);</p> |
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p> | |
| <p>Раздел</p> | <p>Консультант</p> |
| <p><i>Технологическая часть</i></p> | <p>Донцов Ю.В., м.н.с., НИ ТПУ</p> |
| <p><i>Финансовый менеджмент...</i></p> | <p>Спицына Л.Ю., доцент, НИ ТПУ</p> |
| <p><i>Социальная ответственность</i></p> | <p>Романцов И.И., доцент, НИ ТПУ</p> |
| <p><i>Иностранный язык</i></p> | <p>Зяблова Н.Н., доцент, НИ ТПУ</p> |
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> | |
| <p>Разделы на русском языке: 1 Литературный обзор</p> | |
| <p>Разделы на английском языке: 1 Object and method of research</p> | |

| | |
|--|--|
| <p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p> | |
|--|--|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Ляпков Алексей Алексеевич | к.х.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 4БМ83 | Толеш Наурызбай Талгатулы | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| | |
|---------------|----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 4БМ83 | Толешу Наурызбаю Талгатулы |

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|--|
| Школа | ИШНПТ | Отделение (НОЦ) | ОМ |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | Материаловедение и технологии материалов |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|---|---|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | <i>Приблизительная стоимость ресурсов научного исследования, составляет 510684,7 руб.</i> |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | <i>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</i> |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | <i>Отчисление на социальные нужды 30%, от ФТО</i> |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i> | <i>Определение концепции проекта, факторов микро- и макросреды, экспертная оценка эффективности, SWOT-анализ, оценка готовности проекта к коммерциализации</i> |
| 2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i> | <i>Не требуется</i> |
| 3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> | <i>Разработка календарного, производственного плана ,бюджет , график проведения, организация закупок</i> |
| 4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i> | <i>Определение рисков, оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности</i> |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ

7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Доцент | Спицына Любовь Юрьевна | к.э.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---------------|---------------------------|----------------|-------------|
| 4БМ83 | Толеш Наурызбай Талгатулы | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 132 страниц, 35 рисунков, 18 таблиц, 70 источников, 1 приложений.

Ключевые слова: СВМПЭ, 3D - печать, композитные материалы, аддитивные технологии, поливинилацетат ПВА, филамент, гранулы, биопротезирование.

Объект исследования: Композиционный материал на основе СВМПЭ, Printbox3D ONE, пористые изделия.

Целью данной работы является изучение возможности получения композитного материала на основе СВМПЭ для биопротезирования, напечатанного на 3D-принтере Printbox3D ONE. Также подбор параметров для полученного изделия. Результатом работы должны стать научные основы технологии, получение пористого изделия.

Основной задачей работы стало выявление необходимой пропорции матрицы и наполнителя для 3D-печати, методы получения пористого изделия.

В процессе исследования проводились изучение свойств исходного материала, отработка режимов получения филамента и 3D-печати изделий методом FDM. По результатам получения образцов исследовались влияние технологии получения композитного материала и пористости напечатанного изделия.

В результате исследования в этой работе нами были проведены эксперименты, направленные на изучения возможности использования композитного материала на основе СВМПЭ с добавлением полипропилена и поливинилацетата в аддитивном производстве изделий методом FDM. В данной работе показана возможность 3D-печати детали полученного композитного материала, так же проведены испытания на разрыв пористой детали и трибологические испытания деталей с разными пропорциями пористости.

Abstract

Final qualification work: 132 pages, 35 drawings, 11 tables, 68 sources, 1 application.

Keywords: UHMWPE, 3D-printing, composite materials, additive technologies, PVA polyvinyl acetate, filament, granules, bioprosthesis.

Object of study: Composite material based on UHMWPE, Armprinter 2, porous products.

The aim of this work is to study the possibility of obtaining a composite material based on UHMWPE for bioprosthesis printed on a 3D Printbox3D ONE printer. Also selection of printing parameters for the resulting composite material. The result of the work should be the scientific basis of technology, obtaining a porous product. The main task of the work was to identify the necessary proportions of the matrix and filler for 3D-printing, methods for producing a porous product.

In the course of the study, the properties of the source material were studied, the processing of filament production modes and 3D-printing of products by the FDM method was carried out. Based on the results of the preparation of the samples, the effect of technology on the preparation of the composite material and the porosity of the printed product was investigated.

As a result of the study in this work, we conducted experiments aimed at studying the possibility of using a composite material based on UHMWPE with the addition of polypropylene and polyvinyl acetate in the additive manufacturing of products using the FDM method. In this work, the possibility of 3D printing of the part of the obtained composite material is shown, tensile testing of the porous part and tribological testing of parts with different proportions of porosity are also carried out.

The results of this work contribute to the further study of obtaining a porous product based on UHMWPE printed on a 3D printer.

Обозначения и сокращения

СВМПЭ – сверхвысокомолекулярный полиэтилен

ПП – полипропилен

КМ – композиционный материал

ПКМ – полимерный композиционный материал

ПЭНД – полиэтилен низкого давления

ПЭВД – полиэтилен высокого давления

ПЭ-С – сшитый полиэтилен

АТ – аддитивные технологии

ПВА – Поливинилацетат

Введение

В данной работе изучается процесс получения композитного материала на основе СВМПЭ для получения пористого изделия для биоимплантов напечатанного на 3D-принтере. Пористое изделие состоит из композитного материала с матрицей из СВМПЭ и наполнителем из полипропилена.

СВМПЭ давно зарекомендовал себя, как материал с разносторонним рядом положительных свойств, такими как, прочность и износостойкость, химическая инертность и биосовместимость. Благодаря чему, широко используется в нагруженных участках промышленности, как судостроение, авиапромышленности и т.д. Также одним из важных направлений применения является биопротезирование.

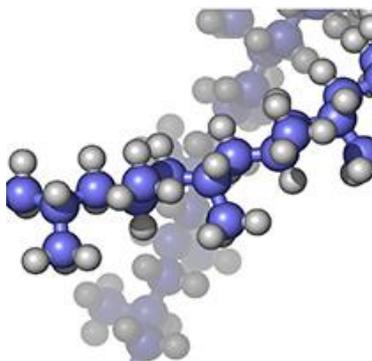
Целью данной работы является изучение возможности получения композитного материала на основе СВМПЭ для биопротезирования, напечатанного на 3D-принтере ArmPrinter 2. Также подбор параметров для получения изделия. Результатом работы должен стать метод получения пористого изделия.

Одной из главных трудностей в данной работе является печать композитного материала с матрицей СВМПЭ из-за низкой текучести данного материала. Повышение текучести материала необходима для возможности 3D-печати полученного композитного изделия путем добавления биоинертного материала полипропилена, но в тоже время, обладающей высокой текучестью. Уже давно доказано, что вживление биоимпланта происходит намного успешнее при имплантации материалов с пористой поверхностью. Для получения пористой поверхности материала в данной работе используется поливинилацетат с последующим вымыванием этого материала из напечатанного изделия.

Актуальностью данной работы является, то что несмотря на множество проделанных работ по получению пористого композитного материала на основе СВМПЭ, технологиями производства этих материалов являлись: горячее прессование, фармирование, литье в 3D-напечатанную матрицу, которая впоследствии вымывалась. В данной же работе предполагается создание полимерного композитного материала, которой можно будет производить биоимплант методом 3D-печати.

1 Обзор литературы

1.1 Полимеры



Полимеры- вещества, состоящие из повторяющихся групп атомов (звеньев, мономеров), из которых собираются длинные макромолекулы. Термин «полимер» был предложен шведским химиком и минералогом И. Берцелиусом еще в 19-м веке для определения веществ, которые при одинаковом химическом составе обладали разной молекулярной массой, например, для кислорода.

Рис.1- Структура полимера

Сейчас этот термин применяется немного в другом значении. В середине 19-го века были открыты истинные полимеры, такие как полистирол, поливинилденхлорид, целлулоид.

Исследовать по-настоящему структуру полимеров начали только в 20-м веке. Изначально считалось, что природные полимеры типа крахмала и целлюлозы состоят из особых, но обычных по длине молекул, которые обладают способностью образовывать коллоидные растворы. Автором принципиально другой точки зрения, высказавшим предположении об необычно длинных макромолекулах, был немецкий химик Герман Штаудингер. Необходимость найти замену натуральному каучуку для бурно развивающейся автомобильной промышленности стимулировала развитие науки о полимерах, сформировалась досконально после 1945 годов по завершению второй мировой.

В щелочах и кислотах полимеры имеют высокую стойкость. Они не поддаются электрохимической коррозии, чем металлы. С увеличением молекулярной массы снижается растворимость полимеров в растворителях

органического происхождения. Не подверженные действию органических растворителей являются полимеры с пространственной структурой.

Одним из основных свойств полимеров это диэлектрическая прочность, также они относятся к немагнитным веществам. В то же время из материалов для строения форм полимеры имеют наименьшую тепловую усадку и теплопроводность. Тепловая усадка этих материалов приблизительно в 20 раз больше по сравнению с металлическими материалами. Стеклование резины и резкое различие коэффициентов расширения металла и трещины является причиной понижения герметичности.

Полимеры обладают большим диапазоном механических характеристик, которые зависят от их структуры. Так же на механические свойства этих материалов влияет давление, нагруженность участков, частота и время действие внешних сил, термическая обработка, токсичность среды, влажность, завоздушенность, то есть состояния среды и т.д.

Недостатком полимеров является меньшая жесткость по сравнению с металлическими материалами, но не смотря на это полимеры обладают прочностью которая находит применение в менее нагруженных применениях.

Полимеры деляются на твердые и мягкие высокоэластичные материалы. К твердым относятся пластмассы, волокна, пленки, а к мягким резины. Твердые и высокоэластичные полимеры отличаются своим типом разрушения и закономерностью.

Для полимеров характерны ярко выраженная анизотропия свойств, снижение прочности и развитие ползучести при длительном нагружении. Вместе с тем полимеры обладают высоким сопротивлением усталости. Зависимость характеристик от температуры по сравнению с металлическими материалами более выражена.

Деформируемость деталей является еще одним из основных черт полимерных материалов. По удлинению или сжатию полимерных материалов в

большой температурной шкале оценивают их основные технологические и эксплуатационные свойства.

Значение деформируемости определяют методом термомеханических кривых температура - деформация (рисунок 2).

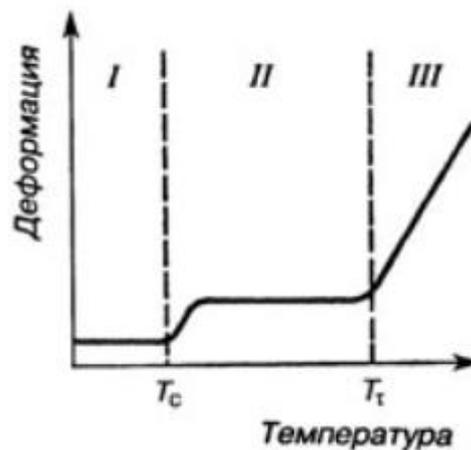


Рис. 2 – Кривая аморфного полимера с линейной структурой: T_c – температура стеклования; T_t – температура начала вязкости; I, II, III – участки стеклообразного, высокоэластичного и вязкотекучего состояний

Термомеханические кривые получаются при нагревании нагруженного внешними нагрузками образца полимера с определенной скоростью. Нагрузка под которой находится полимерных образцов должна быть неизменна по величине но не должно быть большим чтобы не разрушить образец, или же структура полимера изменилась под нагрузкой в лучшую или худшую сторону.

Как мы видим по анализу графика рисунка 2, полимер может находиться в трех физических состояниях: стеклообразном, высокоэластическом и вязкотекучем.

В стеклообразном состоянии при небольших напряжениях заметно выделяется одна упругая деформация с высоким модулем упругости. Это состояние является одной из форм твердого состояния высокомолекулярных веществ. Выше этой температуры к упругой деформации добавляется высокоэластическая составляющая деформации, которая в большей степени

превосходит упругую и характеризуется модулем высокоэластичности $E = 0,1 - 1 \text{ МПа}$. Выше температуры текучести появляется еще одна составляющая деформации, которая приводит к медленному накоплению остаточной деформации образца полимера. Границы между этими физическими состояниями характеризуются значениями температур стеклования T_c и текучести T_t . Критические температуры T_c и T_t являются основными характеристиками полимеров.

Важность этих показателей отлично изложена в следующих примерах. Во основном волокна и полимеры должны иметь высокую прочность. Поэтому лежащие в их основе полимеры должны находиться в стеклообразном состоянии. Производство резины или другие отрасли связанные с резиной, в отличие от этого, требуют высокоэластичные полимеры, которые сохраняют высокоэластичное состояние в широком температурном интервале. Процесс технологической переработки производится, в области вязкотекучего состояния. Поэтому для переработки эти материалы необходимо нагреть выше температуры T_t . И таким образом их нагревают выше соответствующей температуры.

Низкомолекулярные вещества находятся только в вязкотекучем или стеклообразном состоянии. А вот нахождение полимера в высокоэластическом состоянии, зависит от связи температурного интервала $T_c - T_t$, и молекулярной массы самого вещества.

По прохождению времени все полимеры теряют механические свойства по причине старения, на что влияет условия в которых они эксплуатировались. То есть это значит что важнейшие то есть необходимые физико-механические характеристики невозвратно ухудшаются это и называется старением. Это происходит как написано выше от влияния окружающей среды, и на ухудшение этих параметров соответственно влияет физические и химические процессы.

Под влиянием солнечных лучей (фотонов которые разрушают структуру связей полимеров), света, большое количество изменений во время

эксплуатации как нагрев – охлаждение, воздействие воздуха, химических реагентов и других факторов большинство полимеров существенно ухудшают свои характеристики, быстро истощаются. Старение ускоряется при многократных растяжениях и изменениях нагрузки на них, деформациях, по причине того что большинство полимеров инертны к влаге, соответственно она не сильно влияет на процесс старения. При старении повышается твердость, хрупкость, теряется эластичность. При температурах выше 200 градусов происходит термическая деструкция – разложение неорганических полимеров, сопровождающееся испарением летучих веществ, хотя это бывает при очень редких обстоятельствах.

В полимерные материалы добавляют реагенты, для того чтобы увеличить срок службы материала. В качестве замедляющих процесс разрушения полимера по истечению времени используются стабилизирующие реагенты двух типов: термостабилизаторы (фенолы) и светостабилизаторы. Таким образом срок действия стабилизированных материалов приумножается в разы.

Чтобы найти механические свойства неметаллических материалов производится испытания на растяжение, сжатие и изгиб. Таким образом определяется твердость по Шору, модуль упругости, предел текучести и прочности полимеров. Для определения срока службы полимеров испытания проводятся в более агрессивной среде и подвергается к облучению фотонами.

Кроме того, существуют методы определения массы, толщины, плотности материала, а также специальные виды испытаний: для картона – на надлом, излом, продавливание, сжатие кольца, линейное сжатие; гофрированного картона, гофропласта – на торцевое и плоскостное сжатие, расслаивание, продавливание и пробой; резины – на стойкость при статической деформации сжатия; древесностружечных плит – на прочность и модуль упругости при изгибе, удельное сопротивление выдергиванию гвоздей и шурупов.

В таблице 1 представлены характеристики полимеров в сравнении с другими.

Таблица 1– Свойства некоторых полимеров

| Полимер | Плотность, г/см ³ | E (20 °C), ГПа | σ_b , МПа | Трещиностойкость (20 °C) K_{Ic} , МПа · м ^{1/2} | Полное удлинение ϵ , % | T_g , °C |
|--------------------------------|------------------------------|----------------|------------------|--|---------------------------------|------------|
| Термопластичные | | | | | | |
| Полиэтилен (низкой плотности) | 0,92 | 0,15–0,24 | 7–17 | 1–2 | 90–800 | 0 |
| Полиэтилен (высокой плотности) | 0,96 | 0,55–1,0 | 20–37 | 2–5 | 15–100 | 30 |
| Поливинилхлорид | 1,39 | 2,4–3,0 | 40–60 | 2,4 | 2–30 | 80 |
| Полипропилен | 0,9 | 1,2–1,7 | 50–70 | 3,5 | 10–700 | –20 |
| Полистирол | 1,06 | 3,0–3,3 | 35–68 | 2 | 1–2 | 100 |
| Полиамид | 1,14 | 2,0–3,5 | 60–110 | 3–5 | 60 | 70 |
| Терморреактивные | | | | | | |
| Феноло-формальдегидная смола | 1,4 | 8 | 35–55 | – | 0 | – |
| Полиэстер | – | 1,3–4,5 | 45–85 | 0,5 | 0 | 70 |
| Эпоксидная смола | 1,6 | 2,1–5,5 | 40–85 | 0,6–1,0 | 0 | 80 |

1.1.1 Механические свойства высокомолекулярных полимеров

Механические свойства полимеров характеризуют степень конфигурации структуры, размеров, формы тела при действии на него механических сил. Существуют деформационные и прочностные свойства. Деформационные свойства определяют способность полимерных материалов деформироваться под действием механических напряжений, прочностные – способность сопротивляться деформации и разрушению. Деформация полимеров сопровождается изменением их структуры и свойств: насколько больше деформация, настолько значительнее изменение структуры и свойств[1]. Вследствие особенности постройки макромолекул и надмолекулярных структур, механические свойства полимеров характеризуются вблизи отличительных черт и находят в зависимости не столько от состава и строения полимера, сколько и от внешних критерий. Функциональность полимерных материалов во многом характеризуется режимом их деформирования, для

начала характером воздействия внешних сил. Существуют статические и динамические режимы нагружения. К статическим относят воздействия при многократных нагрузках или деформациях, аналогично при не очень больших скоростях нагружения, к динамическим – ударные либо циклические воздействия.

Принципиальные особенности полимерного состояния вещества определяют ряд характерных черт механических свойств полимеров, к которым, в первую очередь, относятся: способность полимеров к большим обратимым деформациям; релаксационный характер деформации, т.е. её зависимость от времени воздействия; способность полимеров приобретать анизотропию свойств и сохранять её при прекращении воздействия. Для механических свойств полимеров в высокоэластическом состоянии характерно яркое проявление первых двух из вышеперечисленных особенностей, в стеклообразном – всех трёх [2].

Под действием механических сил все тела деформируются, а при сильных или длительных воздействиях разрушаются. В соответствии с этим различают деформационные и прочностные свойства полимеров. Механические свойства некоторых полимеров представлены в таблице 2

Таблица 2 – Механические свойства некоторых полимеров.

| Полимер | σ , МПа | ξ , % | E, МПа | Физическое состояние |
|--------------------------------|-------------------|--------------|-----------|-------------------------|
| Резина из натурального каучука | 34 | 650 | 7 | Высокоэластическое |
| Полиэтилен низкой плотности | 12-16 | 100-600 | 150-250 | Кристаллическое |
| Высокой плотности | 22-30 | 200-900 | 550-800 | |
| Полистирол | 30-70 | 1,5 | 3000 | Стеклообразное |
| Полиметилметакрилат | 70 | 4 | 2800 | Стеклообразное |
| Капрон | 60 | 100 | 3500 | Кристаллическое |
| Пластик | | | | |
| Волокно | | | | |
| Поливинилхлорид | 800 | 20 | 10000 | |
| | 50 | 20 | 2500 | Стеклообразное |

Несмотря на разносторонние свойства полимерных материалов, полимеры не обладают той прочностью, стойкостью к температурам как металлические материалы или керамические материалы. Или если прочностные характеристики полимера получаются применимы, то слабая инертность полимера может быть недостатком и таких примеров множество, когда какие либо свойства и черты полимера необходимо совместить со свойствами другого металлического материала, полимера или керамического, органического, биосовместимого. С целью получения уникальных свойств были созданы композитные материалы обладающими отличными свойствами и характеристиками от отдельно взятого материала.

1.2 Композитные материалы (КМ)

Композиционный материал – это материалы, состоящие из двух или более компонентов (армирующих элементов и скрепляющей их матрицы) и обладающие свойствами, отличными от суммарных свойств компонентов. Композитный материал, название которого само по себе, определяет, что это композиция материалов. При этом предполагается, что компоненты, входящие в состав композита, должны быть хорошо совместимыми и не растворяться или иным способом поглощать друг друга. В настоящее время причиной быстрого роста использования и популярности композитных материалов в области машиностроения и материаловедения является то, что они обеспечивают очень привлекательное сочетание жесткости, ударной вязкости с легким весом и коррозионно-стойкими свойствами. Это образование двух или более составляющих материалов, имеющих существенно отличающиеся физические или химические свойства, при их объединении образуется материал, обладающий уникальными характеристиками, отличными от составляющих

элементов [5, 6]. Это улучшение делает композиционные материалы превосходными по сравнению со свойствами, которыми обладает отдельный материал. В широком смысле композиционный материал – это любой материал с гетерогенной структурой, т. е. со структурой, состоящей минимум из двух фаз. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно получать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами. Внутри композитного материала фаза усиления полностью или частично охваченная матрицей, непрерывная объемная фаза. Матрица выполняет важную роль при выполнении важных функций, таких как хранение волокон или частиц в одном месте, и высокоориентированные композиты сохраняют любое выбранное направление волокон. Матрица помогает в перераспределении напряжения путем передачи приложенной нагрузки на армирующий элемент, а также помогает увеличить вязкость разрушения при использовании с хрупкими волокнами, типичными для материала с меньшей жесткостью, способный к лучшему удлинению и с силами сдвига больше, чем наполнение. Матрица играет важную роль в определении экологической стойкости композита через химическую стойкость, гигроскопичность, термические напряжения и защита наполнение из этих форм. С этими свойствами матрица заметно влияет на обработку характеристики композитного материала.

Причиной быстрого развития композитных материалов в инженерии и материаловедении является отличная комбинация жесткости, прочности с легким весом материала, а также коррозионная устойчивость [4, 7]. Само название «композиционные материалы» говорит, что это композиция материалов. Это создания из двух или более материалов имеющих значительно разные физические и химические свойства, в результате соединения которых получается материал обладающий уникальными характеристиками из разных

элементов[7]. Такое преимущество делает композитный материал более привлекательным по сравнению с материалом с такими же свойствами. Сам концепт композитного материала хорошо проиллюстрирован на примере композитного материала естественного происхождения - дереве, который состоит из молекул волокон целлюлозы в матрице органического полимера лигнина[8, 9]. Другим примером натурального КМ являются кости, с неорганическими кристаллами гидроксиапатита в матрице органического материала коллагена [10]. В отличие от мехпримесей и твердых растворов КМ не перемешивается или растворяется, или теряет свою идентичность, наоборот они совмещают свойства и синергично придают свои черты в улучшение свойств созданного композитного материала [11, 12]. Можно определить характеристики определенного компонента при детальном изучении КМ под микроскопом. Композитный материал это укрупнение матрицы и материала наполнителя.

Современная наука о композиционных материалах обязана своему развитию, применению композитов в ракетостроении и самолетостроении. Так как во время полета некоторые элементы конструкции самолета могут нагреваться до 1800°C , была необходимость применения новых высокопрочных, легких, жестких, температурно устойчивых материалов. Для улучшения тех или иных характеристик были созданы композиционные материалы, которые при тех же прочностных характеристиках были в разы легче. Отраслями активно использующих композиционные материалы являются: авиация, космонавтика, наземный транспорт, медицина, спорт, образование. Композиты используются для создания автомобилей, судов, подводных лодок, емкостей для хранения разных химических жидкостей, протезов, спортивных снаряжений и т.д.

Для того чтобы выделить композиционные материалы (КМ) искусственного происхождения, подчеркнуть их характерные особенности

наиболее полным считается определение, согласно которому: к композитам относятся материалы, обладающие рядом признаков:

1. состав, форма и распределение компонентов материала «запроектированы заранее»;
2. материал не встречается в природе, а создан человеком;
3. материал состоит из двух или более компонентов, различающихся по химическому составу и разделенных выраженной границей;
4. свойства материала определяются каждым из его компонентов, которые должны присутствовать в материале достаточно больших количествах (больше некоторого критического содержания);
5. материал обладает такими свойствами, которых не имеют его компоненты, взятые в отдельности;
6. материал неоднороден в микромасштабе и однороден в макромасштабе.

Композитные материалы классифицирует по материалам, из которых он состоит, рис. 3.

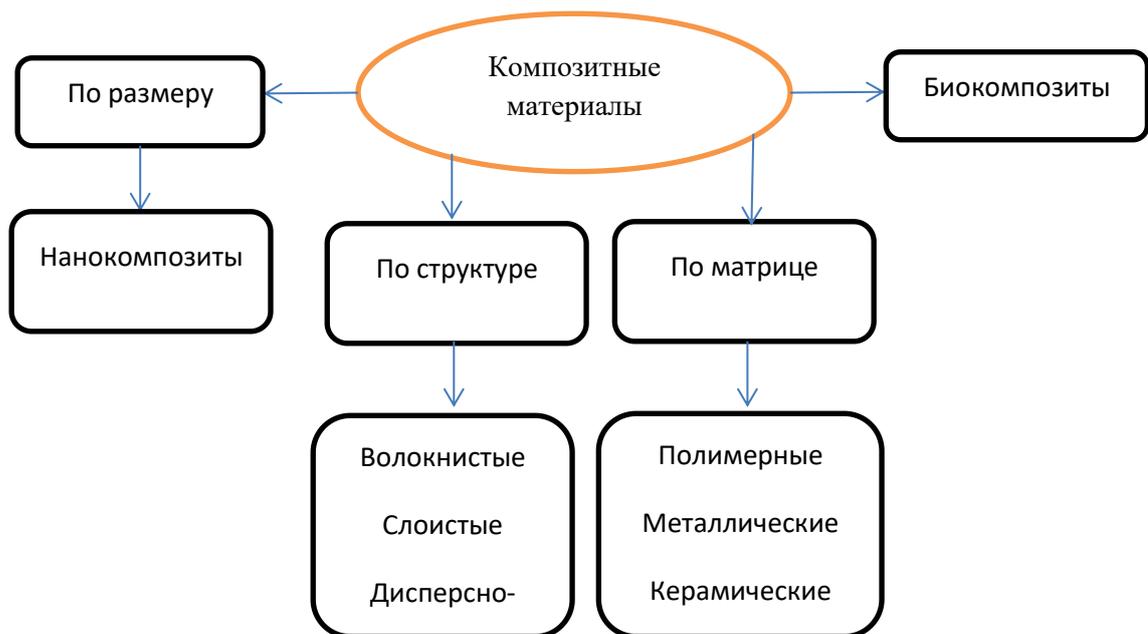


Рисунок 3 - Классификация КМ

Наиболее важным признаком классификации КМ является материал матрицы. КМ с металлической матрицей называют металлическими композиционными материалами (МКМ), с полимерной матрицей – полимерными композиционными материалами (ПКМ), с керамической–керамическими композиционными материалами (ККМ). КМ, содержащие два и более различных по составу матричных материала, называют полиматричными.

Полимерные композиционные материалы играют значительную роль в многочисленных пластмассовых и полимерных отраслях из-за его низкой стоимости, легкого веса, более высоких механических свойств, высокой коррозионной стойкости, экологически чистого характера, гибкости дизайна, низкой теплопроводности, и т. д. [13, 14].

Из-за их высокого соотношения прочности и веса и отличные механические свойства, синтетические полимерные композиты находят большее применение в различных секторах, таких как автомобильный, морской, аэрокосмический, и т. д. [15].

Одним из важных направлений применения композитных материалов является биопротезирование. Для протезирования имплантов, протезов в живом организме материал из которого изготовлен имплант должен обладать большим рядом необходимых характеристик как самое главное биосовместимость. Биоматериалы развивались в течение ряда десятилетий, и как говорит Бадди Ратнер, профессор биоинженерии и химического машиностроения, а также заведующий кафедрой коммерциализации технологий Майкла Л. и Мирны Дарланд в Университете штата Вашингтон, а также директор Университета штата Вашингтон в области инженерных биоматериалов. Биосовместимость это более качественные классификации биосовместимости для их описания. Ратнер предлагает совершенно новое определение: биосовместимость - это способность материалов локально инициировать и направлять нормальное заживление ран, реконструкцию и интеграцию тканей [13]. «Это исключает миллионы материалов, которые все время попадают в людей, и это примерно

300 миллиардов долларов США в год. Теперь я называю эти материалы биологически переносимыми »

Так же кроме биосовместимости материал должен быть прочным, износостойким, пластичным, химически инертным и т.д. В данное время изучено много синтетических полимерных композитов, которые соответствуют этим требованиям и одним из этих материалов является полиэтилен.

1.3 Полиэтилен в медицине

Полиэтилен имеет много преимуществ в качестве биоматериала для медицинских имплантатов и широко применяется для изготовления пористого имплантата из полиэтилена высокой плотности для реконструкции лица и черепа. В данной работе рассматриваются свойства полиэтилена и его применимость для биомедицинских применений, включая свойства материала и влияние на обработку, и обработку поверхности, относящиеся к хирургическим имплантатам.

Металлические имплантаты использовались с начала 1900-х годов для стабилизация переломов костей. С тех пор они сыграли критическую роль в ортопедической хирургии для стабилизации перелома, замены суставов, стабилизирующие пластины и винты, а также зубные имплантаты. Для такого применения, титан и нержавеющая сталь чаще всего был использован из-за их превосходных механических свойств и износостойкости. Тем не менее, осложнения, включая токсичность и слабую адгезии с тканью, ведущей к переломам и отторжению организмом, также увеличилось, создавая спрос на модернизацию биоматериалов [13, 14]. Металлические устройства также широко используются в лечении сердечно-сосудистых заболеваний. Например, коронарные стенты традиционно изготавливаются из нержавеющей стали, титана, сплавов кобальта, железа или магния [15]. Одной из проблем

применения металлических имплантатов, вне зависимости от применения, является: биологическая совместимость с металлическим имплантатом сложна, несмотря на продолжающиеся исследования по улучшению покрытий, механические свойства и проблем снижения токсичности [16]. В качестве таких, пористость была в центре внимания значительного объема исследований для улучшения инфильтрации клеток в пробирке и интеграции ткани хозяина в живом организме, чтобы улучшить механическую стабильность и биологическую функциональность биоимплантата.

Для борьбы с плохой интеграцией тканей металлические поверхности имплантатов были разработаны с микроразмерные поры и разработанная топография поверхности для стимулирования роста клеток на имплантате поверхность. В последствие стали создаваться и полимерные пористые импланты. Имплантаты пористого каркаса предназначены для имитации искусственного внеклеточной матрицы, для биохимической и структурной поддержки клеток в тканях, чтобы облегчить клеточные взаимодействия. Поры или пространства в пределах структуры учитывают пролиферацию и миграцию клеток, облегчая рост и интеграцию окружающих тканей [17]. Остатки спондилита превратились из твердых металлических стержней и пластин в более пористые структуры, чтобы позволить инфильтрацию ткани. Кроме того, заменитель костного трансплантата биоматериалы, состоящие из имитирующих кости материалов, таких как коллаген изготавливаются в губки и другие пористые структуры, чтобы позволить естественному костеобразованию между дисками [18]. Аналогично для ортопедических имплантатов, переход к пористым металлическим структурам принял место с тем же обоснованием: для повышения сращения костей и улучшения исправление дефектов лечения [19]. Керамика широко использовалась в этой области, поскольку пористость может быть достигнута путем выщелачивания соли / растворителя литьем, сублимационной сушкой, газоразделением и рядом других быстрых и недорогие методов [20]. Обычные керамические биоматериалы включают

гидроксиапатит и трикальцийфосфат, которые имитируют керамические компоненты, присутствующие в натуральной кости. Однако, плохие механические свойства (например, хрупкость) ограничивают их переход в клиническое использование [21].

Полимеры стали подходящими биоматериалами из-за их универсальности и адаптивности для удовлетворения строгих требований замены костного трансплантата и классифицируются как естественные или синтетические (Таблица 3).

Таблица 3 – Биоматериалы для протезирования

| Биоматериалы для протезирования | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Естественные биоматериалы | | Синтетические биоматериалы | |
| Белкового происхождения | Полисахаридного происхождения | Керамика | Полимеры |
| Коллаген | Альгинат | Гидроксиапатит | Полиэтиленгликоль (ПЭГ) |
| Фибрин | Агароза | Трикальцийфосфат | Полиэтилен гликоль |
| Желатин | Гиалурон | Биоактивное стекло | Полимолочная кислота(PLA) |
| Шелк | Хитозан | | Полиолефины (PP,PE) |
| | | | Полиэфирэфиркетон (PEEK) |

Перспективные природные полимеры-кандидаты включают коллаген, желатин и гиалуроновую кислоту, которые обеспечивают биологическую среду благоприятной для прикрепления и роста клеток [22]. В качестве таких, природные полимеры добились значительного доклинического успеха в качестве гидрогелей для инкапсуляции клеток и изготовления в трехмерных тканевых структурах[23, 24]. Синтетические полимеры, такие как полимолочная кислота (PLA), полиэтилен (ПЭ), поликапролактон (PCL), полиэфирэфиркетон (PEEK) и многие сополимеры, также показали значительные перспективы в ряде устройств для костных имплантатов, в

первую очередь благодаря их биосовместимости, надежным механическим свойствам и универсальности [25].

Полимерные биоматериалы выбраны для применения в тканевой инженерии, на основе ряда критериев включая молекулярную массу свойства поверхности и структуру при этом их точка плавления, растворимость и деградация поведения являются ключевыми факторами, влияющими на выбор технологии изготовления имплантов [26]. Полимеры могут быть легко включены в композиты, используя особенности множественные биоматериалов [27], при этом они легко превращаются в пористые конструкции с прочными и легко регулируемые механическими свойствами. Одним конкретным полимером, который уже получил широкое клиническое распространение является полиэтилен.

ПЭ представляет собой наиболее популярный пластик в мире, с годовым производством около 5 миллионов тонн [28] благодаря его простому и дешевому производству, также является универсальным биоматериалом со значительным клиническим воздействием. ПЭ классифицируется по плотности и типу строения мономеров, существует несколько типов ПЭ в диапазоне от сверхвысокой молекулярной массы до полиэтилена средней и низкой плотности, каждый с различной термической, механической, химической, электрической и оптической характеристикой, относящиеся к биологической имитации. Сверхвысокомолекулярный ПЭ (СВМПЭ) был впервые введен клинически для замены суставов в 1962, где чашки из полиэтилена сочленяются с металлической головкой бедра в общем бедре артропластика (рис. 1а) . PE был разработан для ряда устройства для лечения сердечно-сосудистых заболеваний и другие несосудистые стенты (Рис. 1б), а также в пластической и реконструктивной хирургии, были разработаны импланты из ПЭ высокой плотности для облегчения вращение сосудов и тканей (рис. 1в), обеспечивающее более оптимальный долгосрочные результаты по сравнению с металлическими имплантатами [29].

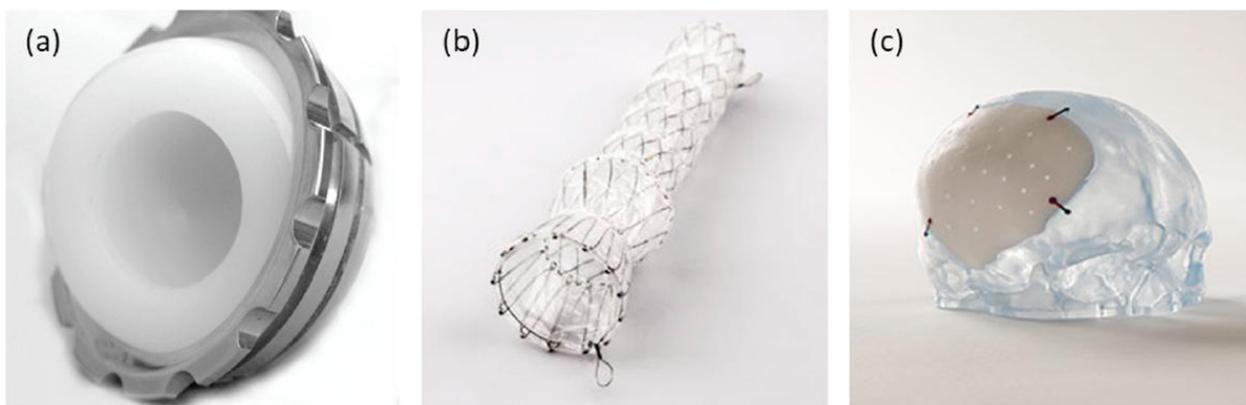


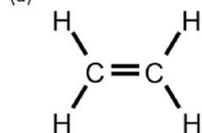
Рисунок 4 - (а)- ПЭ медиальная чашка , (b) - РЕ пищеводный стент и (с)-черепно-лицевой имплант из ПЭНД

В целом, ПЭ является очень универсальным и адаптируемым биоматериалом и широко используется в доклинических исследованиях и клинической практике, демонстрируя превосходную производительность по сравнению с аутотрансплантации и другими биоматериалами, и становится признанным в широком спектре процедур. ПЭ уже продемонстрировал значительный успех в широком спектре приложений здравоохранения и будет продолжать играть ключевую роль в клинической сфере, движимая передовыми технологиями производства.

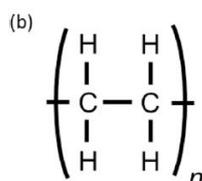
1.3.1 Типы полиэтилена

Плотность полиэтилена находится в диапазоне от 0,88 до 0,96 г / см³ с

разным молекулярный весом и строением мономеров.



Существует пять основных категорий ПЭ.



ПЭ низкой плотности (ПЭВД) создается в результате свободнорадикальной полимеризации что приводит к образованию смеси коротких и ПЭ цепи с длинной цепью.

Рисунок 5- а - формула этилена, б -формула полиэтилена

Учитывая, что эти смешанные ветви ПЭ не могут образовать кристаллическую структуру так же легко, ПЭВД обычно имеет более низкий предел прочности, чем у других сортов ПЭ, но более подходящие свойства текучести для формирования пластиковых пленок и пленок, которые используются в пластике хозяйственных сумках и полиэтиленовая упаковка, а также стерильная медицинская упаковка и пленки [30].

Линейный ПЭ низкой плотности (ЛПВД) является более линейной формой (ПЭВД) и поэтому имеет более короткие ветви и более высокую прочность на разрыв. ЛПВД является популярным выбором для широкого спектра продуктов, включая игрушки, контейнеры, и пузырчатая пленка [48].

ПЭ среднего давления (ПСД) можно производить из ряда катализаторов, включая Циглера-Натта, а также хром / диоксид кремния и металлоцен.

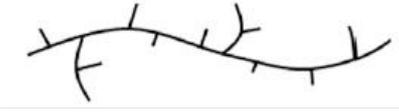
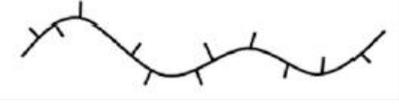
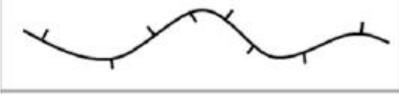
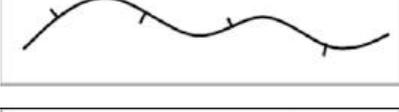
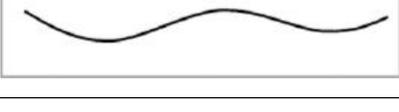
С меньшей плотностью и лучшей стойкостью к растрескиванию под напряжением, чем эквиваленты с высокой плотностью ПСД имеет более практическое применение в сантехнике и трубопроводах с ограниченным медицинским применением [31].

Сшитый полиэтилен (ПЭ-С) не определяется определенным диапазоном молекулярной массы, но относится к аналогу ПЭ. ПЭ-С является сшитым эквивалентом из ПСД или ПЭВД с промежуточной прочностью. Этот процесс сшивки может быть получен рядом методов, включая перемешивание перекиси в ПЭВД перед экструдированием при высоких температурах для образования связей между атомами углерода. Кроме этого можно использовать электронно-лучевое облучение или вторичная экструзии с участием гидрида кремния. В результате ПЭ-С является термореактивным, а не термопластичным и значительно улучшает химическую стойкость, а также диэлектрические свойства по сравнению с его несшитым аналогом. Основным применением ПЭ-С является замена меди в качестве сантехники и в качестве изолятора для использования в кабелях среднего и высокого напряжения [32].

ПЭ высокой плотности (ПЭНД) является самым дешевым, наиболее распространенным и наиболее легкодоступной формой ПЭ. Процесс создания ПЭНД был оптимизирован для крупномасштабных коммерческих применений, приведший к мировому производству недорогих, высококачественных изделий из ПЭНД. Особенностью ПЭНД является высокое отношение плотности к прочности и предел прочности при растяжении, но в то же время имеет недостаток как низкую температуру плавления и склонность к деформации при высокой температуре и давлении, необходимого для стерилизации в автоклаве для медицинских целей[50]. Поэтому используются другие методы стерилизации. ПЭНД обычно используется в медицинском имплантате [33].

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) в дополнение ко всем свойствам ПЭНД, имеет очень длинные полимерные цепи, которые обеспечивают свойства материала, подходящие для приложений с высокой нагрузкой. Длинные цепи укрепляют структуру полимера, передавая нагрузку полимерной цепи более эффективно благодаря перекрывающимся связям. Очень стойкий к истиранию и коррозионно-химически стойкий, СВМПЭ имеет разнообразные применения при формировании в волокна, в том числе для личного и брони автомобиля, подвеска [34].

Таблица 4 - Типы полиэтилена и строение мономеров

| Тип ПЭ | Плотность | Строение мономеров |
|--------|------------------------------|--|
| ПЭВД | 0,910-0,925г/см ³ |  |
| ЛПВД | 0,919-0,925г/см ³ |  |
| ПСД | 0,926-0,940г/см ³ |  |
| ПЭНД | 0,941-0,965г/см ³ |  |
| СВМПЭ | >0,966г/см ³ |  |

1.4 Сверхвысокомолекулярный полиэтилен



Рисунок 5 - Фотографии порошкообразного СВМПЭ и изделий из него

Конструкционные материалы на основе синтетических полимеров печально известны тем, что уровень их свойства и масштаб операций стали один из факторов, определяющих мир технологический прогресс. Во всех ветвях промышленности наблюдается тенденция к замене металла посуда из элементов, узлов и покрытий из полимеры. Это вызвано, прежде всего, прогресс в химии и технологии полимеров, привело к созданию синтетических

материалов те не только ранжируются по металлам в сила, но также проявляют в значительной степени меньшая плотность и высокая коррозионная стойкость, высокие теплоизоляционные и диэлектрические параметры, простота переработки в посуду. Полиэтилен (ПЭ) является самым масштабным произведенный полимер: объем его производства составляет около 100 млн т в год. Отличный количество типов и марок ПЭ известно: линейный и разветвленный полиэтилен с различными Молекулярная масса и различная молекулярная масса распределение, сополимеры этилена и олефинов с различным содержанием олефина, а также с различным характером химического и композиционного распределение олефина в макромолекуле т. д. Однако, только отдельные РЕ сорта, которые показывают специальные физико-механические свойства, могут рассматриваться как принадлежащие конструкционные полимеры. Сверхмолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) представляет собой один из наиболее перспективных полимерные конструкционные материалы принадлежащие к новому поколению полимеров. Эта Материал демонстрирует уникальный физико-механический комплекс свойства, это требуется для различные области применения из-за высокого износа стойкость и устойчивость в агрессивных средах, обусловленные с низким коэффициентом трения, высокий ударную вязкость Ticity, в рекордно низкой хрупкой температуре (до -200°C), что позволяет посуда на основе этого материала для операции в экстремальных условиях. Кроме того, СВМПЭ принадлежит к самым доступным и дешевым полимерным материалам. Сверхвысокая молекулярная масса полиэтилен представляет собой полиэтилен с молекулярная масса выше 1 млн. г/моль. по скольжению, высокой износостойкостью.

Из этого вещества создаются очень жесткие материалы с высокой ударной прочностью. По данному показателю СВМПЭ превосходит любой термопластичный полиэтилен, промышленное производство которого сейчас налажено. Некоторые его разновидности в 15 раз более устойчивы к истиранию,

чем углеродистая сталь. Коэффициент трения СВМПЭ значительно ниже, чем у нейлона и ацетала, и сравним с коэффициентом трения политетрафторэтилена (ПТФЭ, политетрафторэтилен, фторопласт-4, тефлон), но СВМПЭ имеет лучшую стойкость к истиранию, чем ПТФЭ. Материал не имеет запаха, вкуса и нетоксичен.

Перечисленные свойства позволяют широко использовать его в механизмах подверженных высокой степени истирания, например зубчатые колеса, втулки, направляющие, отбойники и пр. В химической промышленности для футеровки емкостей, труб, для транспортировки абразивных и агрессивных материалов, краны, вентили, задвижки и пр. В добывающей промышленности для облицовки ковшей, кузовов, скатов, транспортерных лент, валов и пр.

В частности СВМПЭ обладает:

1) повышенной жесткостью и исключительно высокой ударной прочностью. Повышенным сопротивлением к абразивному воздействию (высокой износостойкостью). Эти главные характеристики делают СВМПЭ эффективным в широком диапазоне приложений для высокоэффективных, долговечных изделий. Он имеет исключительную ударопрочность, даже при криогенных температурах. Поскольку он долговечен, менее чувствителен к фрикции и имеет высокую ударную прочность, СВМПЭ намного тише, чем металлы и не абсорбирует жидкости.

2) сопротивление истиранию - высокая ударная вязкость и ударная вязкость дают СВМПЭ сильные характеристики трения и износа и высокое сопротивление растрескиванию при напряжении. Он имеет самое высокое сопротивление истиранию из всех термопластичных полимеров.

3) коэффициенты трения скольжения - СВМПЭ превосходит сталь из-за низкого коэффициента трения, его высокий коэффициент смазывающей способности минимизирует теплогенерирующее трение, которое приводит к износу стальных деталей. Не требует смазки, обеспечивая более простое

обслуживание, и делает работу оборудования ровной и бесшумной. Фактически он исключает постепенный износ, связанный с металлическими частями.

4) электрический изолятор - это хороший электрический изолятор благодаря его объёмному удельному сопротивлению.

6) высокой стойкостью в агрессивных средах(коррозионная стойкость)за исключением окисляющих кислот - Уникальные свойства СВМПЭ делают его эффективным в сопротивлении износу под воздействием других материалов и элементов окружающей среды, таких как температуры ниже нуля(высокой морозостойкостью), абразивные частицы и песок.

7) низкое водопоглощение - благодаря низкому уровню водопоглощения в СВМПЭ не происходит никакого изменения размеров, когда он используется в водных средах. Этот материал не имеет пор и не содержит никаких органических пластифицирующих добавок, препятствуя возникновению грибка и бактерий.

8) способностью к волокнообразованию и возможностью получения сверхпрочных нитей, превышающих по своим прочностным показателям нити из всех известных материалов.

Полимеризация СВМПЭ была коммерциализирована в 1950-х. Пионером в данной области выступала компания Ruhrchemie AG, наименование которой менялось на протяжении многих лет. Сегодня порошковые (порошкообразные) материалы из СВМПЭ производят компании DSM(Dyneema), Ticona, Braskem и Mitsui(Темкилон),Allied Signal Inc (Spectra), Celanese. На территории России установлены две опытные установки по производству высокомолекулярного полиэтилена: «Томскнефтехим». Проектная мощность – 1000 тонн в год. «Казаньоргсинтез». Проектная мощность – 1000 тонн в год.

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности доступен на рынке либо в виде уплотненных форм, таких как листы или стержни, или же в виде волокон. СВМПЭ в форме порошка может также быть непосредственно отпрессован в форме конечного продукта. Благодаря устойчивости к износу и

ударопрочности данного вещества промышленные применения СВМПЭ продолжают расти. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности применяется в автомобильной промышленности и при производстве тары для напитков. С 1960-х годов СВМПЭ также получил широкое распространение при производстве искусственных суставов и имплантатов для применения в хирургии позвоночника, а также для нужд ортопедии. Волокна СВМПЭ появились в продаже в конце 1970-х. Впервые они были представлены голландской компанией DSM, которая специализировалась на производстве самых разнообразных химических веществ. DSM продавала волокна СВМПЭ под брендом Dyneema. Волокна используются при разработке средств баллистической защиты, в оборонной промышленности, а также в медицинских устройствах.

СВМПЭ является одним из видов полиолефина. Он состоит из очень длинных цепей полиэтилена, который выравнены в одном и том же направлении. Прочность вещества в значительной степени зависит от длины каждой отдельной молекулы (цепи). При создании волокон уровень параллельности ориентации полимерных цепей может превышать 95%, а степень кристалличности доходит до 85%. В отличие от кевлара, прочность которого определяется сильными связями между относительно короткими молекулами, в данном случае молекулы длинные, а связи между ними (Ван-дер-ваальсовы силы; силы межмолекулярного взаимодействия с энергией 10-20 кДж/моль) слабее, чем у кевлара. Слабая связь между молекулами олефинов (этиленовый углеводород) позволяет при помощи локального термического возбуждения часть за частью нарушать целостность молекулярных цепей кристаллизующегося полимера. Это свойство делает СВМПЭ гораздо менее теплостойким, чем другие высокопрочные волокна. Его температура плавления составляет от 144 до 152 ° С, и, согласно данным компании DSM, волокна СВМПЭ не рекомендуется использовать при температурах, превышающих 80-100 ° С в течение длительного периода времени. Вещество становится хрупким

при температуре ниже -150°C . Простая структура молекулы также приводит к возникновению поверхностных и химических свойств, которые редко встречаются в других высокопроизводительных полимерах. Например, полярные группы в большинстве полимеров легко взаимодействуют с водой. Так как у олефинов нет таких групп, СВМПЭ не впитывает воду столь же легко и не намокает столь же легко, что делает его объединение с другими полимерами довольно трудной задачей. По тем же причинам, человеческая кожа не взаимодействует с ним с ощутимой силой, что делает поверхность волокна СВМПЭ скользкой на ощупь. Так как сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности не содержит таких химических групп, как, например, сложные эфиры, амиды или гидроксильные группы, которые восприимчивы к воздействию агрессивных химических веществ, СВМПЭ очень устойчив к воздействию воды, влаги, большинства химических веществ, ультрафиолетового излучения и микроорганизмов. При воздействии растягивающей нагрузки СВМПЭ будет непрерывно деформироваться, пока присутствует напряжение. Такой тип деформации называется ползучестью. В целом СВМПЭ можно определить как конструкционный полимерный материал с уникальными физико-механическими свойствами для разнообразных областей применения, в том числе в экстремальных условиях.

Важнейшими характеристиками молекулярной структуры и морфологии порошка СВМПЭ, определяющими его свойства в переработке и конечных изделиях являются:

- молекулярная масса полимера;
- средний размер частиц порошка полимера;
- распределение частиц по размерам; предпочтительным является узкое распределение частиц по размерам;
- насыпная плотность порошка СВМПЭ, предпочтительно использовать хорошо сыпучие порошки с повышенной насыпной плотностью (более 400 г/л).

Используемые в производстве СВМПЭ каталитические системы и технология полимеризации обеспечивают получение порошка полимера со следующими характеристиками:

- Молекулярная масса в области $1 \cdot 10^6 - 8 \cdot 10^6$ г/моль (регулируется);
- средний размер частиц полимера в области 50-180 микрон (регулируется);
- узкое распределение частиц по размеру;
- высокая насыпная плотность порошка полимера (380-480г/л) и высокая сыпучесть порошка;
- высокая чистота полимера (зольность по титану не более 3ppm, при общей зольности не более 150ppm).

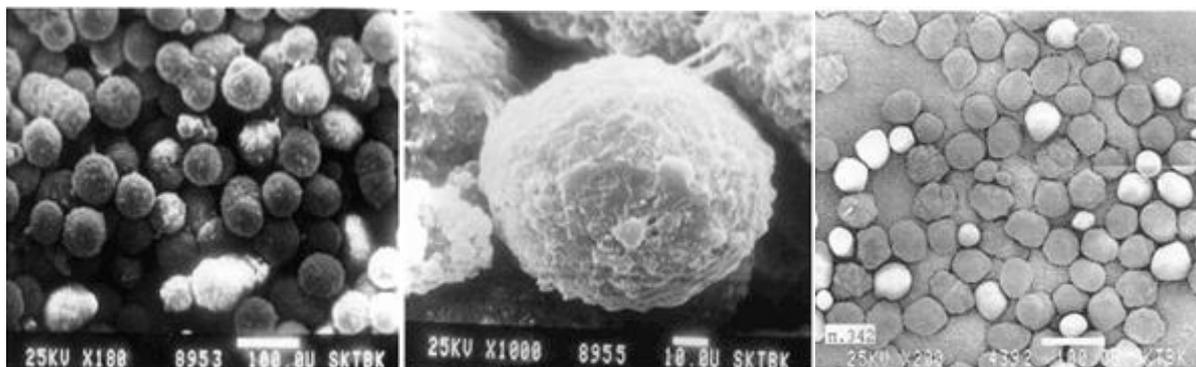


Рисунок 6 - Фотографии частиц производимого СВМПЭ

На верхних снимках микроскопа показаны образцы. На первой фотографии образцы размером 100мк. На втором снимке молекула СВМПЭ. на третьем рисунке образцы сняты с увеличением 5000 раз.

Таблица 5 – технические характеристики СВМПЭ в сравнении с ПНД

| Характеристики | PE 300 | PE 500 | PE 1000 |
|--|--------------------|------------------------------|------------------------------|
| Плотность, гр/см ³ | 0,951 | 0,95 | 0.93 |
| Воспламеняемость, 3мм/6мм | НВ/НВ | НВ/НВ | НВ/НВ |
| Водопоглощение, % | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| Предел текучести / прочность при растяжении, МПа | 25,4 | 22 | 20 |
| Растяжение на разрыв, % | >50 | >50 | >200 |
| Модуль упругости при растяжении, МПа | 700 | 1200 | 680 |
| Ударная прочность образца с надрезом, кДж/кв м | 17 | 12 | 200 |
| Твёрдость по Шору, D | 67 | 63 | 63 |
| Температура плавления, гр.С | 135 | 135 | 135 |
| Теплопроводность, W/(м • К) | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| Удельная теплоёмкость, kJ/(kg • К) | 1.90 | 1.90 | 1.90 |
| Линейный коэффициент теплового расширения, К-1 | 4x10 ⁻⁴ | 1,5- 2,3x10 ⁻⁴ | 1,5- 2,3x10 ⁻⁴ |
| Температура деформации, С | 67 | 67 | 79 |
| Диэлектрическая постоянная, | 2.40 | 2.40 | 2.30 |
| Фактор диэлектрических потерь, | 0,0004 | 0,0006 | 0,0001 |
| Удельное объёмное сопротивление, Ом•см | >10 ¹⁴ | >10 ¹⁴ | >10 ¹⁴ |
| Поверхностное сопротивление: Ом | 10 ¹⁴ | 10 ¹⁴ | 10 ¹⁴ |
| Сравнительный трекинг индекса (по тесту А), | 600 | 600 | 600 |
| Диэлектрическая прочность, кВ/мм | 45 | 45 | 45 |

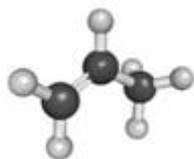
Химическая стойкость полиэтилена определяется в первую очередь, молекулярной массой, а также структурой полимерной цепи. СВМПЭ был создан для широкого применения в различных сферах, в том числе, для использования в контакте с химическими реагентами, ко многим из которых он инертен. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен обладает высокой стойкостью как к щелочам любой концентрации и солям – кислым и основным, так и к нейтральным водным растворам. Органические кислоты тоже не действуют на СВМПЭ, включая муравьиную, уксусную, плавиковую и концентрированную соляную кислоту. При комнатной температуре 80% концентрированная серная кислота также не оказывает влияния на СВМПЭ. В случае, если её концентрация превышает порог в 80%, наблюдается интенсивное пожелтение изделий. Действия окислителей изменяют свойства СВМПЭ и ПЭНД, и даже способны их разрушить, в том числе, низко концентрированная азотная кислота.

Чем выше температура эксплуатации изделий, тем более разрушительным становится окисление. В списке разрушительных для СВМПЭ материалов также фигурируют жидкий и газообразный хлор и фтор. СВМПЭ поглощает бром и йод, которые диффундируют сквозь полимер. А вот разбавленные растворы хлора и отбеливатели практически не оказывают влияния на сверхвысокомолекулярный полиэтилен. СВМПЭ обладает низкой пара и газопроницаемостью. Это зависит от размера молекул газа и их сродства к полимеру, а также от толщины, температуры и градиента концентрации. Проницаемость СВМПЭ наибольшая для углеводородов, а для сильнополярных веществ – наименьшая. Своей низкой проницаемостью для воды и водяных паров СВМПЭ выгодно отличается от других полимеров. Изделия из СВМПЭ хорошо подходят для использования во влажном воздухе и контакте с водой. Это связано с тем, что константа его проницаемости для воды почти не отличается от константы проницаемости для водяных паров. Относительная влажность до 90% не влияет на свойства его проницаемости. У СВМПЭ низкая склонность к набуханию по сравнению со стандартным ПЭНД, который не растворяется в органических растворителях при комнатной температуре, но склонен к набуханию при контакте с некоторыми из них.

Биоматериалы СВМПЭ-ГА были разработаны для использовать естественные механизмы синовиальной смазки. СВМПЭ-ГА является СВМПЭ с небольшим количество НА в объеме, который расширяет «корни» НА на поверхности СВМПЭ, к которому необязательный Поверхностное покрытие НА может быть нанесено. НА-богатый материал гидрофильный, смазывающий и хорошо увлажненный. Семейство материалов UHMWPE – НА включает СВМПЭ-ГА с непреднамеренно сшитым СВМПЭ, сшитый СВМПЭ-ГА и сшитый совместимый UHMWPE-НА. UHMWPE-НА носит значительно меньше, чем обычный UHMWPE и сшитый совместимый UHMWPE-НА имеет износостойкость на уровне или выше, чем у UHMWPE схожий уровень сшивки. Более того, после двух миллионов циклов износа сшитые совместимы

Поверхности UHMWPE – HA выглядят как не изношенные поверхности, указывающие на незначительный износ UHMWPE. Доклинические исследования показывают, что СВМПЭ-ГА нецитотоксичен и хорошо переносится в колене. Человек клинический опыт и последующие мероприятия превысили три года на момент написания этой главы с отличными результатами. Публикации этих данных планируются в будущем.

1.5 Полипропилен



Полипропилен ((C₃H₆)_n) представляет собой термопластичный «аддитивный полимер», изготовленный из комбинации пропиленовых мономеров. Он используется в различных приложениях, включая упаковку для потребительских товаров, пластиковые детали для различных отраслей промышленности, включая автомобильную, специальные устройства, такие как живые петли и текстиль. Полипропилен был впервые полимеризован в 1951 году парой ученых-нефтяников Phillips по имени Пол Хоган и Роберт Бэнкс, а затем итальянскими и немецкими учеными Наттой и Реном. В первые месяцы создания новоявленный материал обладал многогранными чертами: с удивительной комбинацией изостатичности, синдиотактичности и чертами стереоблока [34]. Однако по желанию создателя Джулио Натта, узнаваемого инженера химика который был главой производственной химии в Политехническом Милана, новоявленный материал был тщательно изучен, и уже в течение года жесткие и негибкие характеристики изостатичности преобладали [35]. По результатам укрепления этих показателей в последующие года экспериментов, полимер с недостаточно развитыми характеристиками практически потерял все недостатки. Оно стало чрезвычайно быстрым, поскольку коммерческое производство началось всего через три года после того, как профессор Джулио Натта, впервые его

полимеризовал. Натта усовершенствовал и синтезировал первую полипропиленовую смолу в Испании в 1954 году, и способность полипропилена кристаллизоваться вызывала большое волнение. К 1957 году его популярность взорвалась, и в Европе началось широкое коммерческое производство. Как видно, к концу 70-ых годов прошлого века полипропилен стал практически безупречным материалом, способный конкурировать с более ранними термопластичными материалами [38], все же лишенный очарования из-за той же монокристаллической совершенности.

Однако, несмотря на все это в середине 80-ых годов новые эксперименты в Соединенных Штатах [39], и в Германии, катализировали неожиданное, удивительное возрождение этого материала. Полипропилен показал, что его характеристики могут быть не только высоко изостатичными но и высоко синдиатичными, идеально атактичным, и даже полуизостатичным. К тому же, полимер мог смешать все эти свойства при необходимости, с непредсказуемыми результатами [39].

В наши дни, пропилен - это совсем другой полимер, и никакие достижения для этого полимера не кажутся чудесными для этого полимера. И всемирное применение этого полимера стабильно растут и сегодня это один из самых распространенных видов пластмасс в мире.

Согласно некоторым источникам, нынешний мировой спрос на этот материал создает годовой объем рынка около 45 млн. метрических тонн, и, согласно оценкам, к 2020 году спрос вырастет примерно до 62 млн. метрических тонн. Основными конечными потребителями полипропилена являются упаковочная промышленность, который потребляет около 30% от общего объема, за которым следует производство электрооборудования и оборудования, которое использует около 13% каждый. Бытовая техника и автомобильная промышленность потребляют по 10% каждый, а строительные материалы занимают 5% рынка. Другие применения вместе составляют остальную часть мирового потребления полипропилена.

Полипропилен имеет относительно скользкую поверхность, что делает его возможной заменой пластиков, таких как ацетал, в областях с низким коэффициентом трения, таких как зубчатые колеса, или для использования в качестве точки контакта для мебели. Возможно, негативным аспектом этого качества является то, что может быть трудно связать полипропилен с другими поверхностями (то есть он плохо прилипает к определенным клеям, которые отлично работают с другими пластиками, и иногда его необходимо сваривать, если требуется формирование соединения. Хотя полипропилен является скользким на молекулярном уровне, он имеет относительно высокий коэффициент трения, поэтому вместо него следует использовать ацетал, нейлон или PTFE. Полипропилен также имеет низкую плотность по сравнению с другими распространенными пластмассами, что приводит к снижению веса для производителей и дистрибьюторов полипропиленовых деталей, отлитых под давлением. Он обладает исключительной стойкостью при комнатной температуре к органическим растворителям, таким как жиры, но подвержен окислению при более высоких температурах (потенциальная проблема во время литья под давлением).

Химическая стойкость: разбавленные основания и кислоты плохо реагируют с полипропиленом, что делает его хорошим выбором для контейнеров с такими жидкостями, как чистящие средства, средства первой помощи и многое другое. Имеет отличные свойства цветостойкости - это означает, что мы можем легко добавить цвет без ухудшения качества самого материала. Он так же не впитывает воду, как другие пластмассы - это означает, что мы используем его для водонепроницаемых применений. Он устойчив к плесени, гниению, бактериям и многому другому - это означает, что мы можем использовать его в течение длительных периодов в помещениях и на открытом воздухе без риска повреждения;

Эластичность и ударная вязкость: полипропилен будет действовать с эластичностью в определенном диапазоне прогиба (как и все материалы), но он

также будет испытывать пластическую деформацию на ранних стадиях процесса деформации, поэтому его обычно считают «жестким» материалом. Прочность - это инженерный термин, который определяется как способность материала деформироваться (пластически, а не эластично) без разрушения.

Устойчивость к усталости: полипропилен сохраняет свою форму после большого кручения, изгиба или изгиба. Он очень устойчив к износу, разрыву и усталости: это делает его идеальным для предметов, которые выдерживают высокие уровни физического напряжения;

Изоляция: полипропилен обладает очень высокой устойчивостью к электричеству и очень полезен для электронных компонентов.

Полипропилен классифицируется как «термопластичный» материал, который связан с тем, как пластик реагирует на нагрев. Термопластичные материалы становятся жидкими при температуре их плавления (примерно 160 градусов Цельсия в случае полипропилена). Основным полезным свойством термопластов является то, что их можно нагревать до температуры плавления, охлаждать и снова нагревать без значительного разрушения. Вместо горения термопласты, такие как полипропилен, разжижаются, что позволяет легко их отливать под давлением, а затем повторно использовать. В отличие от этого, термореактивные пластмассы можно нагревать только один раз (обычно в процессе литья под давлением). При первом нагревании происходит отверждение термореактивных материалов (аналог двухкомпонентной эпоксидной смолы), что приводит к химическому изменению, которое невозможно изменить. Если вы попытаетесь разогреть термореактивный пластик до высокой температуры во второй раз, он просто сгорит. Эта характеристика делает термореактивные материалы плохими кандидатами на переработку. Это оказывает наименьшее воздействие на окружающую среду среди всех типов пластмасс; мы можем перерабатывать полипропиленовые изделия и детали во многие области применения (ящики, банки, домашние хранилища, цветочные горшки, поддоны, ящики, композитные пиломатериалы

и т. д.) он производит меньше твердых отходов по весу и меньше эквивалентов CO₂ по весу, чем ПЭТ, ПС или ПВХ.

Таблица 6 - Технические характеристики полипропилена

| Характеристики | ПП |
|--|-------------------|
| Плотность, гр/см ³ | 0,90-0,92 |
| Водопоглощение, % | <0.01 |
| Предел текучести / прочность при растяжении, МПа | 26-40 |
| Растяжение на разрыв, % | >200-700 |
| Ударная прочность образца с надрезом, кДж/кв м | 17 |
| Температура плавления, гр.С | 160-170 |
| Теплопроводность, кал/сек x см x град | 0.00033 |
| Удельная теплоёмкость, кал/г x град | 0,4 |
| Линейный коэффициент теплового расширения, К-1 | 0,00033 |
| Температура стеклования, гр.С | -10..-20 |
| Диэлектрическая постоянная, | 2.2 |
| Фактор диэлектрических потерь, | 0,0004 |
| Удельное объёмное сопротивление, Ом•см | >10 ¹⁷ |
| Поверхностное сопротивление: Ом | 10 ¹⁶ |
| Диэлектрическая прочность, кВ/мм | 30-35 |

Одним из основных преимуществ полипропилена является то, что деталь может быть изготовлена с помощью ЧПУ или литья под давлением, термоформования или прессования. Одним из других преимуществ является то, что полипропилен может быть подвергнут механической обработке с ЧПУ, который обеспечивает более быструю разработку прототипа и дешевле, чем другие методы прототипирования.

Другое преимущество полипропилена состоит в том, что он может быть легко сополимеризован (по существу, объединен в композитный пластик) с другими полимерами, такими как полиэтилен. В итоге свойства комозитного материала улучшаются, что позволяет применять более надежные инженерные решения, чем это возможно при использовании чистого полипропилена. На данный момент существует большое количество исследований композитных материалов с ПП:

Композитный материал с матрицей из полипропилена и наполнителем из переработанной резиновой крошки. Этот КМ был создан для урегулирования твердых отходов, в виде резины. КМ материал состоящий из резиновой крошки и полипропилена может быть использоваться в различных применениях на открытом воздухе и в помещениях, таких как автомобильные остановки, крылья-марины, железнодорожные шпалы, настил.

Композитные материалы из армированного углеродного волокна (CFRP) широко используются при изготовлении основных конструктивных элементов в аэрокосмической технике благодаря их удельной жесткости и высокому соотношению прочности и веса. В процессе сверления часто используется операция механической обработки для сборки деталей, изготовленных из композитных материалов, армированных волокном (FRP). В этой работе подробно изучено влияние переменных процесса бурения, таких как скорость шпинделя и скорость подачи сверла, на вызванное бурением расслаивание на выходе во время бурения термопластичного композита из армированного углеродного волокна полипропилена (CFR-PP). Для этого исследования ламинаты CFR-PP изготавливаются с использованием машины горячего прессования с укладкой пленки. Изготовленные ламинаты проверяются на физические и различные механические свойства в соответствии с соответствующими стандартами ASTM. Чтобы проанализировать характеристики обработки, эксперименты по сверлению проводятся на вертикальном обрабатывающем центре с ЧПУ (VMC) с использованием спирального сверла трех типов, изготовленного из быстрорежущей стали (HSS), твердосплавного (TC) и твердого карбида (SC) диаметром 6 мм. Основная цель данной работы - проанализировать влияние скорости шпинделя и скорости бурения на вызванное бурением расслаивание просверленного отверстия в композиционных материалах CFR-PP. Эмпирическая связь между переменными обработки и реакциями процесса разработана, чтобы предсказать результат процесса. Наблюдения показали, что разработанная регрессионная

модель очень подходит для прогнозирования реакции процесса во время бурения композиционного материала CFR-PP.

1.6 Поливиниловый спирт (ПВС)

Поливиниловый спирт (ПВС), $(C_2H_4O)_x$ представляет собой бесцветный, обычно нетоксичный термопластичный клей, полученный полимеризацией винилового спирта. ПВС был открыт в 1912 году доктором Фрицем Клатте в Германии.

По названию полимера можно понять, что ПВС является виниловым полимером. Он получается методом радикальной виниловой полимеризации из мономера винилацетата. Винилацетат $(C_2H_4O)_x$ получают из этилена взаимодействием с кислородом и уксусной кислотой над палладиевым катализатором. Под действием свободнорадикальных инициаторов винилацетатные мономеры могут быть связаны в длинные разветвленные полимеры, в которых структура повторяющихся единиц винилацетата имеет вид

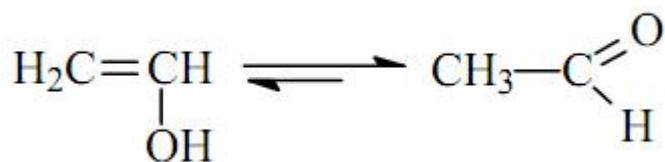


Рисунок 7 - Структура поливинилового спирта

Полимер ПВС в виде гранул или порошков получают в процессе при получении твердого поливинилацетата из раствора метанола после удаления остаточного мономера и растворителя полимер в расплавленном виде выдавливают шнеком через щель необходимого диаметра. Выходящий

филамент охлаждается и либо наматывается на катушку, либо нарубается на гранулы.

Это один из наиболее широко используемых водно-дисперсионных клеев. ПВС состоит из эмульсии на водной основе широко используемого типа клея, называемого по-разному: древесный клей, белый клей, плотницкий клей, школьный клей или клей ПВС. ПВС в основном используется в пластмассах, армированных стекловолокном, для улучшения противоударных и противозадирных свойств. Это также используется в автомобильных фарах, чтобы продвинуть их работу блеска. Кроме того, ПВС может быть добавлен в цемент / бетон, где он может улучшить водостойкость. Поскольку ПВС является эмульсией, а не водным раствором, после высыхания пленки она становится гидрофобной. Установка и отверждение ПВС осуществляется путем удаления воды вследствие испарения или абсорбции в субстрат. Клеи ПВС дают прозрачные, твердые пленки которые имеют хорошую устойчивость к погодным условиям и выдерживают воздействие воды, жира, масла и нефтяного топлива. Дополнительные свойства: высокая начальная клейкость, почти невидимая линия склеивания, размягчение при 30–45 ° С, хорошая стойкость к биодegradации, плохая устойчивость к ползучести под нагрузкой и низкая стоимость. ПВС клеи и сополимеры также используются в качестве герметиков, клеев.[40]

ПВС, это один из тех полимеров, который выполняет роль второстепенного материала, то есть вспомогательного характера и даже в составе композитных материалов используется в качестве наполнителя. По сравнению с широко распространенными пластиками как полиэтилен, полипропилен или полистирол, найти материалы изготовленные из ПВА или вещества где есть ПВС является трудной задачей. Но в случае тщательного изучения можно понять, что ПВС находит применение повсюду. ПВС можно обнаружить между двумя древесиными склеенными друг к другу, в мебельном производстве, так как этот материал является отличным клеем. Так же из

данного материала в составе других материалов делают бумажные покрытия для придания блестящего вида.

Так же одной из областей применения ПВС гранул являются аддитивные технологии, 3D-печать. Филамент ПВС имеет прозрачный коричневый цвет. Он устойчив к маслам, жирам и растворителям и обладает отличными адгезионными свойствами. Обладает высокой прочностью на растяжение и гибкостью. Одним из преимуществ применения ПВС в 3D-печати является способность этого материала растворяться в воде. Благодаря тому, что ПВС растворяется в воде, ПВС в 3D-печати используется как поддерживающий основную деталь материал, который после завершения печати вымывается водой. Или же для изготовления форм, где ПВС печатается как форма, которая вымывается после печати. Так же известно применение из-за обострения глобальных экологических проблем и нехватки нефтяных ресурсов, вызванных полимерами нефтехимического происхождения, экологически чистые и биоразлагаемые материалы становятся все более важными для социального устойчивого развития [41]. ПВА, биоразлагаемый полимер с мультигидроксильными группами, широко использовался в упаковке [42], биомедицине [42], клеях и как армирующий волокна материал, благодаря своей хорошей растворимости в воде, превосходному газовому барьерному свойствам и сильным механическим свойствам [43]. В данной работе гранулы ПВС планируется использовать для выщелачивания пор.

1.7 Аддитивные технологии

1.7.1 История развития аддитивных технологий

Аддитивные технологии(AM - additive manufaruting) — это технология послойного накладывания, синтеза, — одно из быстро развивающихся направлений компьютерно моделируемого производства деталей. Эта технология производства основана на «послойного добавления» материала, в котором, в отличие от традиционных методов производства деталей, в которых лишний материала убирается обработкой. Идея аддитивных технологий состоит в построение деталей форм, путем фиксации слоя на слое, сплавлением, склеиванием, полимеризацией и т.д. Говоря другими словами производства деталей в аддитивных технологиях предполагает «наращивания» материала послойно.

Применение аддитивных технологий - модификация поверхности. Послойная обработка позволяет строго контролировать композиционные градиенты, а также физические характеристики вплоть до микромасштаб. Металлические, полимерные и керамические детали могут быть изготовлены аддитивными технологиями. И используя разные методы, композитные материалы могут быть созданы с низкими пространственными допусками, которые позволяют исследователям изменять свойства поверхности. Точный контроль над физическими и химическими свойствами поверхности, которые могут предложить АТ, открывают двери для создания одношагового производственного процесса с широкими возможностями настройки детали, а также мощный инструмент последующей обработки для модификации поверхности конкретного участка. Другими неотъемлемыми преимуществами АТ, являются производство по требованию, меньшая площадь для производственной мощности и гибкие производственные возможности даже в отдаленных районах еще более укрепляют аргумент в пользу использования

аддитивных технологий в таких приложениях для повышения качества поверхности при изготовлении.

Считается что вклад в развитие современных АТ внесли две технологии, которые были изобретены в 19-ом веке. В 1890 г. Josef E. Blather предложил метод изготовления трехмерных карт местности, укладыванием и склеиванием восковых пластин по контурным линиям карт. В результате получалась карта с послойным наложением впадин или холмов. После этого накладывая на эту карту бумаги, формировался макет местности. Эта технология легла в основу LOM (Lamination Object Manufacturing) - послойное склеивание тонких листовых материалов. В 1979 году эту технологию предложили использовать для быстрого изготовления пресс- форм со сложной геометрией.

Второй технология была предложена François Willème в 1890г. Фотоскульптура – вокруг объекта располагали фотокамеры и одновременно камеры фотографировали, после каждая фотография проецировалась на полупрозрачный экран и оператор с помощью пантографа обрисовывал контур. Связанный с пантографом резак удалял на глине излишки формируя модель объекта.

1935г. Isao Morioka предложил технологию которая сочетала в себе ранее описанные методы для формирования трехмерного объекта. Затем 1956 году была предложен способ селективной экспозиции прозрачной фотоэмульсии. Суть метода состояла в том что поршень с определенным шагом перемещался вниз, а эмульсия в цилиндре поршня засвечивалась и наносилась фиксирующий реагент, затем поршень снова опускался, повторяя эти действия формировалась модель.

1977г. Wyn Kelly Swainson предложил способ получения моделей отверждением фоточувствительного полимера в точке пересечения лазерных лучей. В это время появляются технологии послойного нанесения порошковых материалов.

Технология 3д печати появилась в конце восьмидесятых. Компанией 3D Systems была разработан стереолитографический принтер –SLA. В то же время компания Stratasys разработала первый в мире FDM принтер. Эти принтеры стоили больших денег, и модельный ряд был весьма скуден. В 1995 году студенты Массачусетского технологического института внедрили технологию послойного наложения в обычный лазерный принтер, в последствии основав компанию Z Corporation, которая оставалась лидером принтеров объемных фигур до широкого распространения технологий CNT.

1.7.2 3D-печать в медицине

Прогресс 3Д-печати очевиден. Это было широко известно как быстрое прототипирование в прошлом, но было быстро вытеснено аддитивными технологиями (АТ), текущим предпочтительным термином для стандарта ASTM. Во многом кстати, 3D-печать еще не переросла быстрое прототипирование; литье под давлением и другое традиционное производственные технологии все еще намного быстрее чем АТ. Тем не менее, «производственная» часть АТ заслуживает внимания при рассмотрении как персонализированная медицина, где медицинские устройства должны быть разработаны для каждого отдельного человека. Кроме того, геометрии, которые недостижимы при использовании существующих методов производства, таких как пористая трабекулярная кость, в настоящее время пригодны для 3D-печати.

АТ требует гораздо меньше сырья, чем традиционные методы производства, что крайне важно, когда сырье является редким или дорогим (например, аутологичные стволовые клетки). Хотя АТ не будут полностью вытеснять традиционные методы, он может заполнить ниши, где требуются низкие объемы производства или «невозможная» геометрия.

Наиболее распространенные и легкодоступные 3D-принтеры относятся к типу экструзии, где резервуар с сырьем выдавливается на сопло, известное как

«hotend», перемещается в трех поступательных измерениях относительно слоя основания. Разрешение и скорость изготовления тесно связаны с геометрией сопла и вязкоупругих свойств расплава полимера. Биопечать использует те же аппаратные и программные средства, что и FDM, но отличает себя поддержанием асептической печатной среды, то есть поддерживается стерильность среды и использованием уникальных экструдеров, разработанных для биоматериалов. Вместо расплава полимера клетки, суспендированные в гидрогелях или других мягких материалах, экструдируют через сопло. Материал затвердевает с помощью альтернативного механизма, такого как УФ-фотополимеризация или затвердевание после утончения при сдвиге.

Еще одна категория - это избирательное склеивание, когда отдельные объемы в пределах бассейна сырья связаны друг с другом, образуя формируя структуру. Стереолитография (SLA) является примером этого, где ультрафиолетовый свет от проектора или лазера проходит по поверхности отрицательного фоторезистора; экспонированный фоторезист полимеризуется и становится нерастворимым в проявляющем растворителе. С наложением дополнительных слоев фоторезистора послойно, происходит послойное изготовление детали. Как подкатегория стереолитографии, двухфотонная полимеризация выполняется с использованием луча ближнего инфракрасному лазеру, который не поглощается фоторезистором. При плотной фокусировке, два почти инфракрасные фотоны могут быть практически одновременно поглощены, чтобы по существу будет действовать как ультрафиолетовый фотон, где бы ни проходил фокус, он полимеризуется, позволяя применение новых слоев фоторезистора, и может выполняться с суб-дифракционным предельным разрешением. В том же духе, селективное лазерное спекание (SLS) выполняется аналогично SLA, где лазер плавит металлические частицы в порошковом слое, расплавленные частицы, отвердевая, образуют слой детали. После этого платформа отпускается на толщину слоя для спекания последующего слоя детали.

Цена и скорость изготовления с использованием принтеров сделали их центром внимания при изготовлении протезов. Быстрый процесс проектирования с использованием автоматизированного проектирования / автоматизированного производства (CAD/CAM) позволяет создать индивидуальный дизайн и быстрое изготовление в уникальных случаях. Например, протезы, предназначенные для детей, имеют короткий срок службы из-за быстрого изменения в размере конечности. Этот дорогостоящий недостаток можно устранить с помощью технологии 3D-печати.

Для изготовления протезов из мягких тканей, таких как литейная форма для ушей, это основная часть, поэтому самая большая стоимость процесса. Важность рентабельного производственного процесса особенно тривиальна для изготовления протезов для детей. Дети примерно до 18 лет склонны к изменению размеров своего тела, а дорогостоящее протезирование делает его практически невозможным для многих семей, чтобы позволить себе такие устройства. Примечательно, что 3D-печать была использована для значительного снижения стоимости изготовления протезов. Например, пациенты с микротией могут извлечь выгоду из этой технологии, чтобы их внешнее ухо было нормальным. Кроме того, 3D печать оказала огромное влияние на изготовление протезов конечностей у детей. Дети получают выгоду от расширенной функциональности использование 3D-печати недорогих, легких, прочных, легко настраиваемых и легко заменяемых протезов.

1.8 Пористые композиты на основе СВМПЭ

Люди с травмами или заболеваниями костей нуждаются в реконструкции костных дефектов. Больные раком нуждаются в замене фрагментов кости, так как результат разрушения ткани из-за опухоли или из-за расширенного хирургические вмешательства, включающие резекцию патологических участков. В настоящее время проведение реконструкции структурной

целостности поврежденной костной ткани является актуальной проблемой. Костная ткань обладает естественной способностью к регенерации, но в случае больших дефектов эта способность крайне ограничена. В этих случаях может потребоваться дополнительное воздействие для восстановления костной ткани. в сочетании с обычными консервативными методами для уменьшения локального воспалительного процесса. Это проблема является актуальной: только в России больше чем 70 000 замен производится в год.

Материалы, используемые для восстановления костных дефектов, должны иметь целый набор специфических свойств: имплантаты должны быть биологически совместимы с организмом, обладать высокими механическими свойствами, обеспечивают полную замену дефекта кости и инициировать процессы восстановления. Следовательно, есть много разных материалов, которые отличаются друг от друга по принципу замены костного дефекта.

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) является широко используемым материалом для имплантологии из-за его биоинертности и высоких механических свойства. СВМПЭ может быть потенциально использован для изготовления пористых имплантатов, максимально имитирующих пористая губчатая костная ткань. Но чрезвычайно высокий молекулярный вес Использование полимера не позволяет использовать традиционные методы пенообразования: химическое пенообразование с добавлением пенообразователей, таких как азосоединения [48], пероксиды, эпоксиды, соль, воски, сахара, физическое пенообразование при высоком давлении азота, двуокись углерода, аргон, фреон или низкокипящие углеводороды, способ разделения фаз и спекания. Для применение пористого СВМПЭ в качестве материала для имплантатов имеет дополнительные требования по чистоте и исключают использование токсичных порообразующие агентов. Методика получения пористого СВМПЭ с использованием порообразующего наполнителя (NaCl) был использован в [50]. Такой метод позволяет получать материалы с пористостью 60–70%. Все ранее

описанные пористые материалы из СВМПЭ [51] используются в орбитальных имплантатах и для восстановления мягких тканей и хрящей, которые не подвергаются к высоким механическим нагрузкам. В выше указанных работах методов формования изделие было горячим прессованием, и для получения пористого изделия применялся NaCl, который вымывался водой в автоклаве.

Так же были изучена работа по созданию архитектурно трехмерного пористого каркаса из СВМПЭ, имитирующие анизотропную трабекулярную структуру костной ткани, изготовленной путем сочетания 3D-печати, порошкового наполнения и горячего литья и окончательного выщелачивания. Исследования подтвердили высокое совершенство распорок и узлов в архитектуре с открытыми порами с диаметрами пор в диапазоне 0,7-3 мм. Текстура поверхности была охарактеризована неровностями 250 мкм, сформированными шаблонами из СВМПЭ на поверхность PLA, жертвенной 3D-печатной матрицы. И хотя по результатам данной работы механические свойства СВМПЭ обеспечивают хорошее соответствие характеристикам костной ткани, обещающие успешное использование в остеопластических хирургических приложениях, все же был использован метод горячего формования на 3D матрице[52].

В данной работе планируется получить композитный материал на основе СВМПЭ, для изготовления изделия методом 3D-печати, для получения пор будет применяться клей ПВС который после печати детали планируется вымыть и просушить. Как было указано в источниках для успешного вживления импланта с костной тканью пористость изделия должна быть 40-45%, с размерами пор 100 мкм.

2 Объект и метод исследования

2.1 Постановка задачи

- 1) Изучить и освоить двухшнековый экструдер Rondol, для механического смешивания полимеров и получения композитного материала;
- 2) Изучить и освоить программное обеспечение Repetier Host для 3D печати изделия из полученного композитного материала;
- 3) После изучения литературы было принято решение о составе КМ;
- 4) Равномерно перемешать порошок СВМП с весовыми пропорциями 70% и гранулы полипропилена 30% соответственно, после этого сэкструдировать филамент диаметром 0.5 мм, на двухшнековом экструдере Rondol. Полученный филамент композита из СВМП и ПП раздробить в гранулы на дробилке.
- 5) Раздробить филамент ПВА на гранулы, для смешивания и экструзии на двухшнековом экструдере.
- 6) Получение гранул необходимого композитного материала
- 7) Печать детали на 3D-принтере, методом FDM. Детали были изготовлены для проведения трибологических испытаний и испытания на разрыв.
- 8) По результатам проведенных работ сделать заключение.

2.2 Определение пропорции композита

Сверх высокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) и композитные материалы на его основе обладают большими необходимыми свойствами, благодаря которым эти материалы используют во многих сферах промышленности. Технологии производства изделий из этих материалов расширяются день за днем, это плунжерная экструзия, горячее прессование, гель формация и т.д. Однако по некоторым причинам применение данного

материала в аддитивных технологиях не является возможным. Ранее были описаны неоспоримые преимущества производства изделий 3D-печатью: скорость изготовления изделия по сравнению с традиционными методами изготовления имплантов, индивидуальная геометрия детали, что является одним из важных критериев вживления имплантов в биопротезировании. Польза от использования аддитивных технологий для производства изделий из экструдированного композитного материала на базе СВМПЭ, позволит сэкономить время и расходы на электроэнергию, в то же время расширяя список износостойких, химически инертных, морозостойких деталей не требующих лишних затрат на обработку изделия. Однако, применение СВМПЭ и композитов на его основе ограничено низкой текучестью сверхвысокомолекулярного полиэтилена $\text{FBI } 0.04\text{-}0.06 \text{ гр/}10 \text{ мин}$. На данный момент активно изучается вопрос применения таких методов как FDM печать и SLS для производства деталей со сложным строением из полиолефиновых матриц, с СВМПЭ с различными наполнителями. Так же известно, что СВМПЭ может быть смягчен добавлением полипропилена, полиэтилен гликоля, изостатического полипропилена, полиэтилена низкой плотности и т.д. В некоторых работах изучена возможность увеличения текучести путем изменения методов синтезирования, применением альфа-токоферола, гидриоксиапатита, полидеметилсилоксана, парафиновых масел и т.д.[52]. Однако по результатам всех этих методов в меньшую или большую сторону структура и механические свойства полученного композитного материала ухудшились.

Как уже упоминалось, в качестве смягчающих наполнителей, помимо обрабатывающих добавок, традиционно используемых в промышленности, коммерчески можно использовать доступные полимеры, совместимые с УНМРЕ, включая привитый полиэтилен высокой плотности с малеиновым ангидридом, полиэтиленом, привитым винилтриметоксисиланом (HDPE-g-VTMS), или сополимером полипропилена с полиэтиленом низкой плотности

(PP-b-LLDPE) или полиамидом (PA-b-LLDPE), сшитый полиэтилен (PEX-b) и т. Д. [17, 18]. На основании предыдущих исследований механических и триботехнических характеристик полимер-полимерные композиции, было обнаружено, что смесь с полипропиленом (FBI 2,5-4,0 г/10 мин) имела Максимальный FBI среди всех исследованных смесей был равен 0,54 г / 10 мин. В [17, 18] показано, что удовлетворительное текучесть расплавов СВМПЭ-смесей может быть достигнута путем введения смягчающих добавок в количестве не менее 10 мас.%. В этом случае сферолитическая надмолекулярная структура матрицы сохраняется, если материал обрабатывается методом компрессионное спекание. Как и сверхвысокомолекулярный полиэтилен полипропилен так же является биосовместимым материалом. Было решено получить композитный материал с пропорцией 70% СВМПЭ на 30% полипропилена.

Для получения пористой структуры полученный композитный материал перемешали с поливиниловым спиртом разной пропорции :смесь композита СВМПЭ 70% + ПП 30% с: 20%, 30% , 40%, 50%.

2.3 Материалы и методы исследования

2.3.1 Получение гранул

В качестве матрицы композитного материала был использован порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена фирмы Ticona (GUR-2122) с размером частиц 5-15мкм, гранулы поливинилацетатного филамента размером 3-5 мм и полипропилена марки PP - 21030 сферические гранулы размером частиц 3-5 мм. Ниже показаны фотографии материалов.



Рисунок 2.1 - (а) - порошок СВМП, (б) - гранулы ПП, (в) - гранулы ПВС

Для эффективного комбинирования размеров СВМПЭ с размером частиц 5-15мкм и с большими частицами полипропилена в 3-5мм, после тщательного перемешивания смесей, весовой пропорцией 70% на 30%, они были дополнительно перемешаны в двухшнековом экструдере «Rondol»(10mm двухшнековый экструдер фирмы MicroLab). В данном экструдере температура регулируется в пяти зонах. Ниже представлена диаграмма с выставленными температурными значениями, выставленная при экструдировании филамента. Как видно по диаграмме температура на выходе из экструдера была 210°C. Для получения гранул размером 3-5 мм филамент на выходе из сопла экструдера был раздроблен на электрической дробилке «Rondol».



Рисунок 9 - температуры в зонах экструдера

Температурный режим был выбран таким образом чтобы при поступлении материала нагрев происходил постепенно, и на сопле чтобы не было резкого охлаждения. Ниже указана фотография полученных гранул:



Рисунок 10 - фотография гранул композитного материала.

Далее полученные гранулы композита СВМПЭ+ПП были поделены на 4 и перемешаны с гранулами поливинилового спирта, с пропорциями СВМПЭ+ПП 80%+ПВС20%, СВМПЭ+ПП 70%+ПВС30%, СВМПЭ+ПП 60%+ПВС40%, СВМПЭ+ПП 50%+ПВС50%. После равномерного перемешивания гранулы были дополнительно перемешаны в двухшнековом экструдере «Rondol» (10mm двухшнековый экструдер фирмы Microlab). Ниже представлена диаграмма с выставленными температурными значениями, выставленная при экструдировании филамента. Как видно по диаграмме температура на выходе из экструдера была 200°C. Для получения гранул

размером 3-5 мм филамент на выходе из сопла экструдера был раздроблен на электрической дробилке «Rondol».



Рисунок 11 - температуры в зонах экструдера во время экструзии композит + ПВХ

При экструдировании этой смеси пришлось понизить температуры на каждой зоне на 10°C, так как было заметно легкое задымление филамента на выходе из сопла. Ниже показана фотографии полученных гранул композитного материала:



Рисунок 12 - фотографии полученного композитного материала.

2.3.2 Печать деталей на принтере

После получения гранул перед приступлением к печати было необходимо просушить гранулы в термовакуумном шкафе при температуре 100 °C со значением вакуума -0,1 МПа, в течение 3 часов, так как ПВХ является влажным и перед печатью гранулами или филаментом этого материала рекомендуется

просушивание филамента. Печать детали была произведена на принтере модели Armprinter (Рисунок 13).

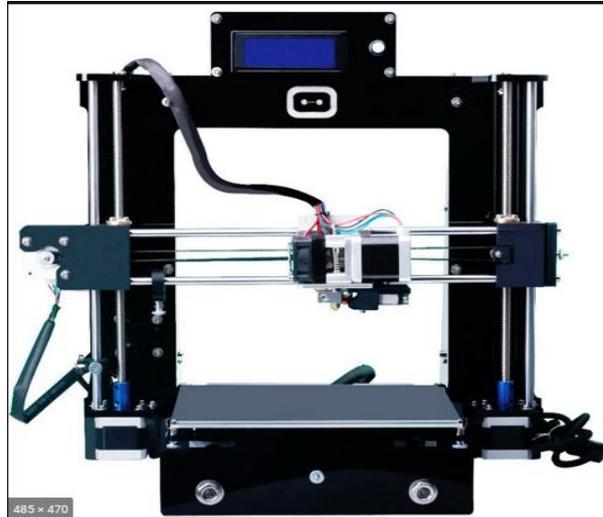


Рисунок 12 - 3Д принтера

Принтер подключается к сети 220 В, и соединен с компьютером через USB порт, управляется программным обеспечением Repitier Host. Программным языком, управляющим принтером является G-code. Одним из распространенных форматов 3D-моделей является STL. 3D-модель в STL формате конвертируется слайсером в G-code. Так же параметры печати такие как: скорость печати, толщина слоя, скорость экструзии гранул, форма по которой накладывается слой, скорость первого слоя, параметры заполнения, диаметр слоя, температура зон экструдера, температура стола настраиваются в слайсере. Скриншот окошка слайсера указан ниже:

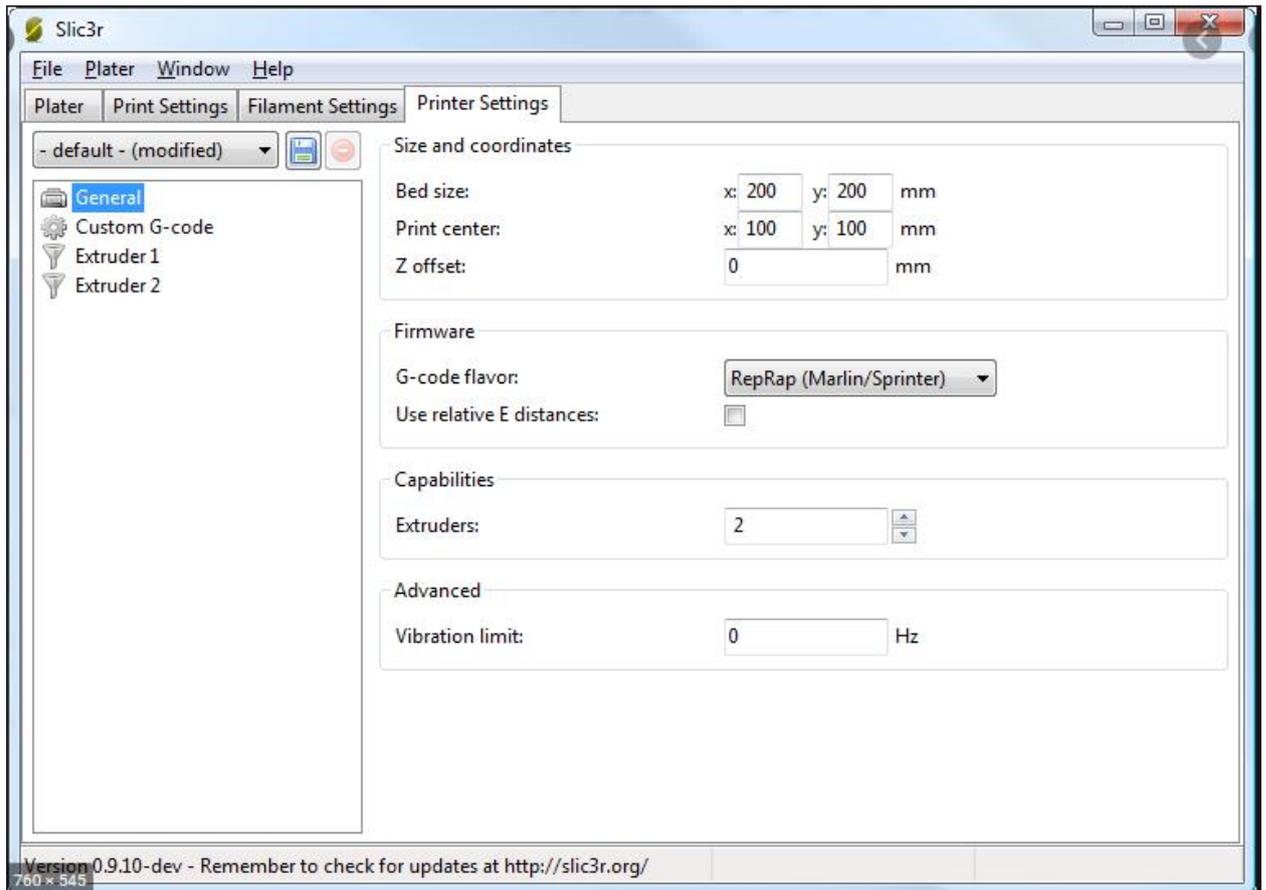


Рисунок 13 - программное окошко слайсера.

В данной работе использован слайсер Slic3r. Он назван слайсер так как разрезает 3D-модель в набор двух мерных слоев из которого 3D-принтер печатает 3D-объект. При печати данного композитного материала температура экструдера была в пределах 170°C-200°C в зависимости от пропорции ПВС так как температура печати поливинилового спирта находится в пределах 190°C-220°C, а температура стола на которой печаталась деталь была выставлена 110°C-115°C. Основными параметрами для печати являются толщина слоя, процент наполнения, скорость печати, ширина эктрузии и количество подаваемого материала.

2.3.3 Пористость детали

Для получения пор напечатанные детали размером 30x30x10мм были положены в воду подогретую до 50°C в течение 24 часов, деталь для физико-механических испытаний была положена в воду температурой до 70°C в течение 24 часов. После вымывания ПВС образцы были высушены в термовакуумной печи при температуре 100°C, и в вакууме -0,1МПа, в течение 3-х часов с целью удаления влаги из образцов. После высушки детали были взвешены и был произведен расчет плотности и пористости образцов данные занесены в таблицу 7. Фотография процесса вымывки поливинилового спирта из образцов показана ниже.



Рисунок 14 - вымывка ПВС из напечатанных образцов.



Рисунок 15 - высушенные образцы после промывки.

Для расчета пористости полученных детали были использованы образцы приготовленные на трибологические испытания. Пористость детали рассчитывали по формуле:

$$\text{Пористость(\%)} = \left(1 - \frac{\text{Плотность после}(\text{г/см}^3)}{\text{Плотность до}(\text{г/см}^3)}\right) * 100\%,$$

А плотность детали рассчитывалась по формуле:

$$\rho(\text{г/см}^3) = \frac{m(\text{г})}{V(\text{см}^3)}.$$

Таблица 7 - весовые значения образцов до и после промывки.

| № | Пропорции СВМПЭ+П П/ПВС | Масса до(г) | Масса после(г) | Плотность до (г/см ³) | Плотность после(г/см ³) | Пористость(%) |
|---|-------------------------------|----------------|-------------------|--------------------------------------|--|---------------|
| 1 | 50/50 | 12,36 | 10,9 | 1,04 | 0,92 | ~12 |
| 2 | 60/40 | 10,64 | 9,7 | 1,01 | 0,92 | ~9 |
| 3 | 70/30 | 10,72 | 10,4 | 0,99 | 0,96 | ~3 |
| 4 | 80/20 | 11,37 | 11,1 | 0,98 | 0,96 | ~2 |

По расчетам пористости изделия можно понять, что ПВС не вымылся до конца так как потери в весе не значительны, и пористость детали не соответствуют пропорции ПВС в образцах. Предполагается, что ПВС не вымылся полностью, так как размеры частиц вода не добралась до закрытых структур, которые находились подслойно в полученном композитном материале получились маленькими. Глубина вымывания составила около 1 мм. Так же полагается, что для полного вымывания ПВС из детали не хватило времени, и при более длительном периоде глубина промывание будет увеличена. По результатам пористости, потери масс можно сказать, что наибольшее вымывание произошло в смесях с пропорцией 50/50% и 60/40% , что в принципе понятно, так как больше поливинилового спирта находилось на поверхности напечатанной детали. В то же время по данным показателям не получилось достичь теоретической пористости. Однако, необходимо учитывать что деталь которая печаталась в данной работе полностью наполнена и наименее тонкая стенка составляла 10мм, полагается что при печати изделий с толщиной стенки менее 2 мм, удастся добиться теоретических показателей пористости.

4 «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

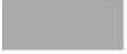
4.2 Предпроектный анализ

4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Основные потребители результатов исследований могут быть как крупные медицинские компании так и физические лица которым потребуется как либо протезирование. Они указаны в нижней карте сегментирования таблица 4.1.

Таблица 4.1- Карта сегментирования рынка

| | | Платформы предоставления услуг протезирования | | |
|-----------------|---------|---|--|---|
| | | Гос. больницы | Частные клиники | Люди которым требуется протезирование |
| Размер компании | Крупные |  |  |  |
| | Средние |  |  | |
| | Мелкие | | | |

 Prosthesis  Max Bionic  Intalent Pro

По карте сегментирования рынка видно что основным сегментом рынка на которое будет ориентироваться предприятие будет люди которым требуется протезирование, а так же гос.больницы и частные клиники. Так как технология и метод разработки данного продукта не применяется на данный момент в тех крупных компаниях. Данная технология так же может предлагаться частным клиникам так как затраты на оборудование являются сравнительно недорогим решением.

4.1.2 Анализ конкретных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Выполнение научно-исследовательских работ оценивается уровнями достижения экономического, научного, научно-технического и социального эффектов.

Научный эффект характеризует получение новых научных знаний и отображает прирост информации, предназначенной для внутри научного потребления. Экономический эффект характеризуется выраженной в стоимостных показателях экономией затрат на изготовление протезов. Социальный эффект проявляется в том что продукт который может быть разработан будет более доступен. Производить протезирование и изготовление индивидуальных протезов станет возможным в одной клинике.

Для итоговой оценки результатов проекта в зависимости от поставленных целей в качестве критерия эффективности принимается один из видов эффекта, а остальные используются в качестве дополнительных характеристик. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ.

Магистерская диссертация посвящена разработке и исследованию полимерных композиционных материалов на основе СВМПЭ для 3Д печати пористых изделий. Конкурентами являются Max bionic и Intalent Pro, они размечены в оценочной карте как к1 и к2 соответственно. Индексы ф - обозначают проект данной разработки, к1 и к2- конкурентов. Сравнение было с этими двумя компаниями.

В данной работе анализ конкуретных технических решений показан в карте оценки на таблице 4.2.

Таблица 4.2- Оценочная карта

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|---|--------------|----------------|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | | Б _ф | Б _{к1} | Б _к 2 | К _{ф2} | К _{к1} | К _{к2} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| 1.Повышение производительности труда пользователя | 0, 02 | 4 | 3 | 3 | 0,08 | 0,1 | 0,06 |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0, 25 | 5 | 3 | 4 | 1,25 | 0,75 | 1 |
| 3.Помехоустойчивость | 0, 01 | 5 | 5 | 5 | 0,03 | 0,05 | 0,05 |
| 4.Энергоэкономичность | 0, 06 | 4 | 3 | 2 | 0,24 | 0,12 | 0,12 |
| 5.Надежность | 0, 1 | 4 | 5 | 4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| 6.Уровень шума | 0, 01 | 4 | 3 | 5 | 0,04 | 0,03 | 0,05 |
| 7.Безопасность | 0, 01 | 5 | 4 | 5 | 0,05 | 0,04 | 0,05 |
| 8.Потребность в ресурсах памяти | 0, 04 | 3 | 4 | 4 | 0,08 | 0,16 | 0,16 |
| 9.Функциональная мощность | 0, 01 | 4 | 3 | 3 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| 10.Простота в эксплуатации | 0, 02 | 2 | 5 | 4 | 0,04 | 0,1 | 0,08 |
| 11.Качество интеллектуального интерфейса | 0, 1 | 4 | 3 | 5 | 0,4 | 0,3 | 0,5 |
| 12.Возможность подключения в сеть ЭВМ | 0, 02 | 5 | 4 | 5 | 0,1 | 0,08 | 0,1 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| 1. Конкурентоспособность | 0,02 | 4 | 4 | 4 | 0,06 | 0,08 | 0,1 |

| | | | | | | | |
|--------------------------------------|------|---|---|---|------|------|------|
| 1. Уровень проникновения на рынок | 0,03 | 3 | 5 | 5 | 0,09 | 0,15 | 0,15 |
| 2. Цена | 0,2 | 5 | 4 | 4 | 0,12 | 0,16 | 0,16 |
| 3. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,01 | 3 | 5 | 4 | 0,03 | 0,05 | 0,04 |
| 5. Послепродажное обслуживание | 0,01 | 4 | 4 | 3 | 0,8 | 0,8 | 0,6 |
| 6. Финансирование научной разработки | 0,05 | 4 | 1 | 3 | 0,2 | 0,15 | 0,15 |
| Итого | 1 | | | | 4,14 | 3,65 | 3,8 |

По сравнению с конкурентами, которые используют данную традиционные методы производства и металлические сплавы, данная технология разработки имплантов будет использовать композитные материалы которые будут печататься. Печатаемая деталь не требуют обработки после изготовления, в отличие от горячего прессования и формования которые используют конкуренты. А импланты изготовленные композитами на основе металла и полимеров будут покрывать недостатки друг друга. Предлагаемая в данной работе технология сравнительно молода по сравнению с традиционными. Но несмотря на преимущества, она не полностью вытеснит традиционные методы производства, но определенную часть их доли рынка займет.

4.1.3 FAST - анализ

1.FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые

возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта. Главным объектом исследования являлся полимерный композит. Полимерный композитный материал будет использован для 3Д печати готового протеза, импланта.

2. Для проведения анализа на таблице 4.4. приведена классификация главной, основной и вспомогательных функций, выполняемых объектом исследования.

Таблица 4.3 - Классификация функций выполняемых объектом исследования

| Наименование детали | Количество пропорций | Выполняемая функция | Ранг функции | | |
|-------------------------|----------------------|--|--------------|----------|-----------------|
| | | | Главная | Основная | Вспомогательная |
| Композит(UH MPE+PP+PVA) | — | Применяется как материал для изготовления протезов | X | | |
| UH MPE | 70% | Матрица композита обеспечивает основную характеристики материала | | X | |
| PP | 15-20% | Вспомогательная полимер обеспечивает текучесть матрицы материала | | | X |
| PVA | 10-15% | Вспомогательная полимер обеспечивает пористость изделия | | | X |

3. Для определения значимости функций был использован метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А и Глуценко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости

каждой функции. На первом этапе метода расстановки приоритетов построена матрица смежности функций, она выполнена в виде таблицы 4.4.

Таблица 4.4 - Матрица смежности

| | Функция 1 | Функция 2 | Функция 3 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Функция 1 | = | > | > |
| Функция 2 | < | = | > |
| Функция 3 | < | < | = |

Примечание: «<» –менее значимая; «=» –одинаковые функции по значимости; «>» –более значимая.

На втором этапе матрица смежности преобразована в матрицу количественных отношений на таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Матрица количественных отношений

| | Функция 1 | Функция 2 | Функция 3 | Итого |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Функция 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 4 |
| Функция 2 | 0,5 | 1 | 1,5 | 3 |
| Функция 3 | 0,5 | 0,5 | 1 | 2 |
| | | | | $\Sigma=9$ |

Примечание: 0,5 при «<»; 1,5 при«>»; 1 при «=».

На третьем этапе произведено определение значимости функций путем деления бала на сумму баллов. Для функции 1 значимость равна $4/9=0,44$; для функции 2 $3/9=0,33$; для функции 3 $2/9=0,22$. Сумма коэффициентов равна 1

4. На данной стадии производится анализ стоимости функций. Уровень затрат на выполнение каждой функции с применением нормативного метода, расчет приведен на таблицу 4.6. В норме расхода материала указан расход материала в период исследовательских работ. Так же заработная плата указана на период исследования.

Таблица 4.6 - Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

| Наименование детали (узла, процесса) | Пропорции | Выполняемая функция | Норма расхода, кг | Трудоемкость детали, нормо-ч | Стоимость материала, | Заработная плата, руб | Себестоимость, руб. |
|--------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| Композит | — | Применяется для изготовления протезов | — | — | — | — | — |
| UHMPЕ | 70% | обеспечивает основную характеристику | 0,3 | 1,85 | 2500 | 126 | 876 |
| PP | 15-20% | обеспечивает текучесть матрицы | 0,4 | 3,5 | 150 | 27 | 155 |
| PVA | 10-15% | обеспечивает пористость | 0,5 | 3,5 | 80 | 27 | 135 |

Итоговая сумма расхода равна $\Sigma=1166$ руб. Для функции 1 значимость равна $876/1166=0,75$; для функции 2 $155/1166=0,13$; для функции 3 $135/1166=0,11$.

5. На данной стадии был построена функционально-стоимостная диаграмма объекта и ее анализ. Информация об объекте исследования собранная в рамках предыдущих стадий обобщена в функционально-стоимостную диаграмму на рисунке 4.1.

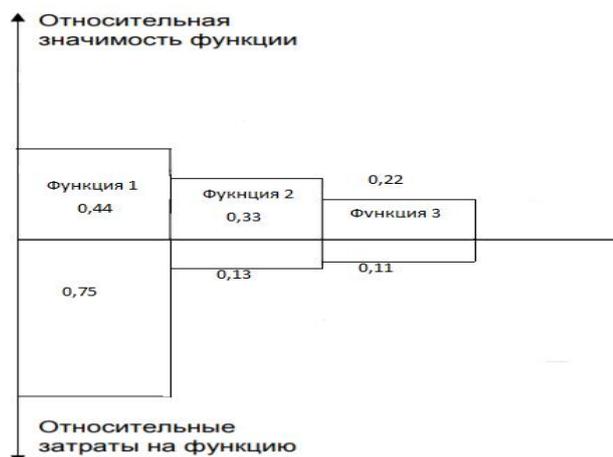


Рисунок 4.1- Диаграмма функционально-совместимая диаграмма

По приведенной выше ФСД можно заметить согласованность всех трех функций.

6. Оптимизация функций выполняемых объектом. Экономия по технологии изготовления предложенной в данной работе:

- 1) предлагается сравнительно новая технология по сравнению с традиционными методами – 3D-печать;
- 2) технические параметры оптимизируются за счет создаваемого полимерного материала;
- 3) в данной технологии отсутствует необходимость обработки изделия после изготовления;
- 4) живляемость биопротезов будет проходить быстрее за счет пористости материала;
- 5) расходы на электроэнергию и сроки изготовления сократятся, так как технология будет возможна в каждой медицинской клинике.

4.1.4 Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для

систематического определения причин проблемы и последующего графического представления. Диаграмма указана на рисунке 4.2. Проблемной областью анализа является шероховатость поверхности полученной детали методом 3Д печати. техническая. К факторам, влияющим на объект анализа, можно отнести:

- персонал;
- оборудование;
- технологию проведения работ.



Рисунок 4.2 - Диаграмма Исикава.

4.1.5 SWOT - анализ

Значимой инструментом маркетингового исследования является SWOT-анализ – это акроним слов Strengths (силы), Weaknesses (слабости), Opportunities (благоприятные возможности) и Threats (угрозы). Внутренняя обстановка отражается в основном в S и W, а внешняя – в O и T. SWOT-анализ является одним из этапов разработки маркетинговой стратегии. Методология SWOT-анализа предполагает, во-первых, выявление внутренних сильных и

слабых сторон, а также внешних возможностей и угроз, и, во-вторых, установление связей между ними .

В процессе анализа необходимо определить: конкурентные активы, использование преимуществ (сильных сторон) для освоения рыночных возможностей (S-O). В данном случае предлагаемый проект характеризуется такими важными конкурентными преимуществами как простота и экологическая безопасность.

Конкурентные пассивы. Преодоление недостатков (слабых сторон) для нивелирования угроз (W-T). Одними из самых значимых недостатков проекта являются отсутствие в составе проектной команды маркетологов и экономистов и, как следствие, отсутствие стратегии развития.

Узкие места. Преодоление недостатков (слабых сторон) для освоения возможностей (W-O). Наиболее важным для текущего проекта является преодоление недостатков, связанных с отсутствием в команде экономистов и маркетологов.

Безопасность и защита. Использование преимуществ (сильных сторон) для нивелирования угроз (S-T). Используя такие преимущества, как большой опыт работы высококвалифицированной команды проекта, сплоченный коллектив, возможно добиться успешного выполнения опытно-конструкторских работ и создание автоматизированной установки, а также обратить на себя внимание со стороны компаний-покупателей и государства.

Из полученных стратегических альтернатив необходимо выбрать те, которые будут обладать наибольшей силой, весом.

Приоритеты угроз. Сопоставление угроз с преимуществами и рыночными возможностями. Некоторые из приведенных в таблице угроз являются вполне реальными и серьезными.

Таким образом, в ходе SWOT-анализа удалось выявить наиболее важные проблемы, которые необходимо разрешить в процессе выполнения проекта: за

счет создания автоматизированной технологической установки и привлечение в команду высококвалифицированных экономистов и маркетологов.

Таблица 4.7 - SWOT - анализ

| | | |
|--|---|---|
| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Низкая стоимость оборудования С2. Заявленная экономичность и энергоэффективность метода. С3. По сравнению с другими технологиями стоимость производства низкая. С4. Простота использования</p> | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Частичный сбой программного обеспечения Сл2. Процесс печати занимает очень много времени Сл3. Относительная потеря прочности изделия по сравнению с прессованием</p> |
| <p>Возможности: В1. Использование инновационной метода для производства В2. Применение данной технологии позволит производству к снижению затрат. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> | | |
| <p>Угрозы: У1. Отсутствие материала на внутреннем рынке У2. Дефицит материалов, на внутреннем рынке</p> | | |

Второй этап состоит в выявлении сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта. Благодаря чему выявляется степень необходимости стратегических изменений. Для этого построена интерактивная матрица объекта на таблице 4.8.

Таблица 4.8 – интерактивная матрица проекта

| | | C1 | C2 | C3 | C4 |
|---------------------|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта | B1 | + | - | + | + |
| | B2 | - | + | - | - |
| | B3 | + | 0 | + | + |

Анализ выполнен в форме по сильно коррелирующим сильным сторонам и возможностям: В1С1С3С4 и В3С1С3С4.

Ниже на таблице 4.9 представлена итоговая матрица

| | Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Низкая стоимость оборудования С2. Заявленная экономичность и энергоэффективность метода. С3. По сравнению с другими технологиями стоимость производства низкая. С4. Простота использования | Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Частичный сбой программного обеспечения Сл2. Процесс печати занимает очень много времени Сл3. Относительная потеря прочности изделия по сравнению с прессованием |
|---|--|---|
| Возможности: В1. Использование инновационной метода для производства В2. Применение данной технологии позволит производству к снижению затрат. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок. | В1С1С3С4 В3С1С3С4 | В3Сл3 |
| Угрозы: У1. Отсутствие материала на внутреннем рынке У2. Дефицит материалов, на внутреннем рынке | У1С2 | У2Сл1Сл2 |

По анализу можно увидеть что у проекта много возможностей которые коррелируют с сильными сторонами.

4.1.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла проект не находилась работа полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации. Для этого была заполнена специальная форма с показателями степени готовности.

Таблица 4.10 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

| № | Наименование | Степень проработанности научного проекта | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|----|---|--|---|
| 1 | Определен имеющийся научно-технический задел | 5 | 4 |
| 2 | Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела | 5 | 4 |
| 3 | Определены отрасли и технологии для предложения на рынке | 4 | 3 |
| 4 | Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок | 4 | 2 |
| 5 | Определены авторы и осуществлена охрана их прав | 2 | 4 |
| 6 | Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности | 4 | 3 |
| 7 | Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта | 2 | 2 |
| 8 | Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки | 2 | 2 |
| 9 | Определены пути продвижения разработки на рынок | 2 | 4 |
| 10 | Разработана стратегия реализации разработки | 4 | 3 |
| 11 | Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок | 2 | 4 |
| 12 | Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | 5 | 4 |
| 13 | Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки | 3 | 4 |
| 14 | Имеется команда для коммерциализации научной разработки | 2 | 2 |

| | | | |
|--|---------------------|----|----|
| | ИТОГО БАЛЛОВ | 46 | 47 |
|--|---------------------|----|----|

По сумме баллов Степень проработанности научного проекта и уровень имеющихся знаний у разработчика находятся от 59 до 45 показывает что перспективность коммерциализации находится выше среднего.

4.1.7 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Выбран метод коммерциализации *инжиниринг*, это вид коммерческих операций предполагающий предоставление услуг на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком.

4.2 Инициация проекта

4.2.1 Цели и результат проекта

В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижений целей.

Информация по заинтересованным сторонам проекта предоставлены в таблицу 4.11

Таблица 4.11 - заинтересованные стороны проекта

| | |
|--|---|
| Заинтересованные стороны проекта | Ожидания заинтересованных сторон |
| Компании предоставляющие услуги медицинским клиникам | Полимерное пористое изделие применимое для протезирования |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Исследователи в области полимеров | Научно обоснованный метод создания полимерного композита |
|-----------------------------------|--|

В таблице 4.12 указана информация о иерархии целей проекта и критериях достижения цели.

Таблица 4.12 - цели и результаты проекта

| | |
|--------------------------------------|---|
| Цели проекта: | Цель проекта является создание полимерного композита на основе СВМПЭ для получения пористого изделия |
| Ожидаемые результаты: | Ожидаемый результат проекта композитный материал полученный аддитивными технологиями |
| Критерии приемки результата проекта: | критерием приемки является соответствие характеристик материала с характеристиками костных тканей человеческого организма |
| Требования к результату проекта: | Результат проекта должен содержать метод получения композитного материала. |
| | Пористость должна совпадать с костными тканями |
| | Прочность деталей напечатанных на полученном материале должны соответствовать |

4.2.2 Организационная структура проекта

Состав проектной группы представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.13 – Рабочая группа проекта

| ФИО, основное место работы, должность | Роль в проекте | Функции |
|---|---|---|
| Ляпков А.А НИ ТПУ, | Руководитель проекта (Научный руководитель) | Предоставление заданий; консультации; обсуждение результатов, диссертации |
| Толеш Н.Т НИ ТПУ, магистрант группы 4БМ83 | Исполнитель по проекту (Магистрант) | Разработка и исследование материалов, проведение испытаний, написание диссертации |

4.2.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта - это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 4.14 -ограничения проекта

| Фактор | Ограничения/ допущения |
|-------------------------------|--|
| 3.1 Бюджет проекта | В рамках данного проекта ограничений по бюджету нет |
| 3.1.1 Источник финансирования | Источником финансирования является НИ ТПУ так как по бюджету не было ограничений то источник финансирования не был ограничен |

| | |
|--|--|
| 3.2.1 Дата утверждения плана управления проектом | По срокам и в проекте были небольшие ограничения |
| 3.2.2 Дата завершения проекта | По дате завершения так же были ограничения |
| 3.3. Прочие ограничения и допущения | Ограничения по использованию некоторого оборудование было, по использованию двухшнекового экструдера и 3Д принтера |

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Для реализации проекта необходимо реализовать спектр задач, связанных с научными, техническими и экономическими проблемами. Основные решаемые в данном проекте задачи указаны в рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 - Иерархическая структура работ по проекту

4.3.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела определены и занесены ключевые события проекта эта информация сведена в таблицу 4.15.

Таблица 4.15 - Контрольные события проекта

| № | Контрольное событие | Дата | Результат |
|---|---|----------|---------------------|
| 1 | Постановка целей и задач, получение исходных данных | 25.12.19 | — |
| 2 | Составление и утверждение ТЗ | 11.01.20 | Приказ |
| 3 | Подбор и изучение материалов по тематике | 15.01.20 | — |
| 4 | Разработка календарного плана | 17.01.20 | Календарный план |
| 5 | Выбор структурной схемы устройства | 31.03.20 | — |
| 6 | Изготовление образцов | 25.04.20 | Фотография образцов |
| 7 | Анализ результатов исследования | 15.05.20 | Анализ образцов |
| 8 | Оформление графического материала | 25.05.20 | Презентация |
| 9 | Подведение итогов | 1.06.20 | Диссертация |

4.3.3 План проекта

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График строится в виде таблицы (таблица 4.16) с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 4.16 - диаграмма Ганта

| Код работ | Вид работ | Исполнители | К кал. дн, | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------------------|--------------|------------|------------------------------------|-------|------|------|------|-----|---|---|---|---|--|--|--|--|--|---|---|
| | | | | Дек. | Янв.. | Фев. | Мар. | Апр. | Май | | | | | | | | | | | |
| 1 | Составление технического задания | Руководитель | 4 | █ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Изучение литературы | Дипломник | 44 | | █ | █ | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Анализ порошка | Дипломник | 10 | | | █ | █ | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Моделирование детали в SolidWorks | Дипломник | 23 | | | | █ | █ | | | | | | | | | | | | |
| 5 | ТАГ анализ | Дипломник | 21 | | | | | | █ | █ | | | | | | | | | | |
| 6 | Техническая настройка 3d-печати | Дипломник | 14 | | | | | | | | █ | █ | █ | | | | | | | |
| 7 | Проведение серии экспериментов | Дипломник | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | █ | █ |



-Руководитель,



- Дипломник

4.3.3 Бюджет научного исследования

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ тож применяется вероятностный метод – метод двух оценок t_{\min} и t_{\max} .

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} \quad (4.1)$$

где t_{\min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

t_{\max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Пример расчета для подведения итогов:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 11}{5} = 10.4$$

Для выполнения перечисленных в таблице 2 работ требуются специалисты:

- 1 Научный руководитель;
- 2 Техник.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{К_{ВН}} \cdot К_{Д} \quad (4.2)$$

где тож – трудоемкость работы, чел/дн.;

КВН – коэффициент выполнения работ (КВН = 1);

КД – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ (КД = 1,2).

$$T_{PD} = \frac{10.4}{1} \cdot 1.2 = 12.48$$

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{KD} = T_{PD} \cdot T_K \quad (4.3)$$

где ТРД – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

ТКД – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

ТК – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ВД}} \quad (4.4)$$

где ТКАЛ – календарные дни (ТКАЛ = 365);

ТВД – выходные дни (ТВД = 52);

ТПД – праздничные дни (ТПД = 12).

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 12} = 1,212$$

В таблице 4.4 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

В примере расчета в итоге получаем:

$$T_{KD} = 12.48 \cdot 1.212 = 15.2$$

Таблица 4.17 – Трудозатраты на выполнение проекта

| Этап | Исполнители | Продолжительность работ, дни | | | Длительность работ, чел/дн. | | | |
|--|-------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|-------|----------|--------|
| | | | | | $T_{РД}$ | | $T_{КД}$ | |
| | | t_{min} | t_{max} | $t_{ожд}$ | НР | Т | НР | Т |
| Постановка задачи | НР | 4 | 6 | 4,8 | 5,76 | – | 6,98 | – |
| Разработка и утверждение технического задания (ТЗ) | НР | 6 | 7 | 6,4 | 7,68 | – | 9,30 | – |
| Подбор и изучение материалов по тематике | НР, Т | 14 | 17 | 15,2 | 5,472 | 18,24 | 6,63 | 22,1 |
| Разработка календарного плана | НР, Т | 6 | 6 | 6 | 7,2 | 0,72 | 8,73 | 0,87 |
| Обсуждение литературы | НР, Т | 7 | 10 | 8,2 | 2,95 | 9,84 | 3,57 | 11,92 |
| Выбор структурной схемы устройства | НР, Т | 11 | 18 | 13,8 | 16,56 | 4,97 | 20,07 | 6,02 |
| Изготовление образцов | НР, Т | 15 | 22 | 17,8 | 21,36 | 6,4 | 25,9 | 7,76 |
| Анализ результатов исследования | НР, Т | 12 | 16 | 13,6 | 16,32 | 4,9 | 19,55 | 5,93 |
| Оформление расчетно-пояснительной записки | НР, Т | 10 | 14 | 11,6 | 1,39 | 13,92 | 1,67 | 16,87 |
| Оформление графического материала | Т | 10 | 11 | 10,4 | - | 12,48 | - | 15 |
| Подведение итогов | НР, Т | 10 | 11 | 10,4 | 8,736 | 12,48 | 10,59 | 15,2 |
| Итого: | – | – | – | 118,2 | 93,43 | 83,95 | 113,26 | 101,75 |

Расчет нарастания технической готовности работ

Величина нарастания технической готовности работы показывает, на сколько процентов выполнена работа на каждом этапе. Данная величина вычисляется по формуле:

$$H_i = \frac{t_{Hi}}{t_0} \cdot 100 \% \quad (4.5)$$

где t_{Hi} – нарастающая трудоемкость с момента начала работы i -го этапа;

t_0 – общая трудоемкость.

Пример вычисления величины нарастания для постановки задачи

$$H_i = \frac{3.3}{118.2} \cdot 100\% = 2.8\%$$

Таблица 4.18 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

| Этап | $H_i, \%$ | $U_i, \%$ |
|--|-----------|-----------|
| Постановка задачи | 2,8 | 2,8 |
| Разработка и утверждение технического задания (ТЗ) | 7,3 | 4,46 |
| Подбор и изучение материалов по тематике | 20,69 | 13,39 |
| Разработка календарного плана | 25,56 | 4,87 |
| Обсуждение литературы | 31,84 | 6,29 |
| Выбор структурной схемы устройства | 43,81 | 11,9 |

| | | |
|---|-------|-----------|
| | | 7 |
| Изготовление образцов | 61,05 | 4 17,2 |
| Анализ результатов исследования | 73,63 | 8 12,5 |
| Оформление расчетно-пояснительной записки | 83,37 | 9,74 |
| Оформление графического материала | 91,28 | 7,91 |
| Подведение итогов | 100 | 6 11,1 |

Общая трудоемкость вычисляется по формуле:

$$H_i = \frac{t_{Hi}}{t_0} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

где $t_{OЖi}$ – ожидаемая продолжительность i -го этапа.

Удельный вес каждого этапа U_i определяется по формуле:

$$H_i = \frac{3.3}{118.2} \cdot 100\% = 2.8\%$$

Пример вычисления величины нарастания для постановки задачи

$$U_i = \frac{17.24}{100} \cdot 100\% = 17.24\%$$

Остальные результаты вычислений H_i и U_i отражены в таблице 4.5.

Бюджет научного проекта

При планировании бюджета научного проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих

содержание данной разработки [125]. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

1 Материалы и покупные изделия;

2 Основная заработная плата;

Единый социальный налог

Расходы на электроэнергию;

Накладные расходы.

Расчет материальных затрат

Таблица 4.19 – Расходные материалы

| Наименование материала | Цена за кг, руб. | Количество, кг | Сумма руб. |
|------------------------|------------------|----------------|------------|
| Поливиниловый спирт | 80 | 4 | 320 |
| СВМПЭ | 2500 | 7 | 17500 |
| Полипропилен | 150 | 4 | 600 |
| Всего | | | 18420 |

Расходы на материалы составили $C_{\text{мат}} = 18420$ руб.

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Расчет стоимости материальных затрат произведен в таблице 4.19.

Расчет основной заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя, инженера и техника, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе

трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Данные для расчета:

Оклад у научного руководителя – 30 000 руб., оклад у техника 3700р;

Плановый фонд рабочего времени за месяц – 176 часов (22 дня);

Тарифная ставка;

Дополнительная заработная плата;

Районный коэффициент – 30%.

Часовая тарифная ставка ($C_ч$) определяется:

$$C_ч = \frac{\text{Оклад}}{\Phi_{РВ}} \quad (4.8)$$

где $\Phi_{РВ}$ – плановый фонд рабочего времени за месяц у программиста, из расчета 22 рабочих дня по 8 часов.

Определяем заработную плату для техника:

$$C_ч = \frac{3700}{176} = 21р/час$$

Основная заработная плата техника за месяц составит:

$$ЗП_{осн} = C_ч \cdot T_{ОЖ} \quad (4.9)$$

$$ЗП_{осн} = 21 \cdot (22 \cdot 8) = 34 \cdot 176 = 3696 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата:

$$ЗП_{доп} = \frac{ЗП_{осн} \cdot 15}{100} \quad (4.10)$$

$$ЗП_{доп} = \frac{3696 \cdot 15}{100} = 554,4 \text{ руб.}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$ЗП_{общ} = ЗП_{осн} + ЗП_{доп} \quad (4.11)$$

$$ЗП_{общ} = 3696 + 554,4 = 4250,4 \text{ руб.}$$

Общая сумма заработной платы с учетом районного коэффициента в месяц:

$$ЗП_{общ} = ЗП_{общ} \cdot 1,3 \quad (4.12)$$

$$ЗП_{общ} = 4250,4 \cdot 1,3 = 5525,52 \text{ руб.}$$

Теперь рассчитаем заработную плату научного руководителя:

Часовая тарифная ставка (Сч):

$$C_{ч} = \frac{30000}{176} = 170,4 \text{ руб / час}$$

где Фрв – плановый фонд рабочего времени за месяц у руководителя, из расчета 22 рабочих дня по 8 часов.

Основная заработная плата за проект у руководителя составит:

$$ЗП_{осн} = 170,4 \cdot (10 \cdot 8) = 13632 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата:

$$ЗП_{доп} = \frac{13632 \cdot 15}{100} = 2044,8 \text{ руб.}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$ЗП_{общ} = 13632 + 2044,8 = 15676,8 \text{ руб.}$$

Общая сумма заработной платы с учетом районного коэффициента:

$$ЗП_{\text{общ}} = 15676,8 \cdot 1,3 = 20379,84 \text{ руб.}$$

Тогда, общая сумма затрат на заработную плату составит:

$$ЗП_{\text{общ}} = 20379,84 + 5525,35 = 25905,35 \text{ руб.}$$

Таблица 4.21 – Затраты на основную заработную плату

| Исполнитель | Оклад (руб.) | Часовая тарифная ставка (руб./час.) | Основная заработная плата (руб.) | Дополнительная заработная плата (руб.) | Заработная плата с учетом районного коэффициента и надбавки (руб.) |
|----------------|-----------------|--|---|--|---|
| 1.Руководитель | 30000 | 170,4 | 13632 | 2044,8 | 20379,84 |
| 2. Техник | 3700 | 21 | 3696 | 554,4 | 5525,35 |
| 3. Итого | - | - | - | - | 25905,19 |

Расчет отчислений от заработной платы

Затраты по этой статье составляют отчисления по единому социальному налогу (ЕСН).

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{соц}} = K_{\text{соц}} \cdot C_{\text{осн}} \quad (4.13)$$

где КСОЦ – коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы. Данный коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

Отчисления в пенсионный фонд;

Социальное страхование;

Медицинское страхование.

Итак, отчисления из заработной платы составили:

$$C_{\text{соц}} = 0,3 \cdot 25905,19 = 7771,55 \text{ руб.}$$

Расчет накладных расходов

В статью включены затраты, связанные с обслуживанием и организацией производства. Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования и затраты на электроэнергию, потраченную на освещение.

Таблица 4.22 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

| Наименование оборудования | Время работы оборудования $t_{\text{об}}$, час | Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$, кВт | Затраты $\text{Э}_{\text{об}}$, руб. |
|---|---|---|---------------------------------------|
| Смеситель Brabender | 200 | 6,5 | 3900 |
| Пластометра CEAST Instron MF20 | 200 | 0,7 | 420 |
| Гранулятора Brabender | 20 | 3,0 | 180 |
| Вакуумный сушильный шкаф №3 ВШ 0035М | 300 | 2 | 1800 |
| Гидравлический пресс П-50 | 100 | 1,1 | 330 |
| Анализатор теплопроводности ТНВ- 100 | 100 | 2 | 600 |
| Измерительный комплекс Solartron | 20 | 0,3 | 18 |
| Компрессор F1-241/24 | 20 | 1,1 | 66 |
| Вакуумный насос | 50 | 2,2 | 330 |

| | | | |
|---------------|--|--|----------|
| АВЗ-20Д | | | |
| Итого: | | | 7644 руб |

В таблице 4.22 выполнены расчеты по затрате ресурсов на электроэнергию по формуле:

$$\text{Сумма} = (M \cdot C) \cdot T \quad (4.14)$$

где М – Мощность, кВт;

С – Стоимость, 1 кВт/час 3 рубль;

Т – Время работы оборудования, Тож час.

Прочие накладные расходы (ПНР) – 15% от основной заработной платы:

$$\text{ПНР} = \frac{17328 \cdot 15}{100} = 2599,2 \text{ руб}$$

Сумма накладных расходов (СНР) = затраты на электроэнергию + прочие накладные расходы:

$$\text{СНР} = 7644 + 2599,2 = 10243,2 \text{ руб}$$

Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта.

Таблица 4.23 – Смета затрат на разработку проекта

| Статья затрат | Условное обозначение | Сумма, руб. |
|------------------------------|----------------------|-------------|
| Материалы и покупные изделия | С _{МАТ} | 18420 |
| Заработная плата | С _{ОСН} | 310862,28 |

| | | |
|--|------------------|-----------|
| Отчисления в социальные фонды | $C_{\text{соц}}$ | 93258,684 |
| Прочие накладные расходы, в т.ч. на электроэнергию | $C_{\text{н}}$ | 10243,2 |
| Итого: | | 432783,4 |

Таким образом, расходы на разработку составили $C = 432783,8$ руб.

Цена проекта с НДС:

$$НДС = \frac{C \cdot 18}{100} \quad (4.15)$$

$$НДС = \frac{(432783,2 \cdot 18)}{100} = 77900,9 \text{ руб.}$$

$$Цена = 432783,8 + 77900,9 = 510684,7 \text{ руб.}$$

Полная смета затрат приведена в таблице 4.24.

Таблица 4.24 – Полная смета затрат

| Наименование статьи | Затраты, руб. |
|---|---------------|
| 1 Материалы и покупные изделия | 18420 |
| 2 Основная заработная плата | 310862,28 |
| 3 Отчисления в социальные фонды | 93258,68 |
| 4 Накладные расходы, в т.ч. на электроэнергию | 10243,2 |
| 5 НДС | 94745,55 |
| 6 Цена разработки | 510684,7 |

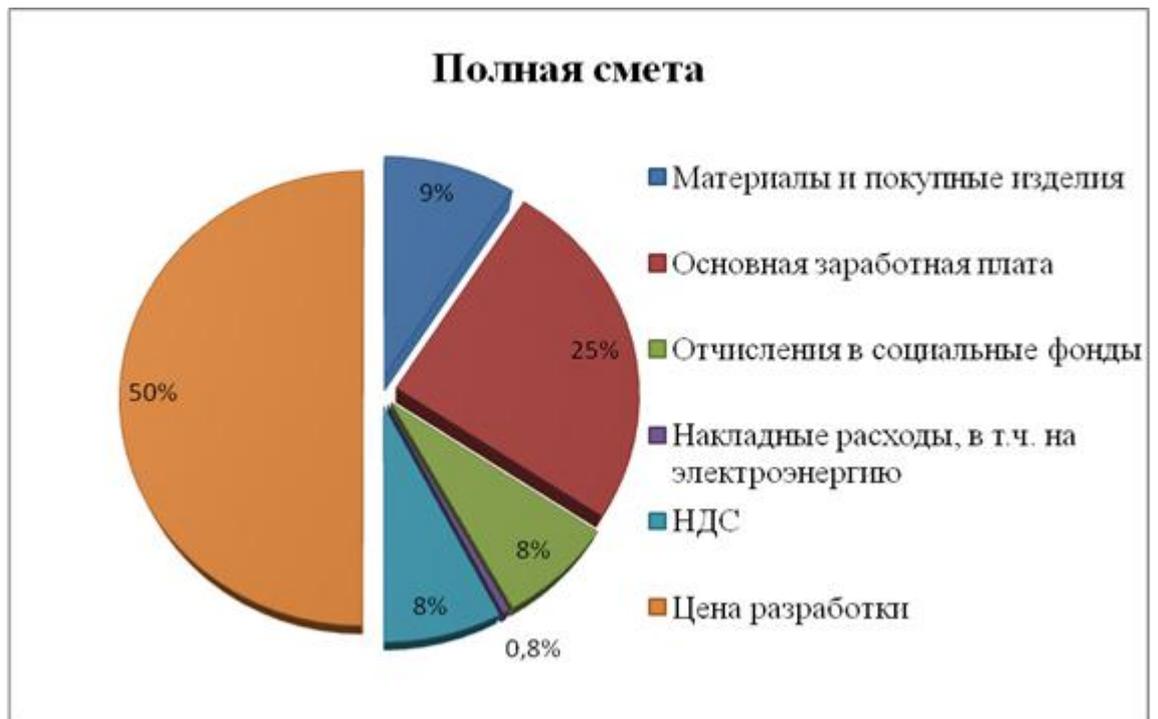


Рисунок 4.1 – Полная смета затрат проекта

4.4 Определение ресурсной(ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Ресурсоэффективность технического проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для определения ресурсоэффективности проекта создания полимерных композитов на основе СВМПЭ для 3Д печати пористых изделий необходимо рассмотреть следующие критерии:

Надежность – работы оборудования.

Скорость – скорость печати является один из важных критериев, не смотря на то что изготовление деталей не планируется выполнять в больших масштабах.

Энергосбережение – достигается за счет небольшой производительности оборудования;

Удобство в эксплуатации – для освоения 3Д принтера не уйдет большое количество времени по сравнению с другими технологиями;

Расходы – затраты на покупку оборудования для печати не являются дорогой технологией, но для изготовления протезов принтеры будут стоить дороже обычных принтеров.

Критерии ресурсоэффективности технического проекта и их количественные характеристики приведены в таблице 4.25.

Таблица 4.25– Критерии и количественные характеристики ресурсоэффективности

| Критерии | Весовой коэффициент | Балловая оценка разработки |
|----------------------------|---------------------|----------------------------|
| 1. Надежность | 0,25 | 5 |
| 2. Скорость | 0,25 | 5 |
| 3. Энергосбережение | 0,16 | 4 |
| 4. Расходы | 0,20 | 4 |
| 5. Удобство в эксплуатации | 0,14 | 5 |
| Итого: | 1,00 | |

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0.25 \cdot 5 + 0.25 \cdot 5 + 0.16 \cdot 4 + 0.20 \cdot 4 + 0.14 \cdot 5 = 4.64$$

Показатель ресурсоэффективности имеет высокое значение (по 5- балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта.

4.4.1 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень характеризует: в какой мере выполнены работы и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i$$

где $K_{НТУ}$ – коэффициент научно-технического уровня;

R_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах;

n_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта.

Весовые коэффициенты признаков научно-технического эффекта приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.26 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

| Признак НТУ | Примерное значение весового коэффициента n_i |
|------------------------|--|
| Уровень новизны | 0,4 |
| Теоретический уровень | 0,1 |
| Возможность реализации | 0,5 |

Результаты оценок признаков научно-технического уровня приведены в таблице 4.27.

Таблица 4.27– Количественная оценка признаков НИОКР

| Признак научно-технического эффекта НИР | Характеристика признака НИОКР | R_i |
|---|--|-------|
| Уровень новизны | Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований | 4 |
| Теоретический уровень | Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.) | 6 |
| Возможность реализации | Время реализации в течение первых лет | 10 |

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{HTU} = 0,4 \cdot 4 + 0,1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 10 = 7,2$$

Таким образом, исходя из данных в таблице 4.12, «Разработка и исследование полимерных композиционных материалов» имеет средний уровень научно-технического эффекта.

Таблица 4.28 – Оценка уровня научно-технического эффекта

| Уровень НТЭ | Показатель НТЭ |
|-------------|----------------|
| Низкий | 1–4 |
| Средний | 4–7 |
| Высокий | 8–10 |

Обоснование оценки признаков НИОКР приводится в таблице 4.29.

Таблица 4.29 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

| Фактор НТУ | Значимость | Уровень фактора | Выбранный балл | Обоснование выбранного балла |
|------------------------|------------|----------------------|----------------|--|
| Уровень новизны | 0,4 | Относительно новая | 4 | Разработанные материалы могут быть рекомендованы для изготовления имплантов костных тканей |
| Теоретический уровень | 0,1 | Разработка способа | 6 | Разработка основана на эффекте перколяции. |
| Возможность реализации | 0,5 | В течение первых лет | 10 | Результаты могут быть получены в короткие сроки. |

Заключение раздела

В ходе выполнения настоящей главы были решены следующие задачи: определена концепция проекта, проведена экспертная оценка эффективности, SWOT-анализ, FAST анализ, разработан календарный, производственный и финансовый план, рассчитан бюджет проекта, разработан инвестиционный план и проведена оценка рисков, оценка коммерциализации проекта и т.д.

Следует отметить важность для проекта в целом проведенных в данной главе исследований, которые позволили объективно оценить эффективность проводимых научно-технических исследований. Благодаря полученным материалам, имеется рентабельная экономическая основа для взаимодействия с потенциальными заказчиками.