

Министерство образования и науки Республики Казахстан

НАО Медицинский университет Караганды

«Допущен (а) к защите»
Деканом школы фармация
И. В. Лосевой

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

**На тему: «Использование аддитивных технологий для изготовления
многоцветной фильтрующей маски с целью профилактики COVID-19»**

по специальности 6B07201 – «Технология фармацевтического производства»

Выполнил:

К. С. Кенжебеков

Научный руководитель
д.х.н., доцент

Д. П. Хрусталева

Караганда 2021

Оглавление

Обозначение и сокращения.....	4
Введение.....	5
1. Литературный обзор.....	7
1.1. Аддитивная технология.....	7
1.1.1. Понятие об аддитивной технологии. Сравнение с традиционной технологией производства.....	7
1.2. Применение аддитивной технологии.....	8
1.2.1. 3D-печать в строительстве и декоративном дизайне.....	8
1.2.2. Трехмерная печать в авиа- и автомобилестроении.....	10
1.2.3. Распространение 3D-печати в пищевой промышленности и медицине.....	11
1.3. Организация трехмерной печати.....	13
1.4. Методы и технологии аддитивного производства.....	15
1.4.1. Стереолитография и цифровая обработка света.....	15
1.4.2. Лазерное спекание или плавка.....	16
1.4.3. Струйная технология печати.....	16
1.4.4. Ламинирование методом селективного осаждения.....	17
1.4.5. Электронно-лучевая плавка.....	18
1.4.6. Моделирование методом послойного наплавления.....	18
1.5. Анализ технологий и материалов трехмерной печати.....	20
1.6. Полимолочная кислота.....	21
1.6.1. Полимолочная кислота, способы ее получения и характеристика.....	21
1.6.2. Время разложения PLA и нанокompозиты на ее основе.....	23
1.7. Программное обеспечение для 3D моделирования.....	25
1.8. Средства индивидуальной защиты и медицинские маски.....	28
1.8.1. Исследования эффективности масок в зависимости от материала и времени ношения.....	28
1.8.2. Хирургические маски, их эффективность и материал изготовления.....	30
1.8.3. Классификация масок-респираторов и особенности фильтрации.....	31
1.8.4. Самодельные маски и их эффективность.....	32
1.9. Вывод по литературному обзору.....	32
2. Практическая часть.....	34
2.1. Типовая модель реализации трехмерной печати.....	34
2.2. Процесс проектирования 3D модели многоразовой маски.....	34
2.3. Процесс проектирования модели фильтра.....	42
2.4. Эффективность маски, изготовленной посредством аддитивных технологий. Постобработка.....	46
2.5. Фильтрующий материал в зависимости от вида деятельности.....	50
Заключение.....	52
Список использованной литературы.....	53

Нормативные ссылки

В настоящей дипломной работе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

1. ГОСО РК 5.03.016 – 2009. Правила выполнения дипломной работы (проекта) в высших учебных заведениях от 01.09.2009.
2. ГОСТ 12.0.004-90. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
3. Приказ Министра здравоохранения и социального развития Республики Казахстан от 25 декабря 2015 года № 1019 «Об утверждении Правил и сроков проведения обучения, инструктирования и проверок знаний по вопросам безопасности и охраны труда работников»
4. Трудовой кодекс Республики Казахстан от 23 ноября 2015 года №414-V (с изменениями и дополнениями по состоянию на 24.05.2018 г.)
5. СТ РК 1617-2006 «Производство лекарственных средств. Надлежащая производственная практика».
6. Технический регламент РК «Требования к безопасности пожарной техники для защиты объектов» // Приказ Министра внутренних дел Республики Казахстан от 23 июня 2017 года № 438.
7. Правила пожарной безопасности// Постановление Правительства Республики Казахстан от 9 октября 2014 года № 1077.
8. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к зданиям и сооружениям производственного назначения»// Утверждены приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 28 февраля 2015 года № 174.
9. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования по установлению санитарно-защитной зоны производственных объектов»// Утверждены приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 20 марта 2015 года № 237.
10. Приказ Министра здравоохранения и социального развития Республики Казахстан от 27 мая 2015 года № 392 «Об утверждении надлежащих фармацевтических практик».
11. Санитарные правила организации технологических процессов и гигиенические требования к производственному оборудованию № 1.01.002-94.

Обозначение и сокращения

- НТП – научно-технический прогресс
- ТБ – техника безопасности
- ТК – Трудовой Кодекс
- PLA – Полимолочная кислота, полилактид
- ABS – АБС – Акрилонитрил-бутадиен-стирол
- ПВА – клей – дисперсия поливинилацетата в воде, со специальными добавками и пластификатором.
- ПВП – Поливинилпирролидон, водорастворимый полимер.
- БФ-2 – Бутираль фенольный – терморезактивный однокомпонентный полимеризующийся клей, для жестких и статичных материалов.
- СУМК – Cyan, Magenta, Yellow, Key или Black, четырёхцветная автотипия – субтрактивная схема формирования цвета.
- САПР – Система автоматизированного проектирования
- 3D-печать – Трёхмерная печать
- Быстрое прототипирование – быстрое изготовление прототипа, модели и объекта для дальнейшей доводки.
- SLA – Stereolithography – лазерная стереолиграфия
- SLS – Selective Laser Sintering – селективное лазерное спекание
- SLM – Selective Laser Melting – селективное лазерное плавление
- EBM – Electron Beam Melting – электронно-лучевое плавление
- DMLS – Direct Metal Laser Sintering – прямое металлическое лазерное спекание
- FDM – Fused Deposition Modeling – моделирование методом послойного наплавления
- ПК – персональный компьютер
- БД – база данных
- ПО – программное обеспечение
- ОС – операционная система
- СИЗ – средства индивидуально защиты
- RepRap – Replicating Rapid Prototyper – машина для быстрого прототипирования
- STL файл – формат документа, относящийся к расширениям из категории САПР файлов.
- FDA – Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов
- PLGA или PLG – сополимер молочной и гликолевой кислоты, используется во множестве терапевтических устройств, одобренных FDA.
- PDMS – полидиметилсилоксан – линейный полимер диметилсилоксана.
- COVID-19 – Corona Virus Disease 2019 тяжёлая острая респираторная инфекция, вызываемая коронавирусом SARS-CoV-2 (2019-nCoV).
- ПДК – предельно допустимая концентрация – утверждённый в законодательном порядке санитарно-гигиенический норматив.

Введение

Достижения научно-технического прогресса получили широкое развитие в фармацевтических, медицинских, пищевых и других отраслях производства. Использование достижений НТП позволяет разрабатывать новые машины и аппараты, технологии, методы и способы создания различных объектов. Одно из современных прикладных направлений, получивших широкое применение, является аддитивное производство (3D-печать и трехмерное моделирование).

В настоящее время возникает большое количество вопросов защиты и проблем применения медицинских масок в целях профилактики COVID-19. Использование аддитивных технологий для решения этих проблем является перспективным не только с медицинской точки зрения, но и в целях коммерческой реализации, так как большинство технологий 3D-печати представляются в экспериментальных или концептуальных моделях.

Установлено, что аддитивное производство имеет большие перспективы развития и будет прогрессировать, в том числе путем дальнейшего развития существующих технологий и принципов печати, а также посредством развития и создания новейших футуристических идей, активно исследуемые и разрабатываемые учеными разных стран.

Актуальность дипломной работы заключается в недостаточной эффективности трехслойных медицинских масок в борьбе с COVID-19 и иными инфекционными заболеваниями, при этом имеют ряд вопросов: отсутствие плотного прилегания, разовость и частота применения, затруднительная дезинфекция, проблема утилизации и загрязнения окружающей среды. Применение аддитивных технологий способно решить эти вопросы.

Цель дипломной работы – создать многоразовую медицинскую маску при помощи аддитивных технологий с целью профилактики COVID-19 и иных инфекционных заболеваний.

В процессе выполнения дипломной работы были поставлены следующие задачи:

1. Освоение навыков работы с программным обеспечением по трехмерному моделированию;
2. Проектирование модели многоразовой маски в программе трехмерного моделирования;
3. Создание модели фильтрующего механизма для многоразовых масок и анализ фильтрующих материалов;
4. Анализ технологий печати и изготовление маски из полимолочной кислоты при помощи 3D-печатных аппаратов.

Новизна:

Появление технологии трехмерной печати способствовало созданию множества продуктов 3D-печати, применяемых в различных сферах деятельности человека. Случаи применения данной технологии в создании многоразовых масок из PLA, с разработкой сборочного фильтрующего

механизма, для профилактики инфекционных заболеваний на территории Республики Казахстан не зафиксированы.

Практическая значимость дипломной работы заключается в разработке модели многоразовой маски из PLA, благодаря которой можно снизить риски заражения COVID-19 и другими инфекционными заболеваниями и уменьшить нагрузку на окружающую среду. При помощи выполненного в данной работе трехмерного моделирования открывается возможность автоматизации процесса производства 3D-печати.

1. Литературный обзор

1.1. Аддитивная технология

1.1.1. Понятие об аддитивной технологии. Сравнение с традиционной технологией производства

Аддитивное производство или 3D-печать – это процесс создания твёрдых трёхмерных объектов различной геометрической формы из цифровой модели, разработанной компьютерными программами. Под аддитивной технологией подразумевается процесс, который накладывает один слой материала за другим в заданной форме. Главное преимущество аддитивного производства и отличие от традиционной технологии изготовления это исключение механической обработки, которая основана на механическом воздействии материала путём его обрезания, сверления и другими процессами. Объекты аддитивной технологии находят применение на любых этапах жизненного цикла продукта, начиная с момента разработки предварительных моделей (быстрое прототипирование) до производства с полным циклом, а также используются совместно с традиционной механической обработкой. Следовательно, 3D-печать приносит два фундаментальных нововведения: манипулирование объектами в их цифровом формате и изготовление новых форм путем добавления материала [1].

Существует ряд ограничений для традиционного производства, которое в значительной степени основано на человеческом труде и производится вручную. Однако мир производства изменился, и автоматизированные процессы, такие как механическая обработка, литье и формование, являются относительно новыми, сложными процессами, требующими машин, компьютеров и робототехники. Все эти технологии требуют вычитания материала из более крупного блока, будь то для получения самого конечного продукта или для производства инструмента, для процессов литья или формования, и это является серьезным ограничением в рамках общего производственного процесса.

Для многих объектов проектирования традиционные процессы и производство накладывают ряд неприемлемых ограничений, включая дорогостоящую оснастку, как упоминалось выше, приспособления и необходимость сборки сложных деталей. Кроме того, вычитающие производственные процессы, такие как механическая обработка, могут привести к тому, что до 90% исходного блока материала будет потрачено впустую. В отличие от этого, 3D-печать – это процесс непосредственного создания объектов путем добавления материала слой за слоем различными способами, в зависимости от используемой технологии.

3D-печать – это благоприятная технология, которая поощряет и стимулирует инновации с беспрецедентной свободой дизайна, в то же время являясь процессом без инструментов, который сокращает непомерные затраты и сроки конструирования конечного продукта. Компоненты сборки могут разрабатываться определенным образом, что поможет избежать требований,

предъявляемых к объектам со сложной геометрией и сложными функциями. При этом исключаются затраты для этих стадий с точки зрения аддитивного производства. 3D-печать также становится энергоэффективной технологией, которая может обеспечить экологическую эффективность как с точки зрения самого производственного процесса, используя до 90% стандартных материалов, так и на протяжении всего срока службы продукции, увеличивающемуся благодаря более легкому и прочному дизайну.

В последние годы 3D-печать вышла за рамки промышленного прототипирования и производственного процесса, поскольку технология стала более доступной для небольших компаний и даже частных лиц. Когда-то принадлежавшие огромным многонациональным корпорациям из-за масштаба и экономики владения 3D-принтерами, меньшие (менее способные) 3D-принтеры теперь можно приобрести менее чем за 1000 долларов. Это открыло технологию для гораздо более широкой аудитории, и по мере того, как экспоненциальный темп внедрения продолжается быстрыми темпами на всех фронтах, появляется все больше и больше систем, материалов, приложений, услуг и вспомогательных средств. [2].

1.2. Применение аддитивной технологии

1.2.1. 3D-печать в строительстве и декоративном дизайне

Термин "3D-печать" охватывает множество процессов и технологий, которые предлагают полный спектр возможностей для производства деталей и изделий из различных материалов. Применение 3D-печати с каждым днем увеличивается. По мере того, как эта технология продолжает проникать все шире и глубже в промышленный, производственный и потребительский секторы, она будет только расти. Большинство авторитетных комментаторов в этом технологическом секторе согласны с тем, что на сегодняшний день мы только начинаем видеть истинный потенциал 3D-печати.

Аддитивные технологии нашли применение в автомобиле-, самолетостроении, искусстве, строительной индустрии, пищевой промышленности, медицине и других отраслях.

Ярким примером применения технологий 3D-печати является дом, построенный в 2014 году голландской компанией Dus Architects. Проект 3D print Canal House реализовывали в Амстердаме в течение трех лет.

Одной из задач архитекторов Dus Architects была технология печати компонентов дома прямо на месте, позволяющая избежать процесс возведения дома от строительного мусора и минимизировать расходы на транспортировку материала. Принтер обладал мобильностью, что давало ему преимущество, так как его можно было легко транспортировать. Этот факт устранял необходимость хранения материала на строительной площадке, и также снижал стоимость транспортировки. После завершения проекта строительная площадка была открыта для общественности. Основной целью проекта стало раскрытие потенциала 3D-печати в строительной отрасли. [3]

В том же году китайская компания WinSun Decoration Design Engineering разработала материал, похожий на бетон, с возможностью использовать его в технологии 3D-печати и начали строительство дома. Компоненты дома печатались на принтере, затем транспортировались на строительную площадку и там собирались вместе для создания полноценной конструкции. Компоненты печатали на принтере, высота которого достигала 6 метров, длина 40 метров, а ширина 10 метров. Спустя один год китайская компания, используя данный метод, построила пятиэтажное здание, изображенное на рисунке 1 [4].



Рисунок 1. Напечатанное на 3D-принтере, пятиэтажное здание компании WinSun

Примером совмещения строительной инженерии, декоративного искусства и дизайна является технология Contour Crafting (контурная обработка). Данная технология 3D-печати создает крупные компоненты с высочайшей точностью и определенной архитектурной гибкостью. Идея Бехроха Хошневиса (изобретатель) состояла в том, чтобы создать принтер, имеющий одну или более форсунок, перемещающихся по двум параллельным дорожкам. Это позволяет осуществлять строительство на месте (Рис. 2), что опять же сокращает транспортировку, время и стоимость конструкции в целом. [5]



Рис 2. Contour Crafting конструкция декоративного замка

Для строительной индустрии помимо низких затрат на стоимость материалов, их хранение и транспортировку, а также экономии времени существуют и другие преимущества применения аддитивных технологий. Основными из них являются экологичность строительного процесса, низкое потребление энергии сырьем, сокращение количества производственных травм, вероятности несчастных случаев и возможности автоматизации [6].

1.2.2. Трехмерная печать в авиа- и автомобилестроении

Особый интерес представляют собой продукты совмещения традиционных и аддитивных технологий, так дочерняя компания Airbus Group APWorks разработала и создала 3D-печатный электронный велосипед, представленный на рисунке 3.



Рисунок 3. 3D-печатный электронный велосипед

На рамах можно увидеть следы традиционного метода – сварки. Для печати рам использовали технику селективного лазерного спекания, материал которого состоит из алюминия, магния и скандия. Скандий очень часто применяют, сочетая с другими металлами. Он придает хорошую прочность и практически не изменяет вес сплава. Этот материал часто применяют в аэрокосмическом производстве. Так Airbus совместно с Autodesk разработали перегородки, изображенные на рисунке 4.

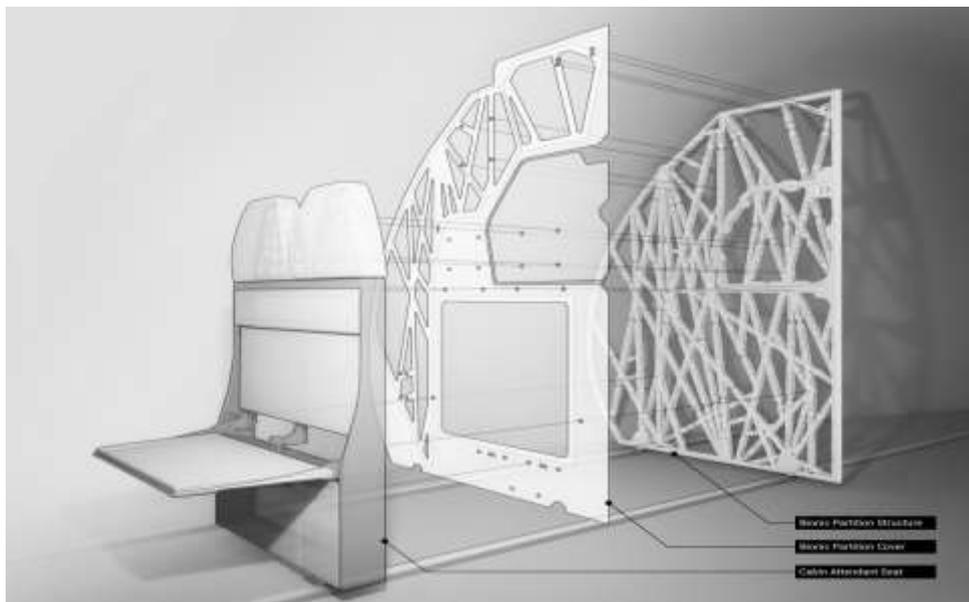


Рисунок 4. 3D-печатный компонент кабины самолета.

Перегородки располагаются между бортовой кухней самолета и пассажирскими салонами. Эти перегородки обладают необходимой прочностью и весят почти в 2 раза меньше применяемых ранее материалов традиционного производства [7].

1.2.3. Распространение 3D-печати в пищевой промышленности и медицине

В пищевой промышленности принтеры выдавливают соус, сыр, тесто, шоколад, пюре, глазурь) через сопло-дозатор. При помощи трехмерного моделирования можно создать объект любой формы из этих материалов. Также существует возможность использования нескольких картриджей с разным материалом, соответственно необходимы несколько головок для печати, однако это позволяет смешивать пищевые ингредиенты в единый продукт [8].

Примерно с середины 1990-х годов можно отследить начало применения 3D-печати в медицинской практике. Одной из первых была разработка университета Миссури – специальный био-гель, формирующийся биомедицинским 3D-принтером сгустки клеток заданного типа. Далее данная технология получила развитие в виде полноценных донорских органов. Также

развивается протезирование и производство имплантатов, фрагментов костей, черепа, хрящевых тканей, скелета. Так, Oxford Performance Materials – компания из США провела успешную операцию, в которой пациенту имплантировали фрагмент черепа. Для этого сначала создали точечную модель черепа при помощи 3D сканера. Данная модель учитывала индивидуальные особенности строения черепа, а также характер травмы. Это позволило разработать идеально подходящий имплантат. Изготовленный череп не монолитный объект из пластмассы, а состоящая из 23 костей-фрагментов структура. На поверхности с точностью выгравированы мельчайшие детали. На изготовление после сканирования было потрачено 2 недели. На данный момент проводятся успешные операции людям с черепно-мозговыми травмами. С помощью 3D-принтеров уже печатают многие протезы, причем с учетом индивидуальных особенностей человека. При помощи 3D-принтеров воспроизводят протезы, которые учитывают индивидуальные особенности каждого человека.

Для создания постоянных имплантатов или матричных подложек с помощью 3D-печати широко используются биомедицинские материалы, включая твердые металлы/сплавы (Ti), полимеры (от термопластичных полимеров (полистирол и PLGA) до эластомерных полимеров (PDMS), мягких гидрогелей) и керамические материалы.[9].

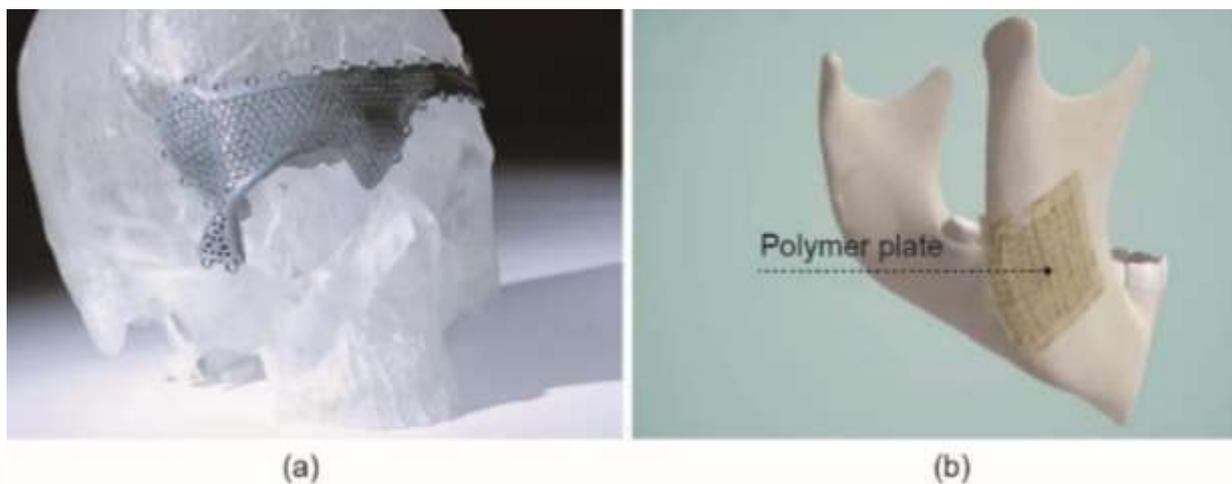


Рисунок 5. 3D-печатные детали из различных материалов. (a) – протез из сплава Ti; (b) – полимерная пластина, изготовленная из новых рассасывающихся керамических биоматериалов

Количество людей, применяющих аддитивную технологию, неизменно растет, также параллельно увеличивается число исследований, открывающих новые возможности трехмерной печати. Сегодня представляется возможным применение аддитивных технологий для создания многоразовых масок с целью профилактики инфекционных заболеваний.

1.3. Организация трехмерной печати

Отправной точкой для любого процесса 3D-печати является цифровая трехмерная модель, которая может быть создана с помощью различных 3D программ. В промышленности применяют 3D CAD (системы автоматизированного проектирования). Для производителей и потребителей доступны более простые и доступные программы или возможность сканирования готового объекта с помощью 3D-сканера. В программах CAD трехмерную модель "нарезают" на слои, тем самым преобразуя дизайн в файл, читаемый 3D-принтером. Материал, обработанный 3D-принтером, затем наслаивается в соответствии с дизайном и процессом. Как уже говорилось, существует ряд различных типов технологий 3D-печати, которые по-разному обрабатывают различные материалы для создания конечного объекта, однако для всех необходима послойная цифровая «нарезка» документа [10].

Помимо преобразования в читаемый принтером формат STL, для организации печати, немаловажным является платформа. Выделяют три типа платформ: подогревающие, перфорированные и без подогрева.

Для хорошего крепления применяют перфорированные платформы. Это плоские платформы со значительным числом небольших отверстий в виде правильного рисунка. Первый слой печатаемого объекта попадает в эти отверстия, тем самым фиксирует местоположение модели. Однако для того чтобы исключить попадание частей печатаемой модели в отверстия перфорированной платформы необходимо создать рафт, изображенный на рисунке 6. Рафт (с англ. raft – плот) можно с легкостью отделить от 3D-объекта



Рисунок 6. Рафт – подложка для перфорированных платформ

Огромный минус перфорированных платформ – чистка отверстий после печати. Чистку осуществляют путем погружения в различные растворители (ацетон), что требует дополнительных затрат. Возникает необходимость обрабатывать платформу, делать ее съемной, а это нарушает калибровку любой платформы, что создает дополнительные неудобства.

Существуют другие вспомогательные конструкции, применяемые для всех видов платформ: *skirt*, *brim*, *supports*. *Skirt* – это ободок вокруг печатаемого объекта, его выполняют для пробы и проверки точности печати.

Brim – это основание в виде каймы для улучшения прилипания модели. Supports – это поддержки, которые исходят из основания и заканчиваются до нависающих в воздухе частей печатаемой модели [11].



Рисунок 7. Вспомогательные конструкции skirt и brim



Рисунок 8. Вспомогательная конструкция supports, для модели позвонков

Подогревающая платформа – это специальная поверхность, которую нагревают для предупреждения поэтапно накладывающихся друг на друга слоев печатного материала от возможного сжатия и охлаждения. Сжатие может привести к внутренним напряжениям и деформации печатаемой детали. Охлаждение и последующее сжатие на определенных поверхностях также могут стать причиной поломки деталей при отлипанию объекта.

В качестве подогревающих столов зачастую используют текстолитовые или алюминиевые столы. Алюминий обладает рядом преимуществ. Он тяжелее, с легкостью распределяет тепло по всей поверхности и практически не подвергается изгибам. В качестве покрытий стола использует следующие материалы:

- Гладкие стекла, зеркала;
- Полимерные покрытия с целью адгезии (прилипания);
- Съёмные магнитные столы (для низкотемпературных пластиков).

Стоит отметить, что не все материалы для печати способны липнуть к подогревающим столам. Поэтому часто применяют ровную стеклянную поверхность, наносят на нее клей, который впоследствии можно отлепить. Для этого в качестве клея применяют водные и спиртовые растворы ПВА, ПВП, БФ2. Прилипание возможно обеспечить и другими методами: специальной адгезивной пленкой, лаком для принтеров, малярной лентой, сахарным сиропом и другими специальными или подручными материалами [12].

1.4. Методы, технологии и материалы аддитивного производства

1.4.1. Стереолитография и цифровая обработка света

Стереолитография (Stereolithography, SL) – первый процесс 3D-печати и первая технология, которую перевели на коммерческую основу. SL – это лазерный процесс, связанный с фотополимерными смолами, реагирующими на воздействие лазера, при этом образуется твердое вещество. Данным способом получают очень точные детали. Это сложный процесс, в котором фотополимерная смола удерживается в чане с подвижной платформой внутри. Лазерный луч направляется по осям X-Y через поверхность смолы в соответствии с 3D-данными, поступающими на машину (файл .stl), в результате чего смола затвердевает именно там, где лазер попадает на поверхность. Как только слой завершен, платформа внутри чана опускается по оси Z. Это продолжается до тех пор, пока весь объект не будет завершен и платформа не будет поднята для удаления лишних элементов.

Из-за характера процесса SL требует опорных конструкций для некоторых деталей, особенно с выступами или подрезами. Эти структуры должны быть удалены вручную. Отсюда возникает потребность в постобработке.

DLP — или Digital light processing (Цифровая обработка света) — это процесс, аналогичный стереолитографии, в том смысле, что это процесс 3D-печати, который работает с фотополимерами. Основное различие заключается в источнике света. DLP использует более традиционный источник света, такой как дуговая лампа, с жидкокристаллической панелью дисплея или деформируемым зеркальным устройством (DMD), которое наносится на всю поверхность чана с фотополимерной смолой за один проход, что обычно делает его быстрее, чем SL.

Также как и SL, DLP производит высокоточные детали с отличным разрешением, но его сходство также включает в себя те же требования к несущим конструкциям и последующему отверждению. Однако одно из преимуществ DLP по сравнению с SL заключается в том, что для облегчения процесса требуется только неглубокий чан со смолой, что, как правило, приводит к уменьшению отходов и снижению эксплуатационных расходов [13].

1.4.2. Лазерное спекание или плавка

Laser Sintering или Laser Melting (Лазерное спекание/плавка). Лазерное спекание одна из технологий лазерной 3D-печати, работающая с порошкообразными материалами. Лазер проходит через слой порошка из плотно спрессованного порошкообразного материала. Когда лазер взаимодействует с поверхностью порошкообразного материала, он спекает или сплавляет частицы друг с другом, образуя твердое тело. По мере завершения каждого слоя, слой порошка постепенно падает, и ролик разглаживает порошок по поверхности слоя перед следующим проходом лазера, чтобы последующий слой был сформирован и сплавлен с предыдущим слоем.

Камера сборки полностью герметична, так как необходимо поддерживать точную температуру во время процесса, специфичную для температуры плавления выбранного порошкообразного материала. Одним из ключевых преимуществ этого процесса является то, что слой порошка служит в качестве технологической опорной конструкции для выступов и подрезов, и поэтому с помощью этого процесса возможны сложные формы, которые не могут быть изготовлены каким-либо другим способом.

Однако, с другой стороны, из-за высоких температур, необходимых для лазерного спекания, время охлаждения может быть значительным. Кроме того, пористость была исторической проблемой этого процесса, и, хотя были достигнуты значительные улучшения в отношении полностью плотных деталей, некоторые области применения все еще требуют инфильтрации другим материалом для улучшения механических характеристик.

Лазерное спекание может обрабатывать пластиковые и металлические материалы, хотя для спекания металла требуется гораздо более мощный лазер и более высокие температуры в процессе. Детали, изготовленные с помощью этого процесса, намного прочнее, чем с помощью SL или DLP, хотя, как правило, отделка поверхности и точность не так хороши [14].

1.4.3. Струйная технология печати.

Inkjet (Струйная технология). Существует два процесса 3D-печати, в которых используется технология струйной печати:

Binder jetting (Drop on Powder): когда материал, из которого выбрасывается струя, является связующим и выборочно распыляется в слой порошка материала детали, чтобы сплавить его слой за раз для печати требуемой детали. Как и в случае с другими системами порошкового слоя, после завершения одного слоя постепенно падает слой порошка, и ролик или лезвие разглаживает порошок по поверхности слоя перед следующим проходом струйных головок, при этом связующее для последующего слоя должно быть сформировано и сплавлено с предыдущим слоем. Преимущества этого процесса, как и в случае с SLS, включают в себя тот факт, что необходимость в опорах сводится на нет, поскольку сам порошок обеспечивает эту

функциональность. Кроме того, можно использовать целый ряд различных материалов, включая керамику и продукты питания. Еще одним отличительным преимуществом этого процесса является возможность легко добавлять полную цветовую палитру, которая может быть добавлена в связующее. Однако детали, полученные непосредственно из машины, не так прочны, как в процессе спекания, и требуют последующей обработки для обеспечения долговечности. В основном этот способ использует песок, гипс, полимеры и металлы.

Вторая технология струйной печати это material jetting: процесс 3D-печати, при котором фактические строительные материалы (в жидком или расплавленном состоянии) избирательно струйно пропускаются через несколько струйных головок (при этом другие головки в тоже время струйно пропускают вспомогательные материалы). Однако материалы, как правило, представляют собой жидкие фотополимеры, которые твердеют с пропусканьем ультрафиолетового света при нанесении каждого слоя. Природа этого продукта позволяет одновременно осаждать целый ряд материалов, что означает, что одна деталь может быть изготовлена из нескольких материалов с различными характеристиками и свойствами. Струйная обработка материалов – это очень точный метод 3D-печати, позволяющий получать точные детали с очень гладкой отделкой [15].

1.4.4. Ламинирование методом селективного осаждения

Selective Deposition Lamination (SDL) – это запатентованный процесс 3D-печати, разработанный и изготовленный компанией Mcor Technologies. Существуют ошибки в сравнении этого процесса с технологией ламинирования листовых материалов (Laminated object manufacturing LOM), разработанным компанией Helisys в 1990-х годах, из-за сходства в расслоении и формировании бумаги для формирования конечной детали. Однако на этом любое сходство заканчивается.

Процесс 3D-печати SDL создает детали слой за слоем при помощи использования стандартной копировальной бумаги. Каждый новый слой фиксируется к предыдущему слою с помощью клея, который наносится выборочно в соответствии с 3D-данными, поступающими на машину. Это означает, что гораздо более высокая плотность клея наносится на область, которая станет частью, и гораздо более низкая плотность клея наносится на окружающую область, которая будет служить опорой, обеспечивая относительно легкое склеивание и при этом удаление опоры.

После того, как новый лист бумаги подается в 3D-принтер из механизма подачи бумаги и помещается поверх выборочно нанесенного клея на предыдущий слой, пластина сборки перемещается к нагревательной пластине и прикладывается давление. Это давление обеспечивает положительную связь между двумя листами бумаги. Затем пластина сборки возвращается на высоту сборки, где регулируемое лезвие из карбида вольфрама разрезает по одному

листу бумаги за раз, прослеживая контур объекта, чтобы создать края детали. Когда эта последовательность резки завершена, 3D-принтер наносит следующий слой клея и так далее, пока деталь не будет завершена.

SDL-один из очень немногих процессов 3D-печати, который может производить полноцветные 3D-печатные детали с использованием цветовой палитры CYMK (субтрактивная схема формирования цвета). А поскольку детали изготовлены из стандартной бумаги, не требующей последующей обработки, они полностью безопасны и экологичны. Там, где этот процесс не может выгодно конкурировать с другими процессами 3D-печати, это производство сложных геометрий и размер сборки, который ограничен размером исходного сырья [16].

1.4.5. Электронно-лучевая плавка

Electron Beam Melting (EBM). Технология 3D-печати с электронно-лучевой плавкой – это запатентованный процесс, разработанный шведской компанией Arcam. Этот метод печати металла очень похож на процесс прямого лазерного спекания металла (DMLS) с точки зрения формирования деталей из металлического порошка. Ключевым отличием является источник тепла, который, как следует из названия, представляет собой электронный луч, а не лазер, что требует, чтобы процедура проводилась в условиях вакуума.

EBM обладает способностью создавать полностью плотные детали из различных металлических сплавов, даже медицинского класса, и в результате эта технология была особенно успешной для широкого спектра производственных применений в медицинской промышленности, особенно для имплантатов. Однако другие высокотехнологичные секторы, такие как аэрокосмическая и автомобильная промышленность, также обращаются к технологии EBM для выполнения производственных задач [17].

1.4.6. Моделирование методом послойного наплавления

Fused Deposition Modeling (FDM) или Fused Filament Fabrication (FFF). 3D-печать с использованием экструзии термопластичного материала является наиболее распространенным и узнаваемым процессом трехмерной печати. Наиболее популярным названием этого процесса является моделирование методом наплавления (FDM) из-за его долговечности, однако это торговое название, зарегистрированное компанией Stratasys, которая первоначально разработала его. Технология FDM существует с начала 1990-х годов и сегодня представляет собой промышленный процесс 3D-печати. Однако распространение 3D-принтеров начального уровня, появившихся с 2009 года, в основном использует аналогичный процесс, обычно называемый изготовлением произвольной формы (FFF), но в более упрощенной форме из-за патентов, все еще принадлежащих Stratasys. Самые ранние машины RepRap и все последующие разработки — с открытым исходным кодом и коммерческие

— используют методику экструзии. Однако после подачи заявки Stratasys на нарушение патентных прав против Afiniat есть вопросительный знак о том, как будет развиваться рынок начального уровня сейчас [18].

Процесс работает путем плавления пластиковой нити, которая проходит через нагретый экструдер и слой за слоем наносится на платформу сборки в соответствии с 3D-данными, поступающими на принтер. Каждый слой затвердевает по мере осаждения и связывается с предыдущим слоем. Stratasys разработала ряд запатентованных материалов промышленного класса для своего процесса FDM, которые подходят для некоторых производственных применений. На начальном уровне рынка материалы более ограничены, но ассортимент растет. Наиболее распространенными материалами для 3D-принтеров начального уровня FFF являются ABS и PLA.

Процессы FDM/FFF требуют опорных структур для любых приложений с нависающей геометрией. Для FDM это влечет за собой второй, водорастворимый материал, который позволяет относительно легко смывать несущие конструкции после завершения печати. В качестве альтернативы также возможны отрывные опорные материалы, которые можно удалить, вручную оторвав их от детали. Вспомогательные структуры или их отсутствие, как правило, были ограничением 3D-принтеров начального уровня FFF. Однако по мере того, как системы развивались и совершенствовались, чтобы включать двойные экструзионные головки, это стало менее серьезной проблемой [19].

С точки зрения производимых моделей процесс FDM от Stratasys является точным и надежным процессом, который относительно удобен для офиса/студии, хотя может потребоваться обширная постобработка. На начальном уровне, как и следовало ожидать, процесс FFF создает гораздо менее точные модели, но ситуация постоянно улучшается.

Процесс может быть медленным для некоторых геометрий деталей, и адгезия между слоями может быть проблемой, в результате чего детали не являются водонепроницаемыми. Опять же, постобработка с использованием ацетона может решить эти вопросы.

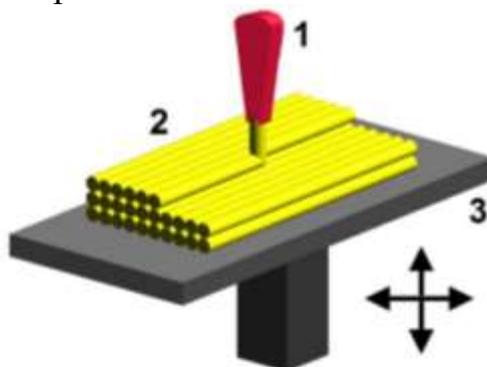


Рисунок 9. Моделирование по технологии FDM: 1 – дюза падает расплавленный пластик, 2 – осажденный материал, 3 – управляемый подвижный столик.

Технология наплавления проста. Сложные объекты создают из расплавленного пластика, выдавленного через сопло. Намотанная на катушку пластиковая нить (материал), разматываясь, подается в экструзионное сопло, при этом управляемый компьютером механизм перемещает само сопло и (или) объект вдоль трех осей. После экструзии (выдавливания) материал моментально затвердевает. Для всех перемещений создаваемого объекта, а также подачи материала в экструдер используют шаговые двигатели или сервомоторы [20].

1.5. Анализ технологий и материалов трехмерной печати

Как можно было заметить, аддитивное производство состоит из множества технологий, различие между которыми обусловлено технологическими особенностями 3D-печати. В таблице №1 собрана классификация главных технологий, методов и материалов, применяемых в аддитивном производстве.

Таблица 1. Классификация главных технологий, методов и материалов, применяемых в аддитивном производстве

Метод	Базовая технология	Используемые материалы
Экструзионный	Моделирование методом послойного наплавления (FDM или FFF)	Термопластичные полимеры (полилактид, акрилонитрилбутадиенстирол и др.)
Проволочный	Производство произвольных форм электронно-лучевой плавкой (EBF)	Практически любые металлические сплавы
	Прямое лазерное спекание металлов (DMLS)	Практически любые металлические сплавы
	Электронно-лучевая плавка (EBM)	Титановые сплавы
Порошковый	Выборочная лазерная плавка (SLM)	Титановые сплавы, кобальтхромовые сплавы, нержавеющая сталь, алюминий
	Выборочное тепловое спекание (SHS)	Порошковые термопластичные полимеры
	Выборочное лазерное	Термопластичные полимеры,

	спекание (SLS)	металлические порошки, керамические порошки
Струйный	Струйная трехмерная печать(3DP)	Гипс, пластики, металлические порошки, песчаные смеси
Ламинирование	Изготовление объектов методом ламинирования (LOM)	Бумага, металлическая фольга, пластиковая пленка
Полимеризация	Стереолитография (SLA)	Фотополимеры
	Цифровая светодиодная проекция (DLP)	

По представленным данным наблюдаются существенные различия основных принципов каждого метода, условиям его применения, используемым материалам, функциональному назначению, форме изделий и другим параметрам. Поэтому возникла необходимость рассмотрения наиболее часто применяемых технологий в отдельности. Из представленных технологий наиболее простой, дешевой и доступной является технология моделирования методом послойного наплавления. Еще одно преимущество данной технологии – термопластичные полимеры. Самыми доступными и распространенными материалами, применяемыми в аддитивной технологии и зачастую в FDM, являются акрилонитрил-бутадиен-стирол (ABS) и полимолочная кислота (PLA). Данные материалы также называют нитями, имеющими вид рулона. Термопластичные полимеры представляют собой перспективный материал для создания ИМН.

1.6. Полимолочная кислота

1.6.1. Полимолочная кислота, способы ее получения и характеристика

Полимолочную кислоту получают из природного растительного сырья. PLA является биоразлагаемым материалом, следовательно, более экологичным по сравнению с акрилонитрил-бутадиен-стиролом.

PLA – это биоразлагаемый термопластичный полиэфир, получаемый конденсационной полимеризацией молочной кислоты, путем ферментации сахаров из источников углеводов, таких как сахарный тростник, кукуруза или тапиока. По потреблению энергии, выбросам CO₂ и вариантам окончания срока службы PLA превосходит многие полимеры на основе нефти. PLA служит альтернативой некоторым пластикам на основе нефти, применяемым в коммерческих целях. Он доступен на рынке по цене, равной цене обычных пластмасс, таких как полипропилен. Рыночный спрос на PLA резко вырос за последнее десятилетие, причем большая его часть приходится на упаковочную промышленность. PLA первоначально продвигался для одноразовых упаковочных приложений, учитывая ключевое преимущество короткого

жизненного цикла из-за его компостируемой природы. Области применения PLA расширяются за счет использования в прочных конструктивных деталях, создающих особый высокий спрос. По данным Европейской торговой ассоциации индустрии биопластиков, мировое производство долговечных биопластиков, по прогнозам, увеличилось на 535% с 2014 по 2019 год.

В последнее десятилетие наблюдается заметный всплеск исследовательского интереса к разработке смесей и композитов на основе PLA для длительного применения в автомобилестроении, электронике и полуструктурных деталях. Разнообразие подходов, а также специальные добавки и упрочняющие агенты расширили наши знания по контролю производительности ПЛА для долгосрочного применения долговечного продукта. Эта перспектива представляет собой критический обзор литературы в области сверхтвердых, термостойких смесей PLA и биокомпозитов с последующими рекомендациями для будущей работы [21].

Параметры для печати из PLA:

- Температура экструзии — 190-230°C
- Температура стола — 20-60°C
- Межслойная когезия — хорошая
- Адгезия к столу — хорошая
- Перед работой крайне необходимо просушить катушку пластика, для более стабильной печати.

Технические характеристики для полилактида:

- Температура плавления — 175-180°C
- Температура размягчения — 50°C
- Температура эксплуатации изделий — -20+40°C
- Твердость (по Роквеллу) — R70-R90
- Относительное удлинение при разрыве — 3,8%
- Прочность на изгиб — 55,3 МПа
- Прочность на разрыв — 57,8 МПа
- Модуль упругости при растяжении — 3,3 ГПа
- Модуль упругости при изгибе — 2,3 ГПа
- Плотность — 1,23-1,25 г/см³
- Влапоглощение — 0,2-0,4%

Таблица 2. Положительные и отрицательные стороны применения PLA

PLA - полилактид	
Плюсы	Минусы
Не дает усадки при печати, что позволяет получить точное соответствие размеров напечатанного изделия смоделированному.	Под воздействием воздуха и ультрафиолета, как и любой натуральный материал, со временем становится более хрупким, вследствие чего не рекомендуется для
Не требует подогреваемого стола и не	

боится сквозняков при печати, может использоваться для печати на самых дешевых видах принтера с открытым корпусом.	долговременного применения при больших физических нагрузках или использования без защитного покрытия на открытом воздухе.
Нетоксичен. Во время печати приятно и несильно пахнет, что позволяет печатать без использования специальной вытяжки.	Низкая температура размягчения (50°C) — в салоне машины, оставленной на солнце в жаркий день, размягчается и слегка теряет форму.
Твердый, прочный и скользкий, широкий диапазон применений.	Узкий температурный диапазон использования (-20 — +40°C).
Производится из натуральных компонентов, может использоваться для контакта с пищевыми продуктами.	Высокая твердость пластика затрудняет его механическую обработку.
Биоразлагаемый, вещи из данного пластика не наносят вреда окружающей среде при утилизации.	

1.6.2. Время разложения PLA и нанокompозиты на ее основе

Основная проблема полилактида это низкая интенсивность разложения по сравнению с существующей интенсивностью накопления отходов. Несмотря на значительное количество сообщений об особенностях разложения ПЛА [22, 23] и различных смесей на его основе [24], исследований, сообщающих об успешном компостировании ПЛА [25, 26], имеется очень мало (в их числе работы одного из авторов [27, 28]). На рисунке 10а изображены образцы ненаполненного ПЛА и трех различных нанокompозитов ПЛА/ОМСС, извлеченных из компоста по прошествии некоторого времени.

Снижение молярной массы (M_w) и процентный показатель остаточной массы (R_w) по сравнению с изначальными показателями контрольных образцов в зависимости от времени показаны на рисунках 10б и 11, соответственно. Из рисунка 10а видно, что существенных различий между интенсивностью биоразложения ПЛА/С18ММТ4 и ПЛА/qС 18ММТ4 не наблюдается, хотя присутствие органоглины в составе последнего должно было способствовать хорошей биоразлагаемости. В течение одного месяца молярная масса и остаточный вес для ненаполненного ПЛА и нано композита ПЛА/qС 18ММТ4 остаются практически одинаковыми. Однако спустя один месяц начинается сильное снижение массы ПЛА/qС 18ММТ4, и в течение двух месяцев он полностью разлагается в компосте.

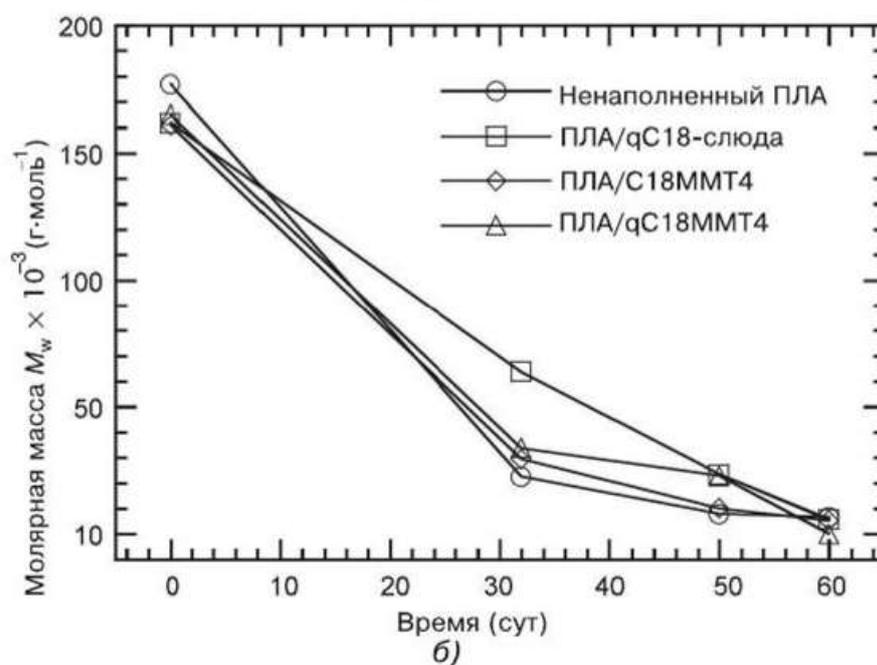
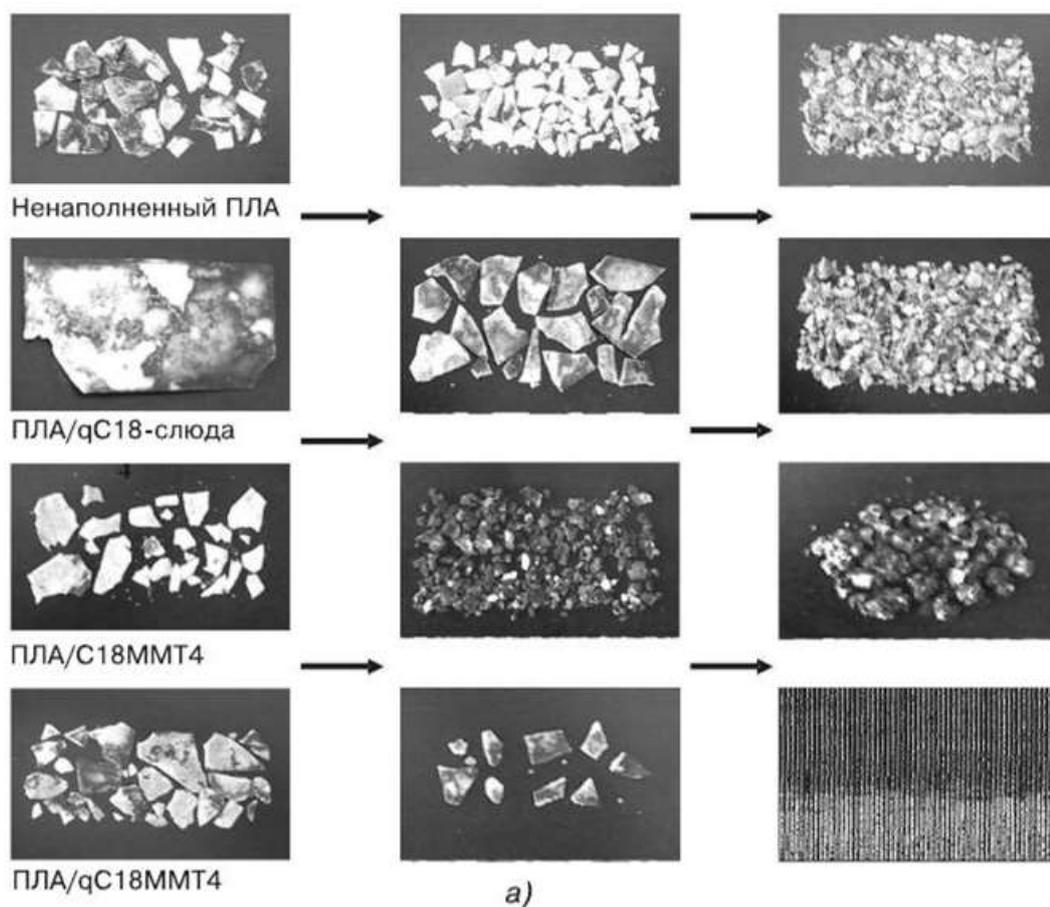


Рис. 10. *а* - снимки ПЛА и различных нанокompозитов на его основе, извлеченных из компоста после определенного времени. Изначальные размеры кристаллизованных образцов $3 \times 10 \times 0,1$ см³; *б* - временная зависимость изменений молярной массы M_w , матрицы ненаполненного ПЛА и нанокompозитов на его основе в условиях компостирования

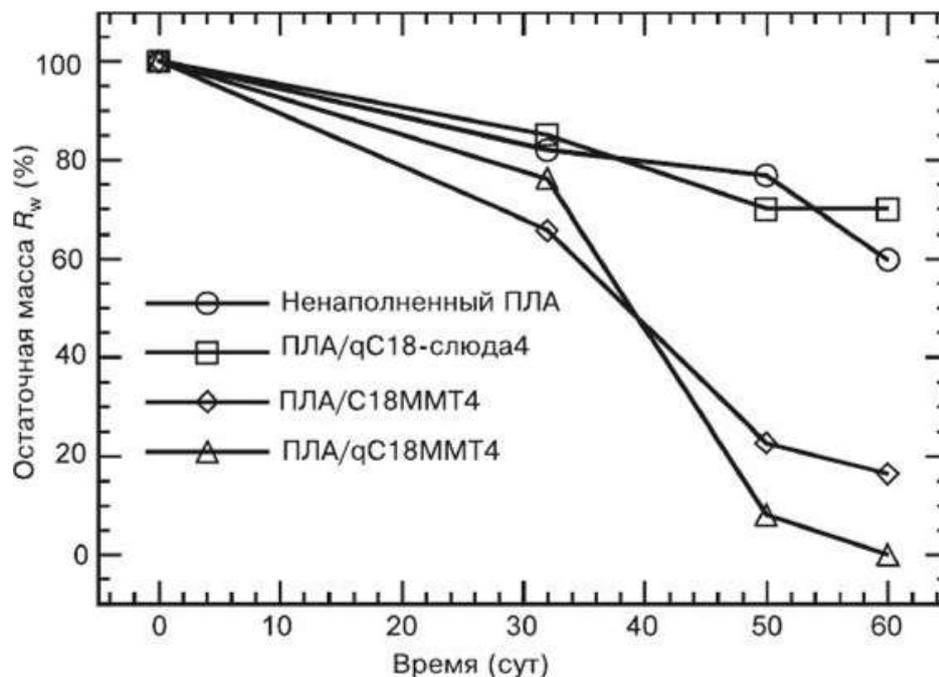


Рисунок 11. Временная зависимость остаточной массы R_w , ненаполненного ПЛА и двух его различных нанокompозитов

Из этих исследований можно сделать вывод, что хоть полилактид и является биоразлагаемым материалом, однако интенсивность разложения по-прежнему низкая, повысить ее можно только за счет помещения в компостные условия. Поэтому спроектированная многоразовая маска из полилактида не будет разлагаться при обычных условиях годами. Лучшим способом утилизации подобного пластика будет вторичная переработка.

1.7. Программное обеспечение для 3D моделирования

Первый этап к печати реального объекта – это создание виртуальной цифровой 3D-модели с помощью программного обеспечения, которую называют система автоматизированного проектирования, сокращенно САПР (CAD). Существует множество подобных программ для самых распространенных платформ (Mac OS X, Windows, Linux), каждая из которых имеет свои особенности. Система автоматизированного проектирования требуют месяцы для освоения и применения на практике многочисленных функций пунктов меню, а также проведение различных манипуляций. Разберем бесплатные и наиболее популярные программы для 3D-моделирования по версии крупного онлайн-сервиса по трехмерной печати i.materialise.

ТОП 25 самых популярных программ для 3D моделирования

№	ПО	Информация		Сообщество 3D-печати				Общий балл
		Оффлайн	Онлайн	Форумы	YouTube	БД	Google	
1	Blender	61	91	100	100	27	100	80
2	SketchUP	87	82	79	49	80	74	75
3	SolidWorks	95	81	42	52	25	75	62
4	AutoCAD	100	78	46	43	4	85	59
5	Maya	91	80	35	50	3	93	59
6	3DS Max	90	83	24	53	2	78	55
7	Inventor	98	80	29	31	15	75	55
8	Tinkercad	78	57	38	5	100	31	51
9	ZBrush	83	69	45	42	4	50	49
10	Cinema 4D	84	76	6	28	1	62	43
11	123D Design	85	67	21	14	18	50	42
12	OpenSCAD	1	65	33	2	100	29	38
13	Rhinoceros	17	75	50	21	6	49	36
14	Modo	82	63	10	9	1	45	35
15	Fusion 360	93	81	10	3	2	4	32
16	Meshmixer	1	62	18	7	9	28	21
17	LightWave	23	52	1	8	0	32	19
18	Sculptris	0	67	7	6	4	26	19
19	Grasshopper	9	60	4	5	1	32	18
20	FreeCAD	4	59	15	8	11	5	17
21	Moi3D	0	53	3	1	0	28	14
22	3Dtin	4	57	0	0	11	1	12
23	Wings3D	0	66	1	1	0	2	12
24	K-3D	0	62	1	1	0	2	11
25	BRL-CAD	0	60	1	0	0	1	11

1) Blender – мощное и требовательное программное обеспечение, специально оптимизировано для сложных анимаций и рендеринга трехмерных персонажей и объектов. Одна из самых сложных для освоения. Имеет возможность переключения интерфейса на множества языков мира, в том числе русский язык. Имеет доступные видео-обучения и пособия. Наличие инструмента для создания 3D-скульптур и возможность экспортирования в STL формат.

2) SketchUp – популярная программа с большим количеством пользователей, обучающими видео-пособиями. Простота в использовании. Оптимальный вариант для создания простых моделей, однако, имеет ограничение в виде бесплатной пробной версии на 30 дней. Требуется установка дополнительных плагинов для выгрузки файла в формате STL.

3) SolidWorks – программа параметрического моделирования. Понятный интерфейс, подходит только для операционных систем Windows, имеет только платную версию.

4) FreeCAD – программное обеспечение с открытым исходным кодом под Mac OS X, Windows, Linux для проведения двух- и трехмерного параметрического моделирования, сложна в изучении, но имеет хорошую документацию и большое пользовательское сообщество для помощи в освоении программы [29].

Проанализировав большое количество программ 3D моделирования, нами были выделены основные параметры и технические характеристики разных ПО и представлены в таблице 3. Сравнив характеристики программ, можно выбрать наиболее оптимальный вариант. Главными критериями выбора в нашем случае являются доступность, операционная система Windows, поддержка формата STL, полнота функционала выше базового. Также планируется создание анимации сборки всех элементов многоразовой маски.

Таблица 3. Анализ программного обеспечения по 3D моделирования

Название	Условия распространения	ОС	Анимация	Поддерживаемые форматы	Полнота функционала
Blender	Бесплатно	macOS, Windows, Linux, Steam	есть	OBJ, FBX, PLY, STL	Полный
SketchUp	Платно для коммерции/бесплатно для личного пользования	Windows, macOS	нет	DWG, DXF, JPEG, PNG, PSD	Базовый
TinkerCad	Бесплатно	Онлайн	нет	STL, OBJ, X3D colors, VRML colors, SVG	Базовый
AutoCad	Платно/бесплатная пробная версия	Windows, OS x, iOS, Android, Windows Phone	нет	DXF, DWG, AutoCad drawing	Достаточно
Maya	Платно/бесплатная версия для студентов	Windows, macOS, Linux	да	3DS, OBJ	Полный
3Ds Max	Платно/бесплатная учебная лицензия	Windows, macOS, Linux	да	3DS, OBJ	Полный
Cinema 4D	Платно	Windows, macOS,	да	3DS, BVH, CATProduct, cgr, dem, dae	Полный
ZBrush	Платно	Windows, macOS	да	OBJ, 3DS, dxf, psd	Полный

SolidWorks	Платно	Windows	да	STL, VRML, VDAFS, ACIS	Достаточно
Inventor	Платно/ бесплатная учебная лицензия	Windows, macOS	да	IPT, DWG, PDF, STL	Достаточно

Продукты AutoCad, Maya, 3Ds Max, Inventor, Fusion 360, TinkerCad являются программами компании Autodesk, Inc. Зарегистрировавшись на официальном сайте autodesk.ru, можно представить необходимый документ (транскрипт, студенческий билет) и получить бесплатную версию на три года для обучения (студентам/преподавателям). Файлы, полученные при работе в данных программах совместимы, поэтому их можно с легкостью переносить из одного ПО к другому ПО. Программы могут дополнять и устранять недостатки друг друга, покрывая потребности как технического, так и художественного 3D-моделирования. Поэтому на основе всего вышеизложенного для проектирования модели маски было предложено использование программы Autodesk Inventor.

1.8. Средства индивидуальной защиты и медицинские маски

1.8.1. Исследования эффективности масок в зависимости от материала и времени ношения

Пандемия тяжелого острого респираторного синдрома (SARS CoV-2) повысила спрос на разные маски для медицинских работников, сотрудников передовой линии и всех людей. Связано это с тем, что человечество не имело четких методов лечения, и первоочередной задачей стала профилактика этого заболевания. Понимание распределения частиц в воздухе и закономерностей распространения в окружающей среде SARS-CoV-2 (коронавируса) имеет большое значение для политики профилактики инфекций. Так учеными Южной Кореи и Сингапура из Национального центра инфекционных заболеваний было проведено исследование, в котором были взяты 245 проб с различных поверхностей. Проводили исследование в 30 изолированных комнатах с инфицированными коронавирусной инфекцией. Ученые пришли к заключению, что коронавирус сохраняет высокую активную способность заражать в течение 12 часов [30]. На основании этого исследования группой ученых из Университета Аризоны были рассмотрены маски, применяемые для защиты от SARS CoV-2: медицинские маски, маски-респираторы (FFP2 и FFP3) и другие материалы (шелк, полотенце, хлопковая, хлопчатобумажная ткани, льняная ткань и шарфы). Для эффективности исследования замеры осуществляли после 30 секунд контакта с пациентом (быстрый осмотр) и 20 минут (с ингаляционным воздействием), с различными инфекционными фракциями обнаруженной вирусной РНК: 0,1%, 1% и 10%. Учитывали даже скорость вдыхания для мужчин и женщин и другие факторы. Таким образом,

удалось зафиксировать уровень и эффективность фильтрации материалов, из которых были изготовлены маски.

Исследователи сделали вывод, что эффективность респираторов FFP2 и FFP3 была принята равной 95% и 99% соответственно. Что касается медицинских масок, то их эффективность при 30 секундном опыте была равна 83%, а при 20 минутном 58%. А маски из нетрадиционных материалов с точки зрения медицины и профилактики инфекционных заболеваний показали наименьшую эффективность. [31]. Это же подтверждают исследования Национального института общественного здравоохранения и окружающей среды (Нидерланды) демонстрирующие эффективность масок и респираторов, а также самодельных средств защиты, изображенных в виде диаграммы на рисунке 12.

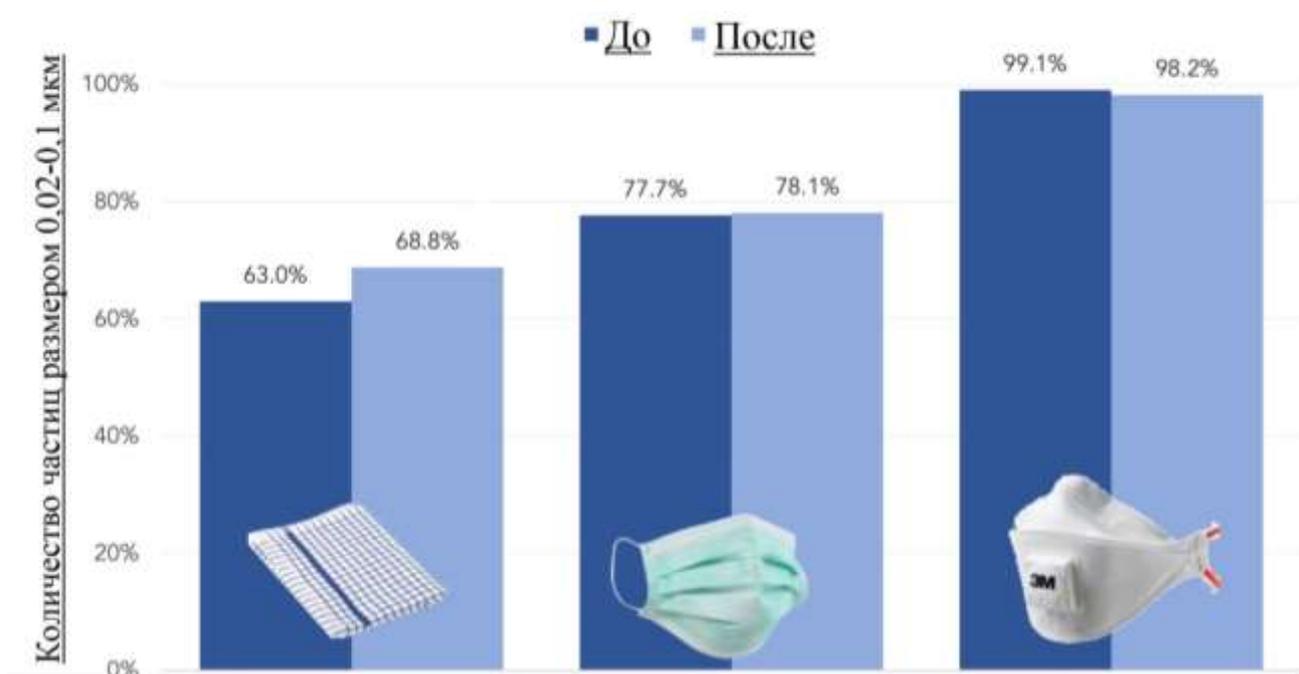


Рисунок 12. Эффективность масок до и после 3 часов ношения

ВОЗ рекомендует носить средства защиты в помещениях, где находится много людей, а также на улице. Согласно данным организации, "исследования гриппа, гриппоподобного заболевания и коронавирусных инфекции у человека свидетельствуют о том, что медицинские маски могут препятствовать распространению капельных частиц от заболевшего человека с симптомами инфекции к здоровому, и потенциальному загрязнению этими частицами предметов окружающей обстановки. Ношение медицинских масок здоровыми людьми дома, в особенности при проживании в одном домохозяйстве с заболевшими либо при посещении массовых мероприятий, может стать эффективной мерой профилактики". [32]

1.8.2. Хирургические маски, их эффективность и материал изготовления

Высокой эффективностью — уровень фильтрации 89%, — обладают хирургические (медицинские) маски из водоотталкивающих материалов мельтблаун и спанбонд. Такие данные приводят эксперты из Кембриджского Университета и Public Health England, представленные на рисунке 13.

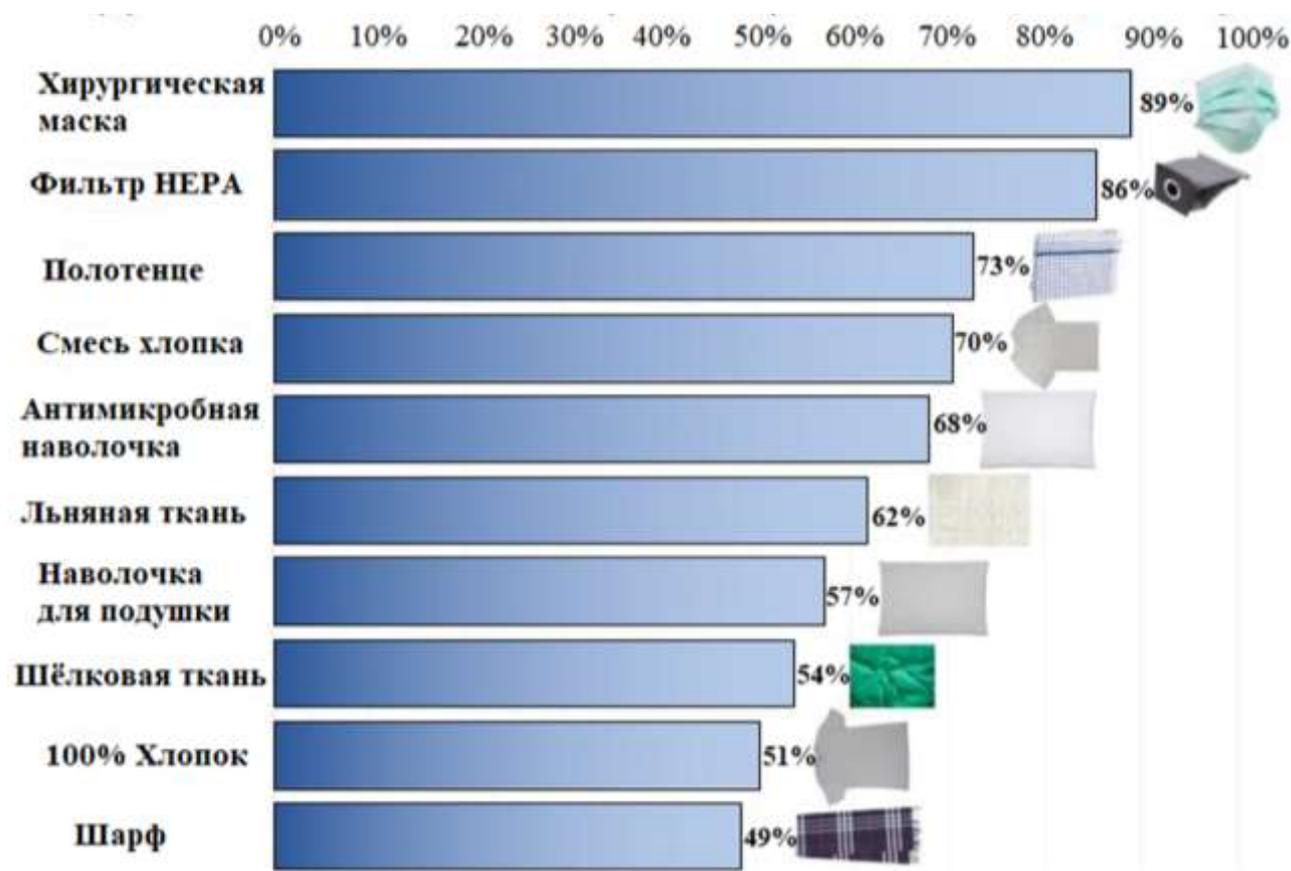


Рисунок 13. Эффективность бытовых материалов против частиц в 0,2 микрон

Обычно ткани, из которых шьют хирургические маски, имеют показатели PFE и BFE 85%-95%. При этом плотность ткани составляет 15-25 г/м². Чем больше плотность ткани, тем выше данные показатели. Однако стоит учесть тот факт что размер COVID-19 варьируются в диапазоне от 0,1 до 0,16 микрон.

BFE (bakterial filtration efficiency) — показатель устойчивости материала к проникновению бактерий. При тестировании материала используются частицы размером от 3 микрон.

PFE (particly filtration efficiency) — показатель эффективности фильтрации субмикронных частиц, вирусов и бактерий. При тестировании материала используются частицы размером от 0,1 до 5 микрон.

Материалы, из которых делают хирургические маски и респираторы, называются "мельтблаун" и "спанбонд". Их синтез называют СМС – многослойный композитный нетканый материал.

Мельтблаун — нетканый материал из пропиленовых микроволокон толщиной 1-5 микрон. В процессе прядения подается горячий воздух на высокой скорости, в результате чего волокна равномерно распределяются без вытягивания.

Спанбонд — нетканый материал, получаемый в процессе расплава полимера и формирования из него нитей, которые вытягиваются в воздушном потоке и, укладываясь на движущийся транспортёр, образуют текстильное полотно.

Благодаря использованию полимеров оба вида тканей обладают антибактериальными свойствами. Для медицинских масок и защитных костюмов используют ткани плотностью от 15 до 60 г/м²[33].

1.8.3. Классификация масок-респираторов и особенности фильтрации

На первое место эксперты из Медицинского колледжа Университета Аризоны (США) поставили маски респираторы N99 и N95 класса фильтрации FFP3 и FFP2, соответственно. Медики опытным путем доказали, что респираторы снижают риск заражения коронавирусом на 94–99% в течение 20 минут пребывания в загрязненной среде. Маски респираторы классифицируют согласно степени их фильтрационных способностей. Приведенная ниже классификация соответствует европейскому стандарту EN 149.

FFP1 (Filtering Face Piece) соответствует №95 — уровень фильтрации 95%. Защищает от нетоксичной пыли и крупных капель аэрозолей, но не от вирусов. Респираторы этого класса рекомендуется носить от 4 до 8 часов, но если дольше, то их эффективность снижается.

FFP2 (№95) защищает от токсичной и канцерогенной пыли, капель аэрозолей, масла и воды. От вирусов защищает частично, поэтому его не рекомендуется носить медработникам. Время использования 6-8 часов.

FFP3 (№99 — уровень фильтрации 99%) имеет самый высокий уровень защиты от вирусов, бактерий, токсичных и радиоактивных веществ. Такие респираторы обязаны носить врачи и медсестры. Время использования 6-8 часов.

Респираторы имеют маркировку, которая указывает на уровень предельно допустимой концентрации вредных веществ (ПДК).

Респираторы класса FFP1 — до 4 ПДК. Это означает, что они способны задерживать 80% частиц аэрозолей, находящихся в воздухе, а 20% может проникать через респиратор. FFP2 до — 12 ПДК (задерживает 94% вредных веществ, 6% может проникнуть). FFP3 — до 50 ПДК (фильтрует 99% твердых и жидких частиц, 1% может проникнуть).

Маркировка NR D (Non Reusable) означает, что респиратор пригоден для одноразового использования. Буква D означает, что средство защиты прошло испытание успешно.

Однако стоит учитывать, что респираторы с клапанами защищают лишь тех людей, которые их носят, но не окружающих. Дело в том, что респиратор фильтрует воздух на вдохе, но не на выдохе, поэтому если человек является носителем коронавирусной инфекции, то даже в респираторе он будет заражать других людей. Когда человек делает вдох, то резиновый клапан плотно прижимается к пластмассовому корпусу (закрывается) и воздух поступает в легкие через несколько слоев ткани. Но при выдохе, клапан отлипает от корпуса и создает щель, через которую воздух из легких беспрепятственно выходит наружу.

Кроме того, приобретая респиратор с клапаном, вы добавляете в свою "систему защиты" потенциально слабое звено. Если окажется, что клапан бракованный, риск заражения может резко вырасти. Центр по контролю и профилактике заболеваний в США не рекомендует носить респираторы с клапанами людям с диагнозом "COVID-19"[34].

1.8.4. Самодельные маски и их эффективность

Американские и английские эксперты пришли к выводу, что чем плотнее материал, тем эффективнее его фильтрационные свойства — 73% (см. инфографику на рисунке 13 выше). Ученые рекомендуют: если вы изготавливаете защитную маску от вируса самостоятельно, выбирайте плотный хлопок, с достаточным количеством слоев. Исследователи из Аризоны и Кембриджа протестировали еще и фильтры для пылесосов в качестве средства защиты от коронавируса. Оба теста показали высокий уровень защиты. Англичане зафиксировали 86% уровень защиты, а американцы — 83% в первые 30 секунд нахождения в загрязненной среде и 58% уровень — при 20-минутном. Эксперты говорят, что можно использовать фильтры для пылесосов при изготовлении масок. Для этого складывают плотный хлопок в два слоя и вставляют в образовавшийся "карман" ткань, из которой сделан фильтр. Самый низкий показатель у шарфов и футболок, натянутых на нос: 24-51%. Тесты, проведенные в Университете Дьюка (Великобритания) показали, что тканевые однослойные маски, флисовые балаклавы не блокируют капли слюны, а наоборот, фрагментируют ее, благодаря чему частицы становятся еще мельче и потому легче переносятся по воздуху. Ученые предупреждают: такие маски эффективны только против пыли и выхлопных газов[35].

1.9. Вывод по литературному обзору

Аддитивные технологии открывают широкий спектр возможностей. Области применения продуктов данной технологии увеличиваются и

расширяются с каждым днем. На сегодняшний день представляется возможным создание маски при помощи аддитивных технологий.

Для трёхмерного моделирования многоцветной маски рекомендуется использовать продукты компании Autodesk, а для печати моделирование методом послойного наплавления.

Необходимость создания новых средств защиты вызвана следующими фактами:

1. Медицинские трехслойные маски (хирургические маски) согласно исследованиям защищают в среднем на 70%. Более того они имеют ряд недостатков, в том числе влияющих на невысокий процент защиты:

- Отсутствие герметичности (плотного прилегания);
- Разовость и частота применения (рекомендуемый период смены маски не более 3-4 часов);
- Затруднительная дезинфекция;
- Проблема утилизации и загрязнения окружающей среды

2. Маски-респираторы также имеют эти недостатки и защищают только носящего человека маску.

Однако фильтровые материалы все еще пригодны для использования. В качестве наилучших материалов выступают СМС – это два слоя спанбонда между которыми находится мелтблаун. Данные материалы выделяются износостойкостью, возможностью контроля пористости, у мелтблауна высокая иногда полная водонепроницаемость и воздухопроницаемость, и сохранение фильтрационных свойств после намокания. Поэтому в концепции данной работы СМС выступает отличным фильтровым материалом для будущих фильтров.

Касательно материала изготовления самой маски, так как наиболее популярным материалом, применяемым в методе FDM, являются термопластичные полимеры, то выбор осуществляется в пользу экологичного, биоразлагаемого и безопасного материала – PLA. PLA может разлагаться до безвредной молочной кислоты, поэтому он используется в качестве медицинских имплантатов в виде анкеров, винтов, пластин, штифтов, стержней и др.

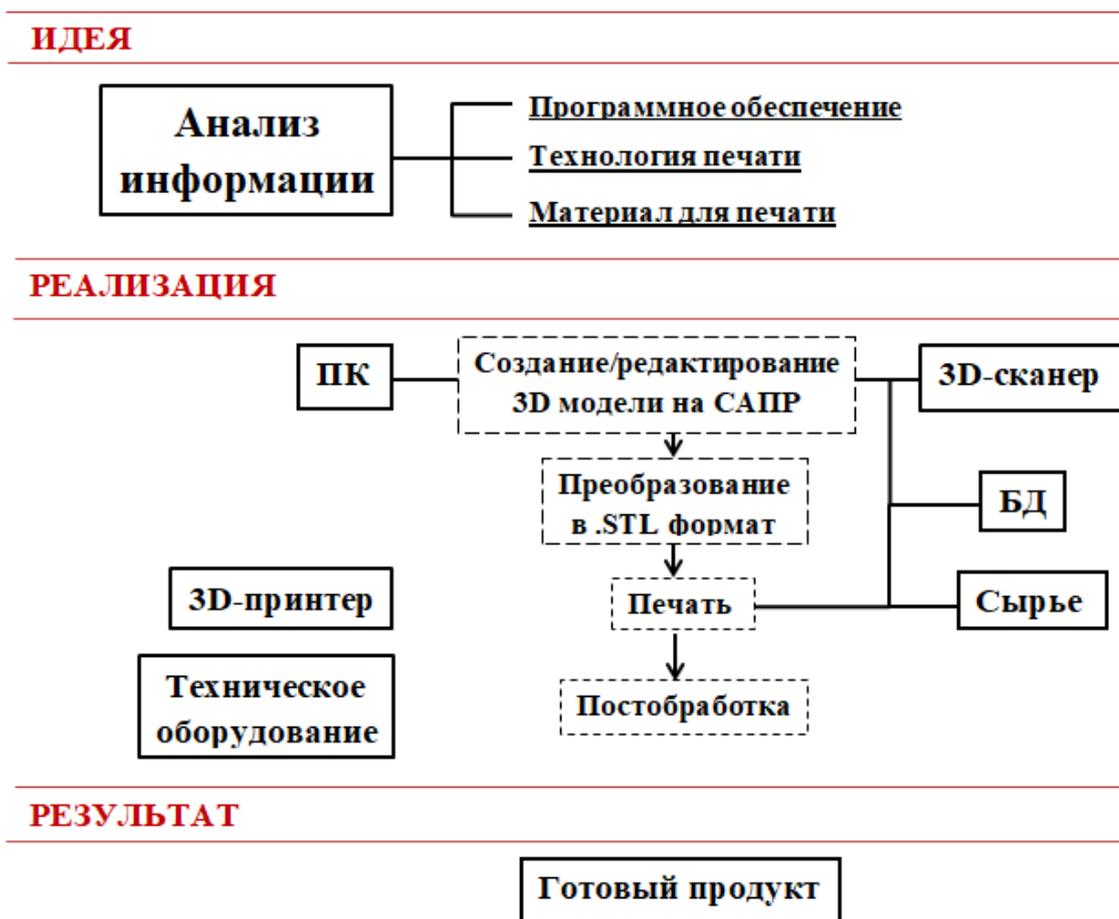
В связи с тем, что основная проблема масок это отсутствие герметичности, то это необходимо учесть при проектировании многоцветной маски. Перед нами также стоит задача обеспечения легкой обработки поверхности многоцветной маски дезинфицирующими средствами.

2. Практическая часть

2.1. Типовая модель реализации трехмерной печати

Для понимания поэтапного процесса проектирования многоразовой маски, мы представляем типовую модель реализации трехмерной печати в аддитивном производстве с момента зарождения идеи до конечного изделия:

Типовая модель реализации трехмерной печати



2.2. Процесс проектирования 3D модели многоразовой маски

Создания трехмерной модели начинается с создания основополагающего чертежа и создания двух или множества 2D-эскизов. Создается чертеж в плоскости XZ, изображенный на рисунке 14. Проводится построение кривой сплайна через заданные точки и корректируется по необходимости. Затем при помощи команды «зеркальное отражение» создается симметричная копия относительно проложенного отрезка прямой. Все отрезки, накладываемые на двухмерных эскизах, помечаются как «вспомогательные линии».

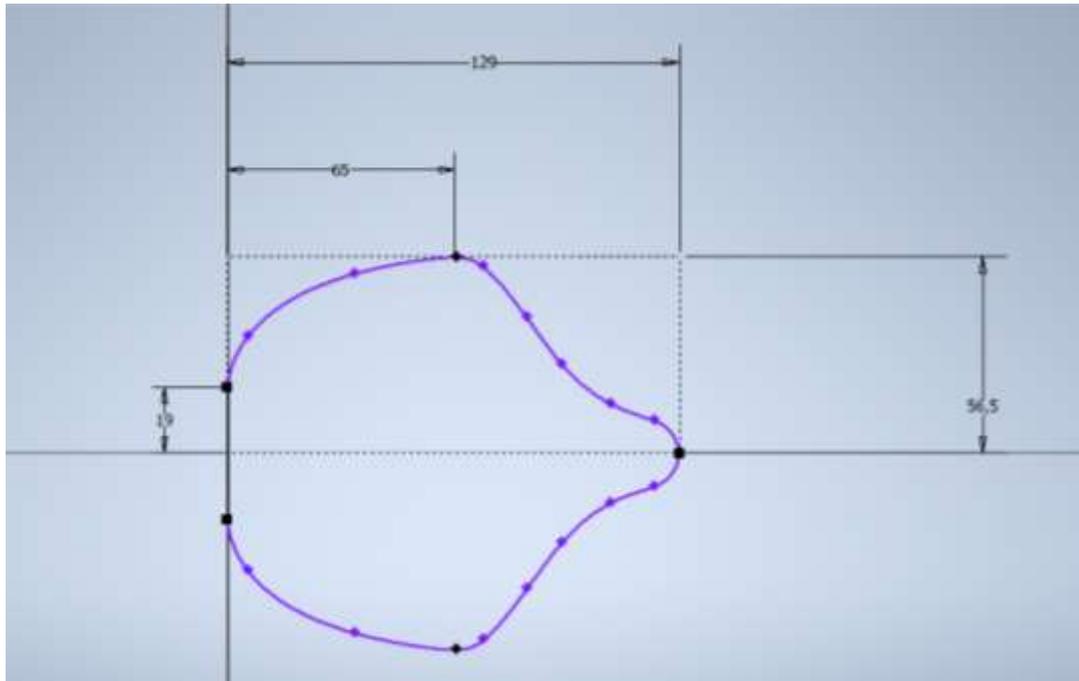


Рисунок 14. 2D-эскиз в плоскости XZ

Для создания трехмерного объекта необходимо создавать эскизы в различных плоскостях. Поэтому совершается переход в плоскость YZ и откладываются заданные 47 мм согласно чертежу проекта (рисунок 15).

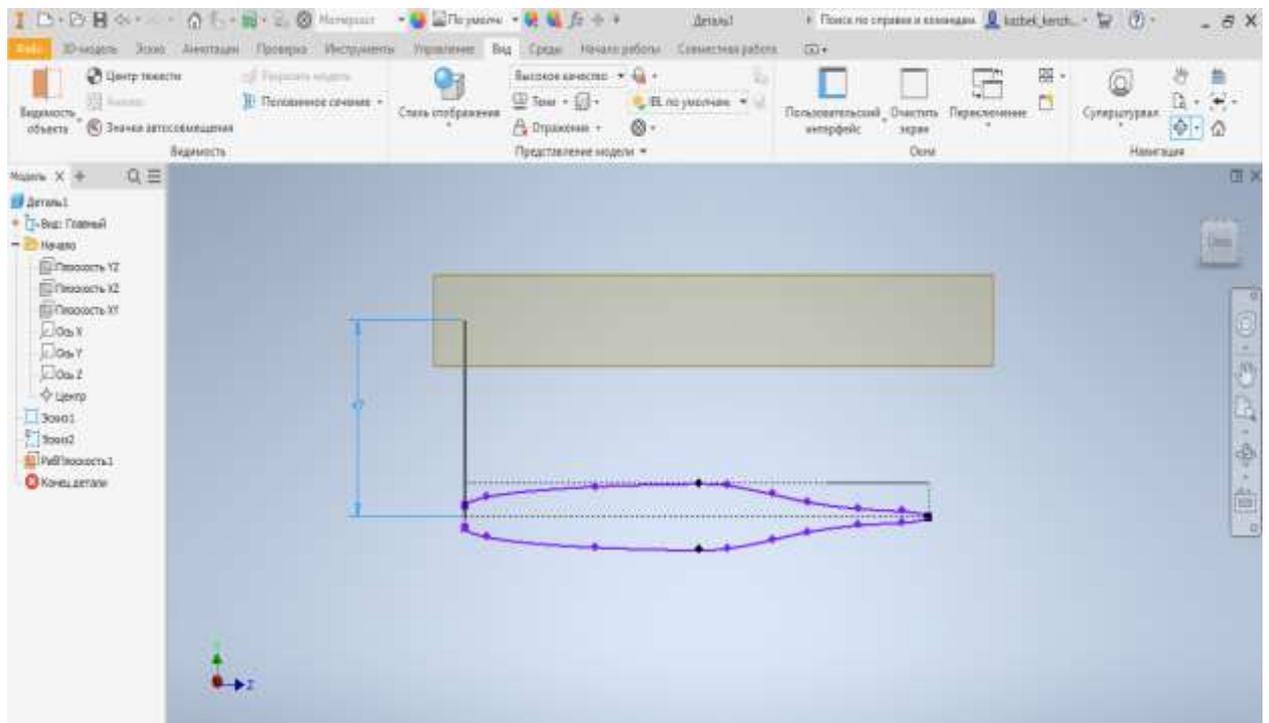


Рисунок 15. Начало чертежа в плоскости YZ

Далее совершается переход в плоскость XY и создается часть маски, которая будет касаться нижней части лица, в области подбородка. Также проводится построение кривой сплайна через выбранные точки, изображенные на рисунке 16, и создается симметричная часть. Данный эскиз будет являться основанием маски, следовательно, первые слои с 3D-принтера будут накладываться в этой области.

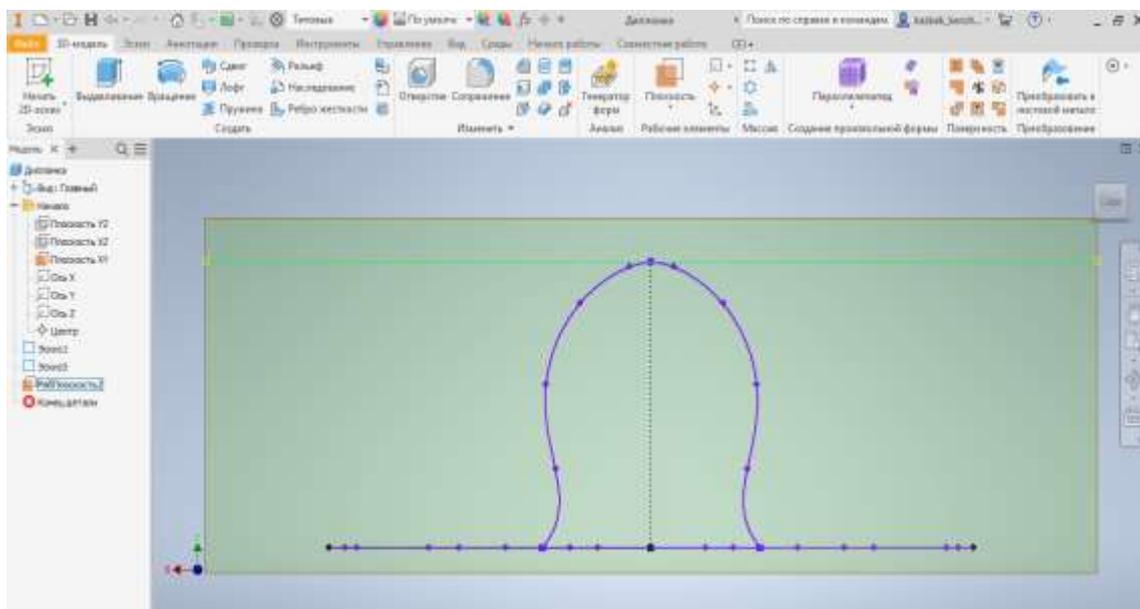


Рисунок 16. Создание 2D-эскиза в плоскости XY

Следующий шаг – возврат в плоскость YZ, и при помощи сплайна на основе указанных управляющих вершин создается отрезок, изображенный на рисунке 17, который будет соединять имеющиеся эскизы.

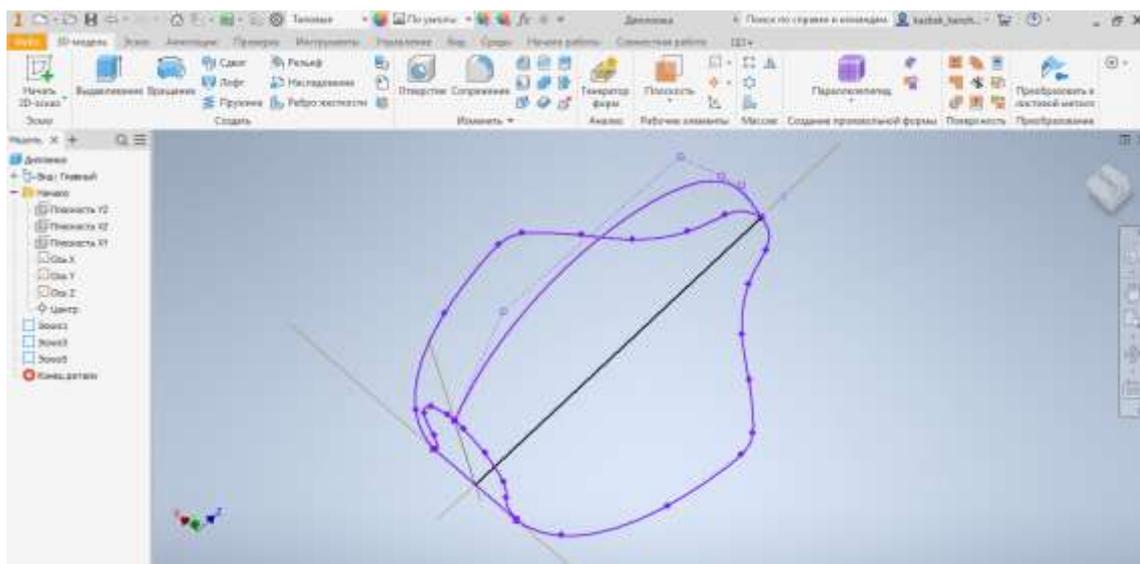


Рисунок 17. Продолжение 2D-эскиза в плоскости YZ

Однако для создания полноценного твердого тела необходимо выполнить операцию «Лофт». «Лофт» - это создание переходной формы или твердого тела, для которого необходимо два или более непересекающихся эскиза. Поэтому создаются дополнительные плоскости с множеством эскизами по вспомогательным отрезкам, проведенным в первом эскизе плоскости XZ. Один из первых таких эскизов изображен на рисунке 18.

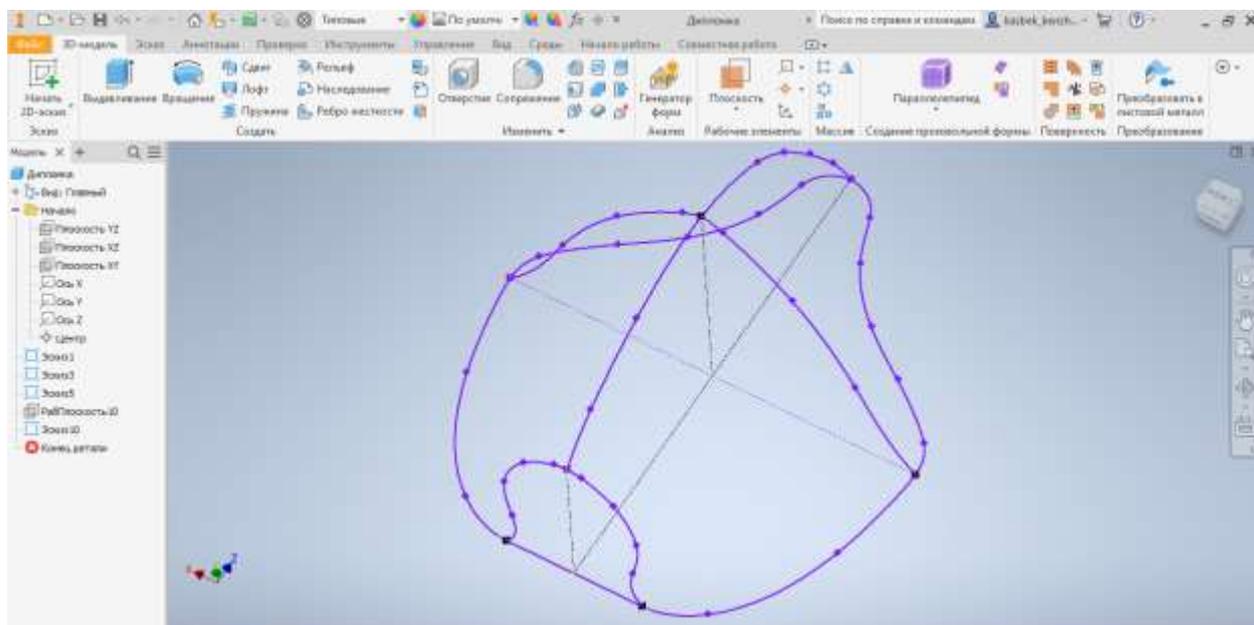


Рисунок 18. Создание одного из множества 2D-эскизов в плоскости XY

Для придания формы используют ранее применяемую команду «Слайн» и «Зеркальное отражение» по заданным точкам интерполяции первого эскиза. В результате получается множество плоскостей, которые придают необходимую форму будущего трехмерного объекта. Такое количество двумерных эскизов, на рисунке 19, также позволит корректировать форму 3D-объекта с учетом индивидуальных форм лица человека.

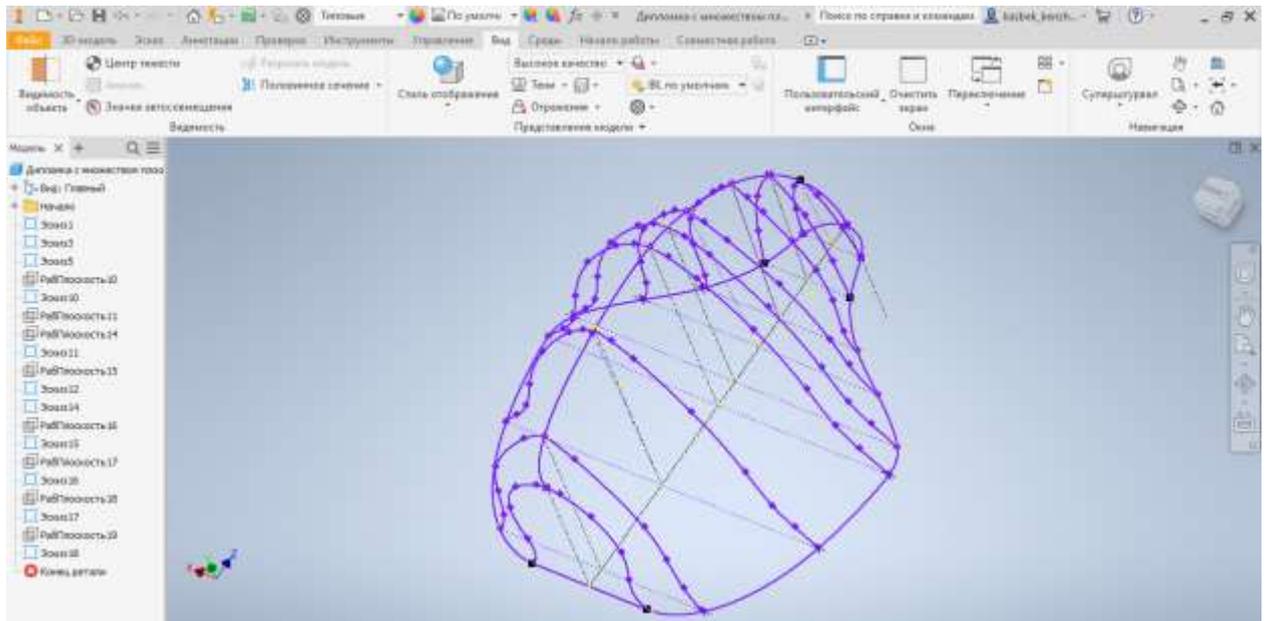


Рисунок 19. Множество двухмерных эскизов для создания твердого тела

После создания необходимых плоскостей для придания формы переходим к выполнению последующей операции – «Лофт». Лофт проводится по направляющим сплайна с выбором вывода твердого тела. Полученный трехмерный объект изображен на рисунке 20.

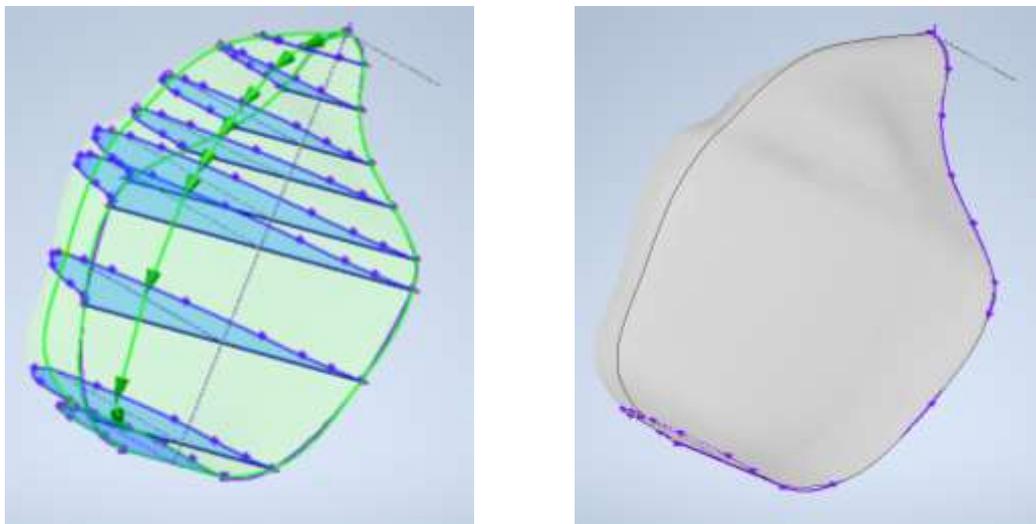


Рисунок 20. Выполнение операции по созданию твердого тела

Далее выполняется команда «Оболочка», изображенная на рисунке 21, с целью удаления грани для входа лицевой части и установки толщины в 2 мм.

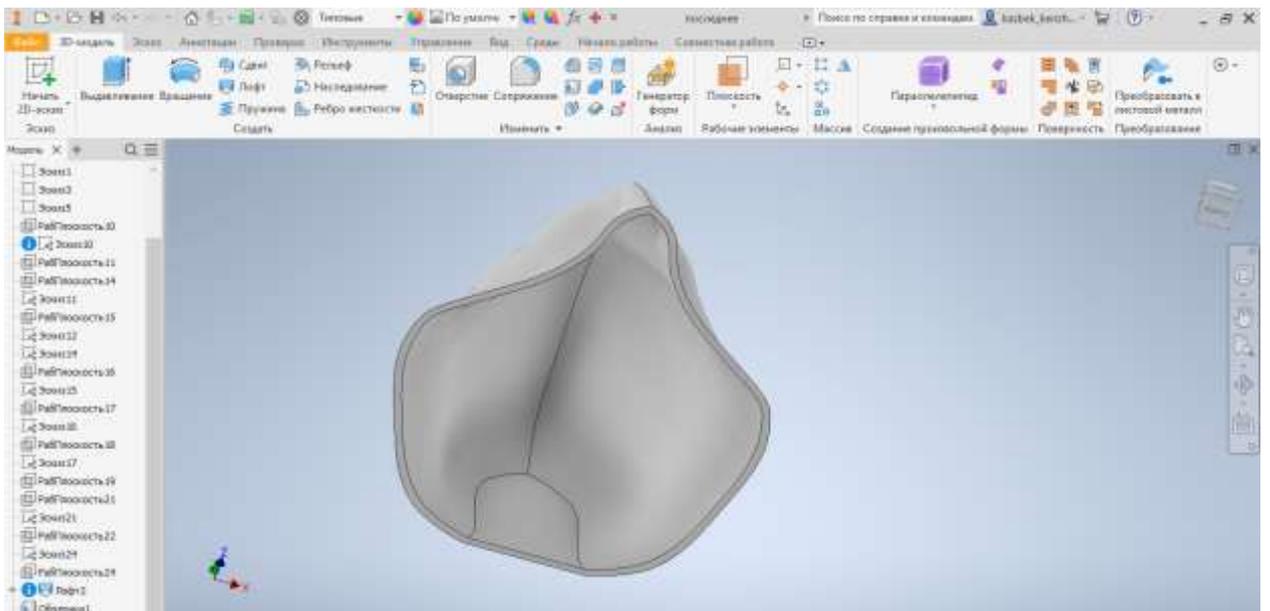


Рисунок 21. Вид на внутреннюю часть 3D-объекта, после «Оболочки»

Также для облегчения входа лицевой части проводят боковую корректировку маски при помощи функции «Разделить». Главная задача на этом этапе удалить лишний материал и подогнать контурные линии маски к форме лица. Сначала создается 2D-эскиз, показанный на рисунке 22.

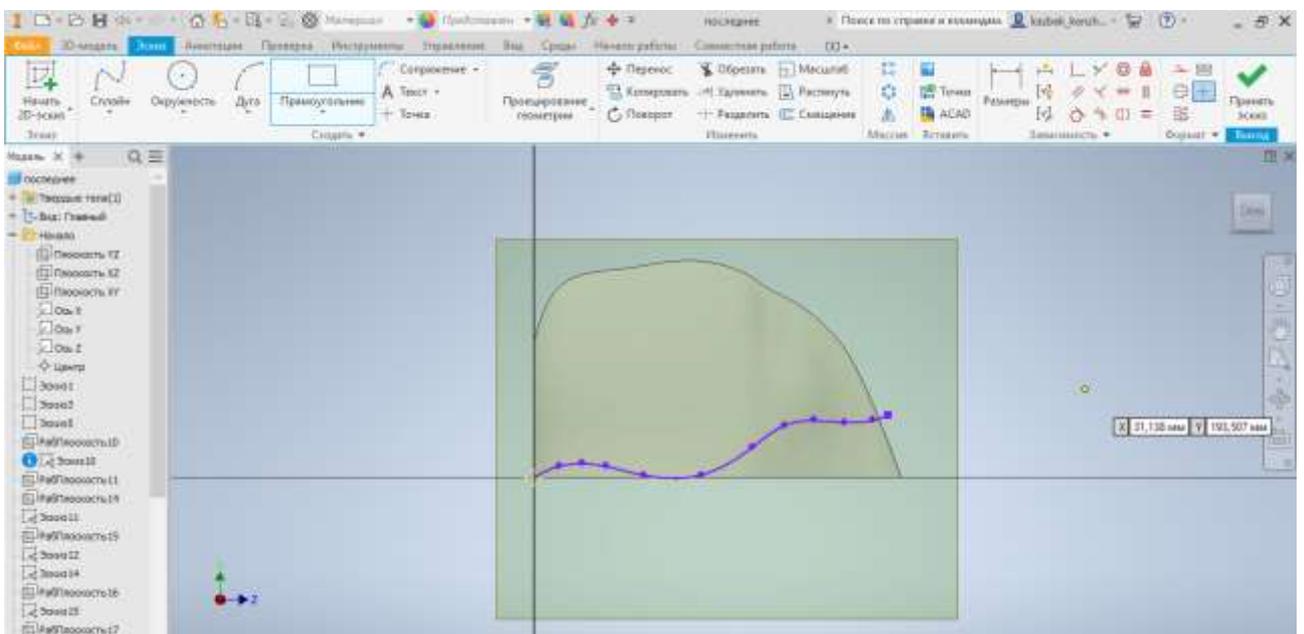


Рисунок 22. Создание боковой плоскости и 2D эскиза

Следующим шагом выполняется «Разделение». В качестве инструмента выступает 2D-эскиз, а в качестве объекта выступает все тело. Разделение тела и его сохранение происходит в противоположную сторону, что отмечается красной стрелкой. Иллюстрация продемонстрирована на рисунке 23. Стоит

упомянуть о том, что при построении трехмерного объекта очень важно проецировать элементы 2D-эскизов для их связывания. Это также поможет воспроизводить корректировку формы модели. Проецирование осуществляется путем команды «Проецирование геометрии».

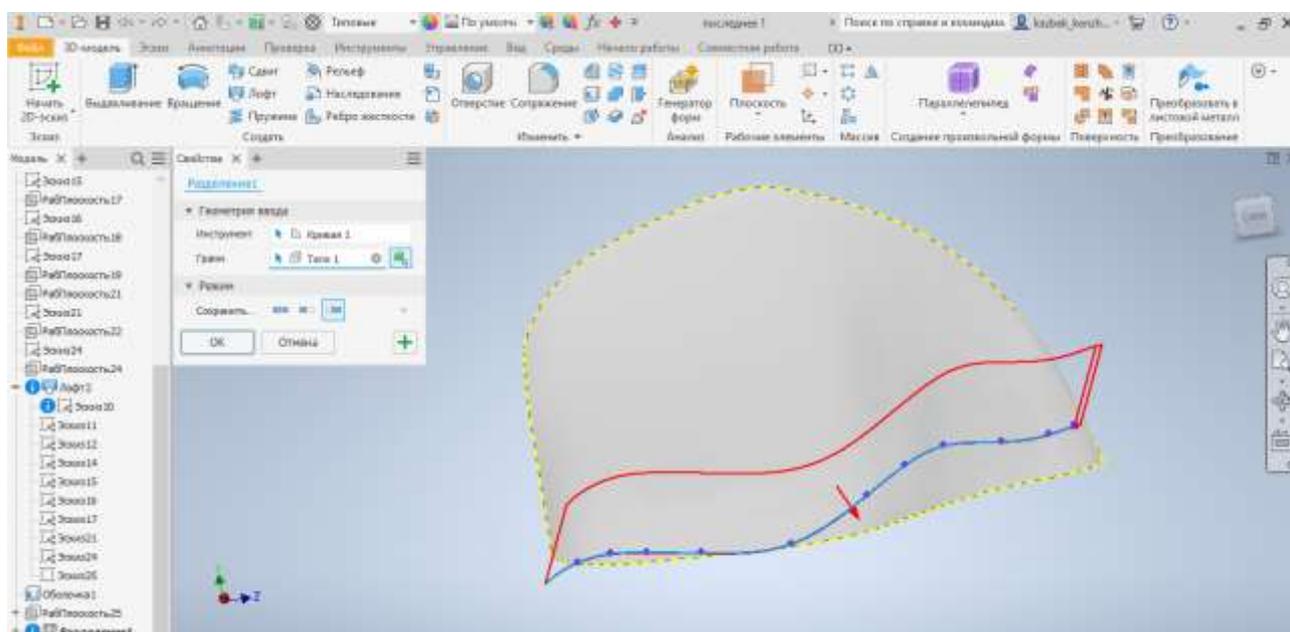


Рисунок 23. Операция «Разделение»

Следующим этапом трехмерного моделирования многоразовой маски станут отверстия для установки фильтров. Для этого необходимо задать 3 точки при помощи 3D-эскиза и создать плоскость максимально параллельную одной из сторон маски. На новой плоскости создается 2D-эскиз, как на рисунке 24, окружности с диаметром 45 мм. Следующей командой выполняется выдавливание одновременно во внутреннюю и внешнюю стороны маски по 5 мм.

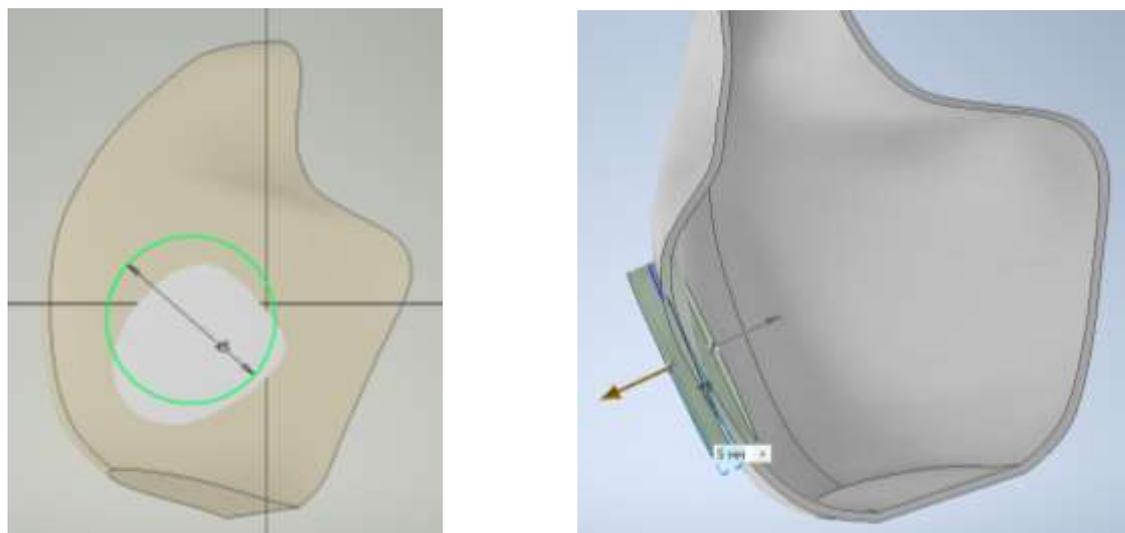


Рисунок 24. Создание цилиндра из эскиза окружности

У полученного цилиндра отмечается грань в виде окружности. Выполняется команда «Отверстие» с диаметром 40 мм, продемонстрированном на рисунке 25.



Рисунок 25. Создание отверстия для фильтров

Далее при помощи команды «Сопряжение» скругляются грани отверстий для фильтров маски, а используя команду «Резьба» создается винтовая линия на внутренней поверхности полого цилиндрического элемента для вращения и крепления элементов фильтра. Результаты видны на рисунке 26.

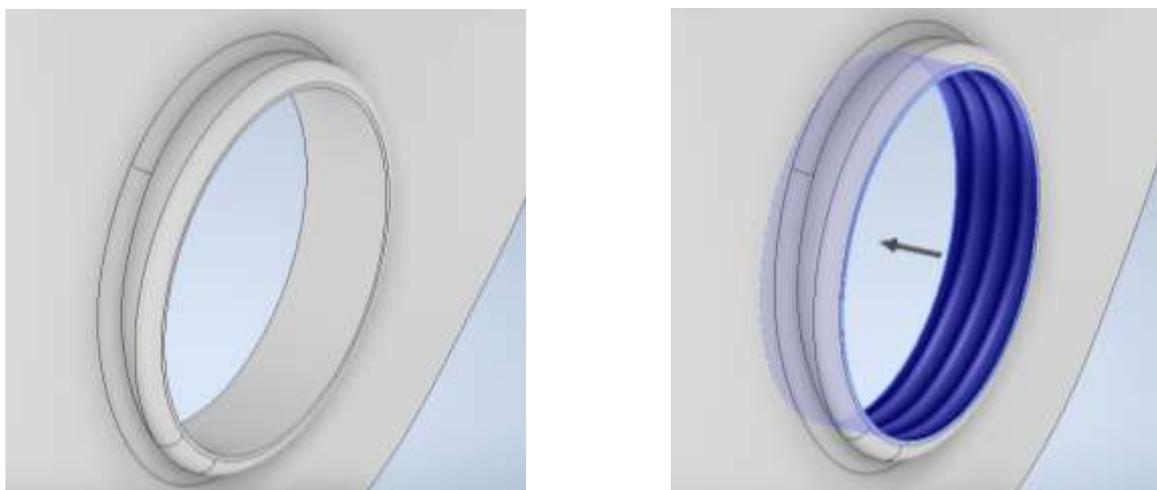


Рисунок 26. Результат сглаживания и нанесение резьбы

Для создания идентичного отверстия на другой стороне маски воспроизводят ранее применяемую команду «Зеркального отражения», для этого необходимо выделить все элементы которые были выполнены для имеющегося отверстия. В качестве плоскости симметрии выступит известная плоскость YZ (рисунок 27). Процесс проектирования модели маски окончен.

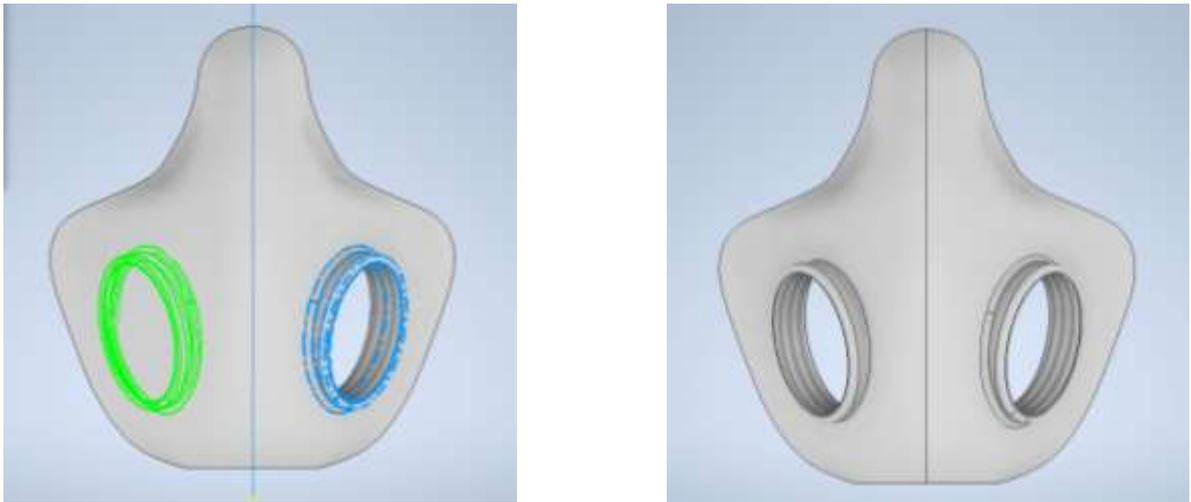


Рисунок 27. Результат операции «Зеркальное отражение»

2.3. Процесс проектирования модели фильтра.

Преступая к созданию фильтра необходимо отредактировать отверстие внутренней стороны маски, а именно изменить расстояние с 5 мм до 3 мм, тем самым создать ограничительную поверхность, на которой создается эскиз в виде пазов, центральная точка которых сводится к центру окружности отверстия. Маска принимает вид, изображенный на рисунке 28.

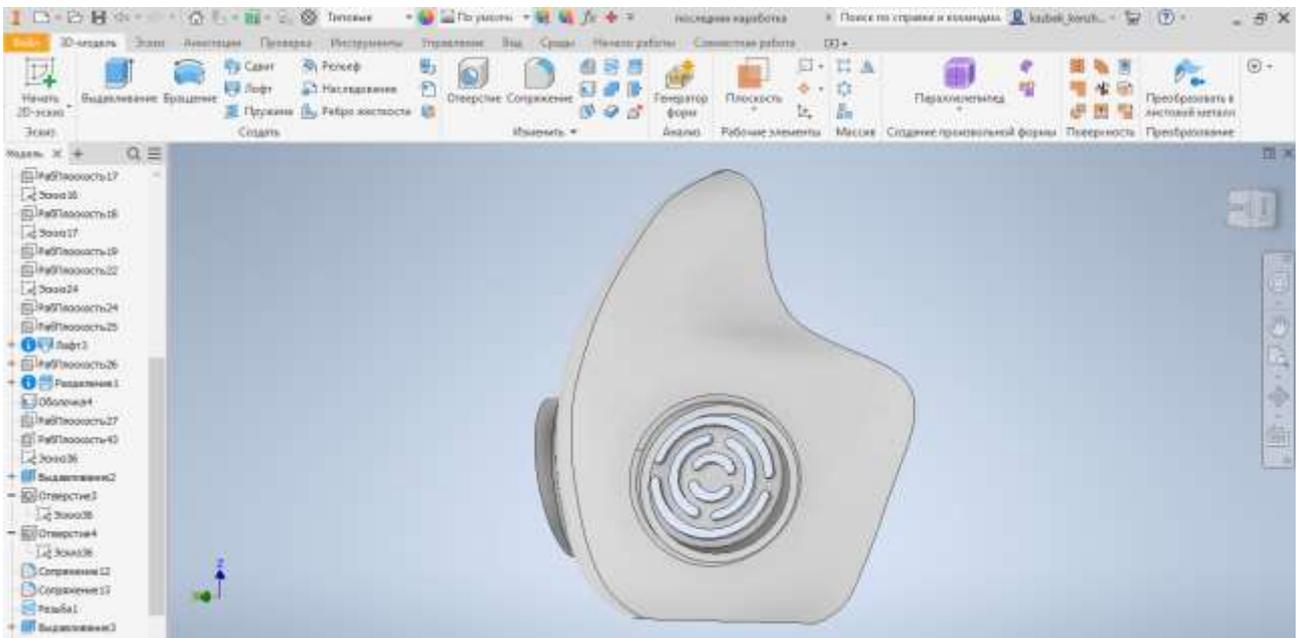


Рисунок 28. Поверхность с пазами внутри отверстия

Полученное отверстие необходимо перенести на симметричную сторону маски при помощи «Зеркального отражения». Данное преобразование необходимо для поддержания фильтрующего материала.

Следующий этап – создание отдельных деталей устройства фильтра. Фильтр будет состоять из внутреннего винтового элемента, кольца, закручивающейся крышки и уплотнительной резинки. Элементы, которые будут проектироваться изображены на рисунке 29.

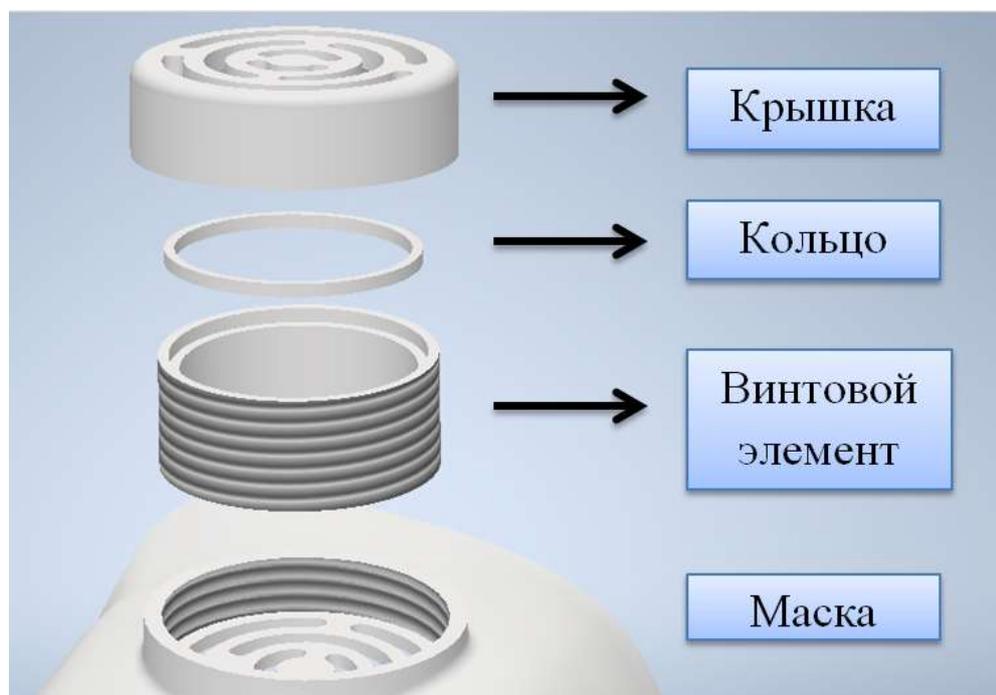


Рисунок 29. Элементы фильтра

Создание винтового элемента начинается с 2D-эскиза окружности радиусом 39 мм. Далее путем операции «Выдавливание» создается цилиндр длиной 16 мм. На наружной поверхности цилиндра наносится «Резьба» идентичная той, что находится внутри отверстия маски. Команды выполнены соответственно и изображены на рисунке 30 слева направо.

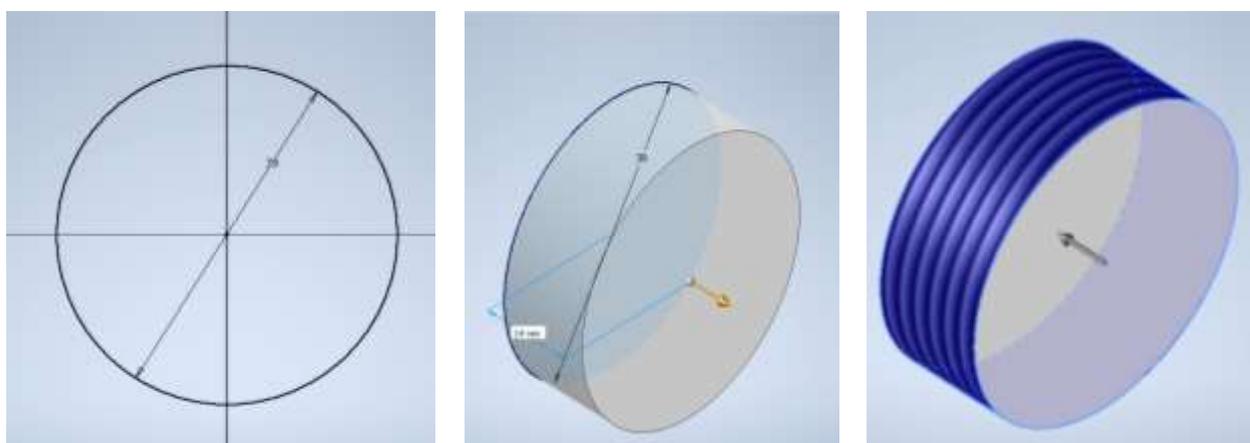


Рисунок 30. Создание 2D-эскиза, «Выдавливание», «Резьба»

Внутри прodelываются два отверстия, первое глубиной 1,9 мм и с диаметром 36 мм и второе с диаметром 33 мм насквозь. Данная операция проводится с целью возможности вставки другого элемента фильтра – кольца, обеспечивающего фиксацию фильтрующего материала в данном месте. Винтовой элемент готов:

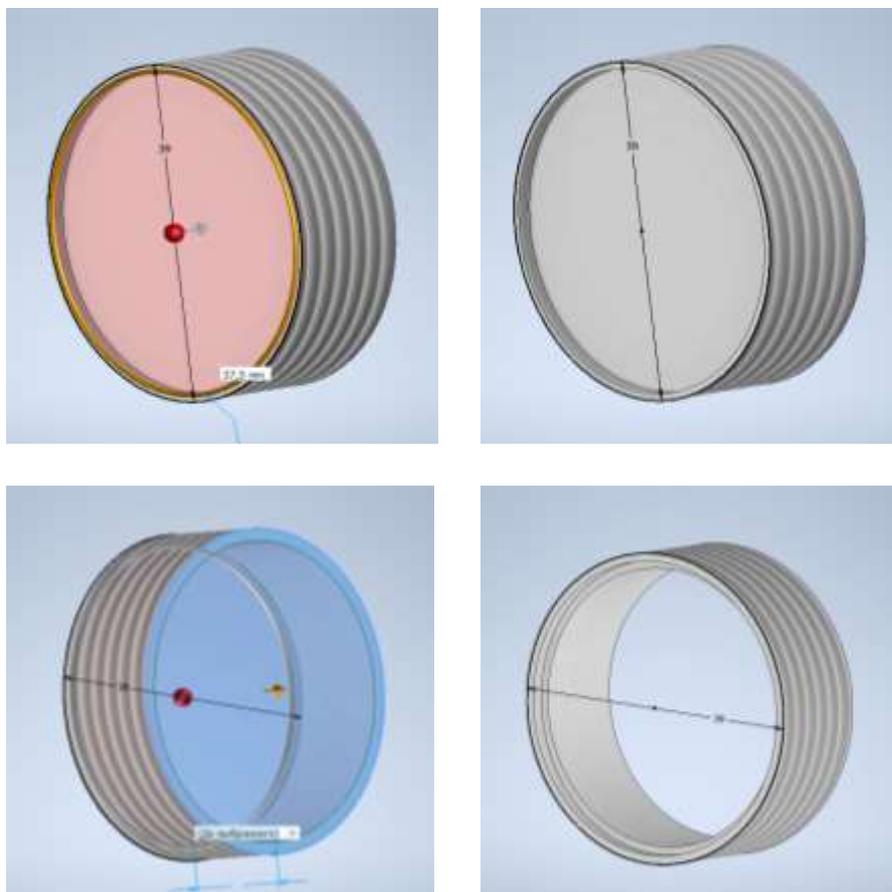


Рисунок 31. Создание винтового элемента

Следующий шаг – трехмерное моделирование кольца диаметром 35,9 мм. Создается 2D-эскиз окружности с заданным диаметром. Воспроизводится выдавливание в 1,9 мм и отверстие диаметром 33 мм.

Моделирование крышки. Создается окружность в виде эскиза на плоскости диаметром 45,5 мм. Осуществляется выдавливание на расстояние 13 мм, в нем отверстия диаметром 40 мм и глубиной 10 мм. На окружности большего диаметра наносится эскиз с множеством пазов, идентичный рисунку внутри отверстия маски. В этом эскизе воспроизводится выдавливание с удалением на расстояние 3 мм. Крышка разрабатывается с закрытием цилиндра отверстия маски, поэтому возникает необходимость дополнительного отверстия с диаметром 42 мм и глубиной 2 мм на внутренней части разрабатываемого трехмерного объекта. Резьба наносится на внутренней поверхности отверстия диаметром 40 мм.

Для внешнего вида осуществляется сопряжение наружной поверхности крышки. Готовый трехмерный объект изображен с двух сторон на рисунке 32.

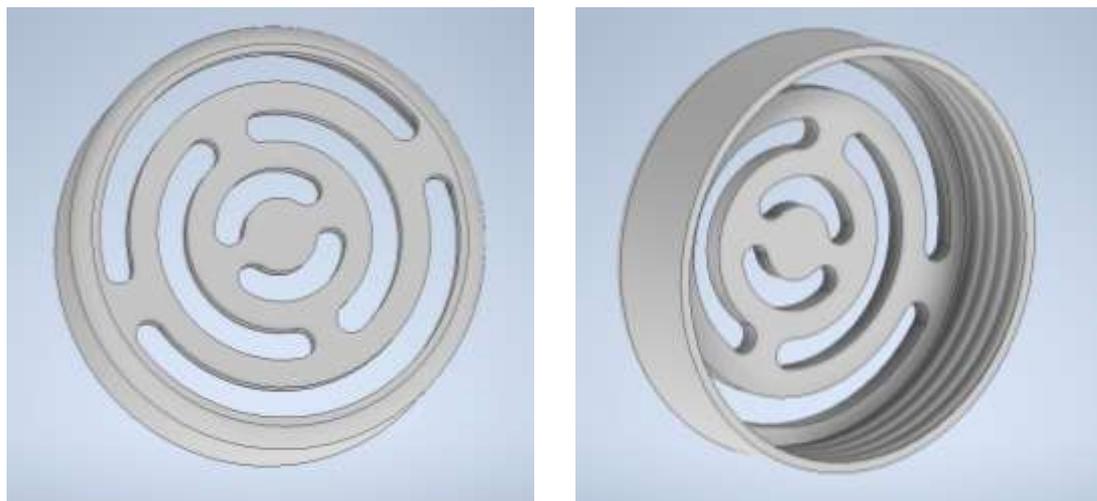


Рисунок 32. Вид на 3D-модель крышки спереди и сзади

Далее каждый по отдельности разработанный объект в виде деталей переносится в «Сборку» программы. Плавное соединение каждой детали, которое визуально выглядит как закручивание, подтверждает правильность и возможность сборки реальных объектов, изготовленных 3D-печатью.



Рисунок 33. «Сборка» фильтра

Так как главный недостаток большинства тканевых масок это отсутствие герметичности в виде не плотного прилегания к линиям лица, то одним из элементов устраняющих это будут являться держатели, изображенные на рисунке 34. Для этого они будут устанавливаться снаружи, на поверхности маски. Первый шаг – создание креплений. Создаются чертежи на плоскости. Одна окружность 7 мм, вторая, являющаяся продолжение первой 10 мм. Применяются команды, используемые ранее. Вид на полученные крепления:

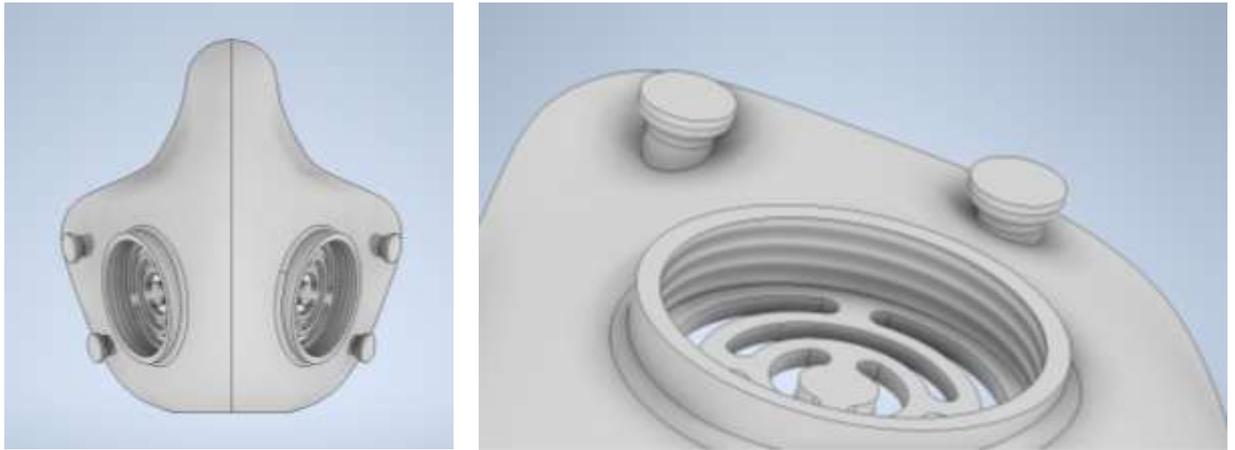


Рисунок 34. 3D-модель держателей

Второй шаг в этом процесс проектирования – это разработка креплений. Создается, указанный на рисунке 35, чертеж. По нему выполняются следующие друг за другом команды выдавливания, удаления, скруглений.

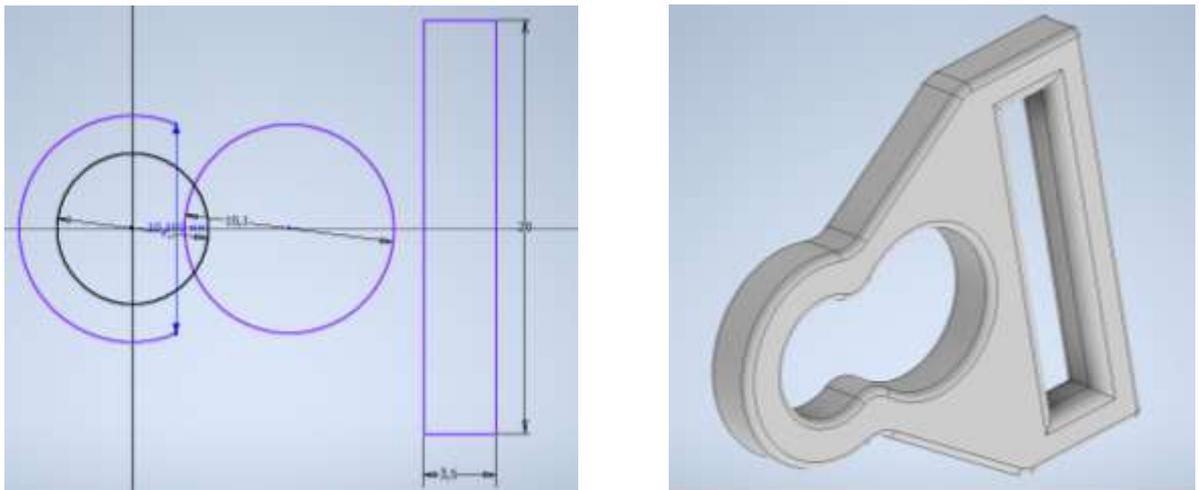


Рисунок 35. Чертеж и 3D-модель креплений для маски

На этом трехмерное моделирование многоразовой маски и фильтра завершено.

2.4. Эффективность маски, изготовленной посредством аддитивных технологий. Постобработка

Главная цель, которая стоит перед нами это профилактика заболеваний, в том числе COVID-19, при помощи многоразовой маски. Поэтому, для обеспечения эффективности маска должна быть герметичной, а единственным местом прохождения воздуха должен выступать фильтр. Технология печати дает понять насколько плотно накладываются слои. 3D-принтеры FFF или FDM

создают объекты, помещая тонкие слои материала друг на друга. Этот процесс довольно несовершенен и может оставить зазоры в материале, которые могут пропускать воздух и другие частицы.

Невооруженным глазом может показаться, что это не так, но были рассмотрены исследования [36], в которых продукты, напечатанные методом FDM, были рассмотрены под микроскопом. Поверхность изделия на самом деле полна крошечных отверстий. На рисунке 36 изображены фотографии, которые были сделаны с помощью микроскопа, для лучшей иллюстрации.



Рисунок 36. Отверстия на поверхности изделия из PLA

Слои, которые составляют 3D-печать, могут иметь зазоры толщиной от 6 до 8 микрон. Вирусы имеют размеры в 200 раз меньше, примерно от 0,2 до 0,03 микрона в диаметре, размеры вирусов семейства коронавирусы приблизительно от 0,16 до 0,1 микрона в диаметре. Эта проблема была бы решена, если бы был доступ к принтеру на основе порошка или смолы с материалами медицинского класса. Однако такие высокотехнологичные принтеры имеют высокие цены.

Еще одна проблема с поверхностью, оставленной 3D-принтером низкой ценовой категории, заключается в том, что она шероховатая (рисунок 37). Любая поверхность, напечатанная из PLA или ABS, на принтерах низкого качества имеет шероховатости, которые могут стать средой для вирусов и бактерий. Чистка и дезинфекция таких поверхностей затруднительна.

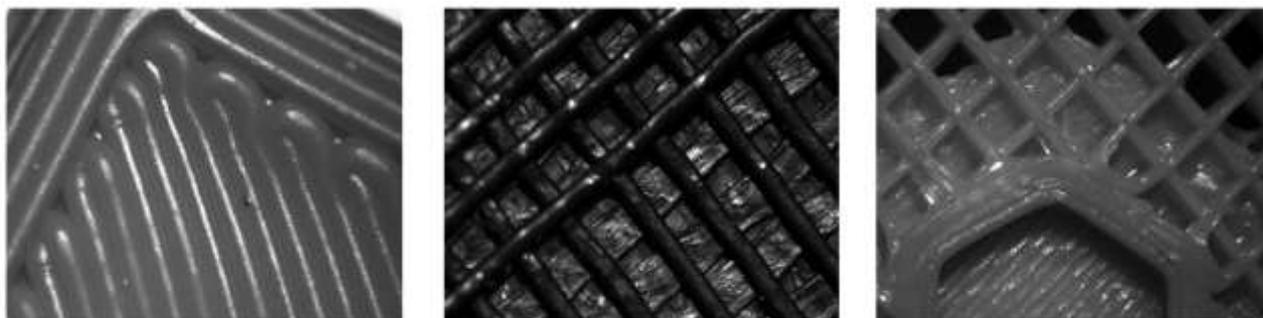


Рисунок 37. Шероховатая поверхность PLA под увеличением

Однако, все вышеперечисленные проблемы можно довольно легко преодолеть, изменив фактическую поверхность 3D-печати. Этот процесс довольно прост, и описан во многих обучающих источниках связанных с трехмерной печатью. Он называется постобработкой.

Первым шагом, конечно, является печать модели. Модель выйдет из принтера довольно шероховатой и с неравномерной поверхностью. Единственное, на что требует обратить внимание на данном этапе это калибровка платформы и организация печати в целом. Так как микронные зазоры на поверхности практически невозможно избежать с помощью 3D-принтеров FDM низкой ценовой категории. Поэтому желательно использовать принтер FDM наилучшего качества, чем он лучше, тем меньше микронных зазоров образуется, вплоть до полного отсутствия.

Шаг 2: Отшлифовать поверхность 3D-печатной модели.

Лучший способ сделать это – влажная шлифовка под холодной водой. Если отшлифовать пластик без воды, существует риск расплавить или деформировать сам пластик. Для начала можно использовать грубую наждачную бумагу, а затем постепенно переходить к наждачной бумаге с более высокой зернистостью. Шлифовать можно до того момента пока не получится гладкая поверхность.

Третий шаг - добавить наполнитель, можно использовать универсальную наполнительную пасту (пульпа древесная), обычно используемую для формования декоративных изделий из древесины или ее заполнения. Пасту необходимо втирать медленно по всем возможным зазорам в маске и в значительной степени покрывая всю маску. В принципе на данном этапе микрометрические зазоры должны быть устранены. Стоит отметить, что во многих источниках для герметизации просто используют эпоксидную смолу, однако так как мы изготавливаем многоразовую маску, то применение материалов или их соединений, которые могут быть потенциально токсичными исключено. Пульпа же состоит из экологически чистого сырья без вредных для здоровья человека примесей. Использование готовой продукции не должно вызывать аллергических реакций. Как только наполнитель высохнет, необходимо снова отшлифовать поверхность. Это в основном тот же процесс, что и при первом шлифовании, только без использования воды. В данном конкретном случае длительный контакт наполнителя с водой, под механическим воздействием, сделал бы поверхность вновь пастообразной.

Четвертый шаг: покраска с использованием грунтовки, акриловой краски и лака. Наносится два ровных слоя пластиковой грунтовки (жидкий пластик), а затем два слоя акриловой белой краски, которая высохнет, образуя твердую оболочку вокруг печатной части. После правильного нанесения пульпы и жидкого пластика наличие микрометрических зазоров исключено, но нанесение акриловой краски, а затем акрилового лака на водной основе, добавит дополнительный слой к детали. Такую поверхность можно легко очистить и продезинфицировать с помощью спирта, перекиси водорода или других дезинфицирующих веществ.

Следующий шаг это нанесение резинового уплотнения по краю маски. Для этого предварительно необходимо отшлифовать края до нанесения наполнителя, грунтовки, краски и лака. Поверхность должна быть чистой и обезжиренной, чтобы приклеить резиновое уплотнение. Взяв резиновое уплотнение, нет необходимости быть слишком точным, так как можно отрезать необходимую длину после завершения постепенного приклеивания уплотнителя по всему краю маски. Начинать рекомендуется с самого низа, так это лучшая позиция, чтобы оставить последний зазор, который нужно будет приклеить в конце. В конце необходимо нанести клей и прижать к друг другу ровно отрезанные концы уплотнителя.

Сборка фильтра. Теперь закончив маску, можно перейти к сборке фильтра. В сборке фильтра есть 5 основных частей: винтовой элемент, крышка, кольцо, фильтрующий материал и резиновое уплотнительное кольцо. Для того чтобы фильтр выполнял свою работу, он не должен пропускать частицы через любую часть сборки, кроме фильтрующего материала. Для этого существует кольцо, которое прижимается к фильтрующему материалу и не пропускает воздух. Кольцо прижимается на месте, где завинчивается крышка. Внутри винтового элемента было разработано достаточно места, чтобы поместить внутрь фильтрующий материал и затем закрепить его кольцом.

Первым шагом является размещение фильтрующего материала внутри отверстия маски и закреплением между винтовым элементом и ограничительным элементом с пазами. Затем помещают еще один фильтрующий материал и закрепляют его кольцом. В конце плотно закручивается крышка, предварительно подложив уплотнительное резиновое кольцо. Не исключено применение смазывающих материалов.

Отдельное внимание необходимо уделить дыхательным маскам, а именно на то, как они на самом деле работают. Маски, наподобие респираторов N95 или хирургической маски, работают, имея слой переплетенной ткани, который остановит частицы, проходящие через нее. Как упоминалось ранее, вирус может быть крошечным, поэтому, должен быть баланс между воздухопроницаемостью и фильтрацией. Невозможно сделать фильтр, который будет улавливать 100% частиц, потому что он также не будет пропускать через себя достаточно воздуха. Эти маски преодолевают это не за счет наличия действительно плотных фильтров, а за счет наличия нескольких слоев фильтрации. Частица, пытающаяся проникнуть в маску, была бы подобна стреле, выпущенной через лес деревьев. Стрела пролетит пару метров, но в конечном итоге попадет в дерево на пути к цели.

Фильтрующий материал для маски из СМС или фильтр из N95 являются проверенными вариантами. Также можно использовать мешок для пылесоса или фильтр НЕРА (фильтр высокой эффективности, часто используют для пылесосов). Его можно поместить во внутреннюю часть винтового элемента. Стоит отметить, что фильтры НЕРА обычно поставляются с рейтингом, написанным на них, в зависимости от типа фильтра и его целевого назначения, он будет обеспечивать достаточным уровнем фильтрации. Тем не менее, есть

очень важное различие между хирургическими масками и респираторами N95, это тот факт, что респиратор N95 фактически создает более плотное уплотнение вокруг лица и носа, в то время как хирургическая маска просто свободно прилегает. Это также обеспечивает высокую эффективность масок респираторов, как и более плотный слой СМС, а также наличие фильтра. В конечном счете, хирургические маски малоэффективны в среде, где вирусные частицы могут парить в воздухе. Ничто не мешает воздуху проникать в ваши легкие через промежутки, которые маска оставляет вокруг лица. Поэтому носить маску на улице не считается целесообразным, особенно при сильном ветре.

Для мягкого и плотного прилегания 3D-печатной маски, а также обеспечения дополнительной герметичности по краю маски наносились резиновые материалы, которые располагаются по краю маски. В качестве таких материалов можно использовать резиновую ленту для обивки окон, которые используются для предотвращения проникновения воздуха через крошечные зазоры в окнах.

2.5. Фильтрующий материал в зависимости от вида деятельности

Как можно было заметить, в представленной работе существует возможность применения двух фильтровых материалов для профилактики инфекционных заболеваний. Фильтрационные возможности маски, со сборочным фильтром, и способы ее применения зависят от выбранного фильтрующего материала.

Из большого разнообразия фильтрующих материалов можно прийти к выводу, что универсальный материал отсутствует, по причине целевого назначения. СИЗ используют в промышленности, строительстве, в шахтах, на производственных процессах, при работе с определенными агентами, ядохимикатами на химически вредных предприятиях, в медицине, быту, при покрасочных работах и др. Для медицинского применения, и в частности профилактики COVID-19, предлагается использовать наиболее эффективные по уровню фильтрации материалы, которые применяют для масок-респираторов N95 и хирургических масок. Как говорилось ранее, встроенные фильтры N95 не защищают окружающих, поэтому целесообразным будет объединить данные материалы. Однако существует вероятность, что будет ощущаться значительное сопротивление дыханию, которое будет оказывать влияние на сосуды, показатели давления и в целом сердечнососудистую систему. Все это требует дополнительных исследований.

Для использования в быту, при покрасочных работах, фабриках, заводах наиболее популярный фильтр – угольный фильтр. Такие фильтры содержат сорбент, поглощающие вредные вещества. Степень защиты зависит от производителя. Фильтр может задерживать только крупные твердые частицы, а может обладать самым высоким классом защиты, спасая от вирусов. Адсорбционные фильтры часто бывают двух типов, для тканевых масок это

вкладыши из нетканого материала, а для масок с фильтровым устройством – патроны с угольным фильтром.

Еще одним СИЗ, который представляет интерес, является противогаз. Одна из популярных гражданских моделей, которая должна была выдаваться населению при ЧС, это ГП-5. Конечно же, многоцветная маска не выполняет все функции противогаза, однако стоит взглянуть на устройство фильтра ГП-5, который представлен на рисунке 38.

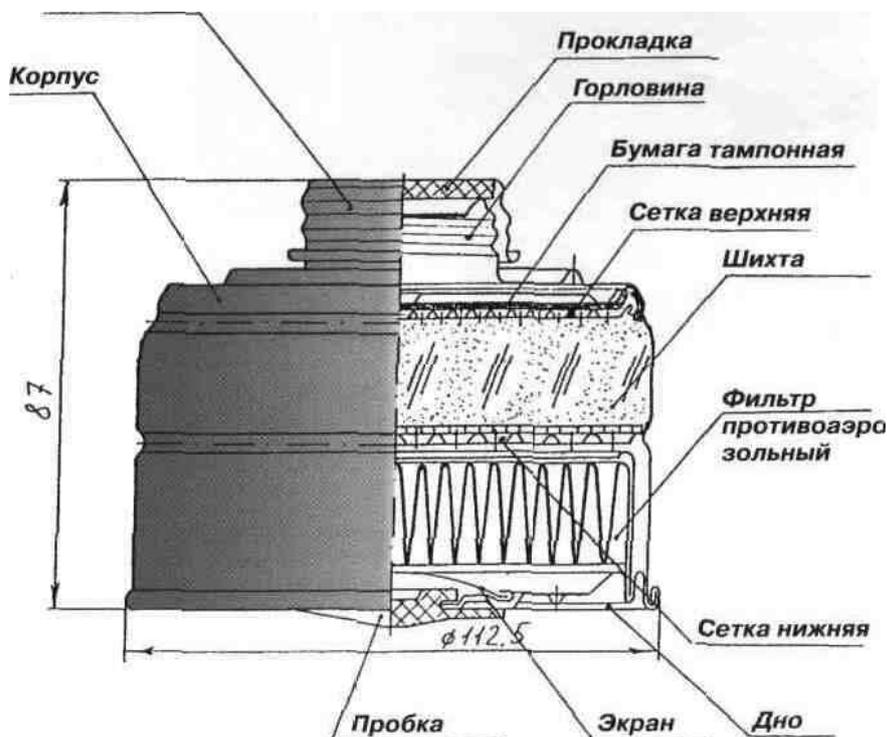


Рисунок 38. Устройство противогаза в разрезе

Особый интерес представляют шихта и основной фильтр. Шихта занимает почти половину из всех слоев в противогазе. Это высокоэффективный сорбент, состоящий из активного угля с хемосорбционными и каталитическими добавками (как правило оксиды металлов), введенными в макро- и мезопоры. Эту часть фильтра называют противогазной. Что касается фильтра, занимаемого также значимую часть внутри противогаза и похожего на современные фильтры HEPA, то ее называют противоаэрозольной. Эти данные представлены в качестве перспективы доработки фильтра или возможности заполнения его винтового элемента.

Заключение

В ходе выполнения дипломной работы все поставленные перед нами задачи были выполнены. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Освоены навыки работы с программным обеспечением по трехмерному моделированию и разработана концептуальная трехмерная модель многоразовой маски. В работе подробно описан процесс проектирования, который сопровождался необходимыми чертежами и иллюстрациями.

2. Была спроектирована модель сборного фильтрующего механизма для многоразовых масок. Процесс описан в полном объеме, что позволяет так же, как и в случае с моделью маски самостоятельно воспроизвести трехмерное моделирование исследуемого объекта. Также выполнен анализ наиболее подходящего фильтрующего материала для многоразовой маски в зависимости от целевого назначения.

3. Проведенный анализ технологий, а также организации печати, позволила спрогнозировать успешную печать многоразовой маски. Были предприняты во внимания вопросы эффективности многоразовой маски, изобретенной посредством аддитивных технологий. Поэтому предложены методы постобработки для решения этих вопросов. Вопросы герметичности также были решены дополнительными элементами в виде резиновых изделий и креплений с держателями, также разработанными посредством аддитивного производства.

Многоразовая маска, представленная в работе, обладает рядом преимуществ:

- Это плотное прилегание к лицу человека;
- Возможность корректировки с учетом индивидуальных особенностей формы лица в программах САПР;
- Возможность подобрать фильтровой материал по виду деятельности;
- Возможность многоразового применения маски, за счет сборного фильтра и простоты дезинфекции;
- Применяются экологичные для окружающей среды и безопасные для человека материалы.

На нынешнем этапе данная работа требует дополнительных исследований в виде подтверждения эффективности маски экспериментальными методами. Однако уже сейчас перед нами открываются перспективы производства маски из полимолочной кислоты при помощи 3D-печатных аппаратов, так как это имеет значимость в сфере охраны окружающей среды, здоровья человека и профилактики инфекционных заболеваний, в том числе COVID-19.

Список использованной литературы

- 1 Canessa E., Fonda C., Zennaro M. 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development // ICTP Science Dissemination Unit. – 2013. – P. 23.
- 2 Petch M., Vialva T., Essop A. The Free Beginner's Guide// The 3D Printing Industry. – 2017. – P. 3-7.
- 3 Dus Architects. 3D Print Canal House, 2016. URL: <https://3dprintcanalhouse.com/construction-technique>
- 4 Герасимова В.О., Любин Н.С., Петрова В.С. Технология 3D-печати в строительстве и архитектуре// Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1. – С. 3.
- 5 Khoshnevis B. Automation in Construction// International Research Journal. – 2004. – P. 5-19.
- 6 Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калошина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития// Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8. № 2. – С. 90-101.
- 7 TCT Magazine. Autodesk teams with Airbus on 3D printed bionic aeroplane component, 2015. URL: <https://www.tctmagazine.com>.
- 8 Гришин А.С., Бредихина О.В., Помоз А.С., Пономарев В.Г., Красуля О.Н. Новые технологии в индустрии питания – 3D-печать// МГУТУ им. К.Г. Разумовского. – Москва, 2016. – С. 36-40.
- 9 Qian Yan, Hanhua Dong, Jin Su, Jianhua Han, Bo Song, Qingsong Wei, Yusheng Shi. Review of 3D Printing Technology for Medical Applications// Engineering. – 2018. – № 4. – P. 16-21.
- 10 Abdul W. Basit, Simon, Gaisford. 3D Printing of Pharmaceuticals// AAPS Advances in the Pharmaceutical Sciences Series. – 2018. – P. 25-36.
- 11 Ranellucci A. Reprap, Slic3r and the Future of 3D Printing// International Centre for Theoretical Physics. – 2013. – P. 75-78
- 12 Горьков Д. Студия 3D-печати с нуля. – 2015. – С. 29-42.
- 13 Матюшкин Л.Б., Пермяков Н.В. Применение технологии 3D-печати в обеспечении профессионально ориентированной подготовки кадров в интересах nanoиндустрии// Биотехносфера. – 2013. – №3 (27). – С. 38-39.
- 14 Павловская И.И., Авраменко Ю.А. 3D-печать// Актуальные проблемы экономики строительства: материалы Республиканской научно-практической конференции. – Минск, 2016. – С. 96-101.
- 15 Lipson H., Kurman M. Fabricated: The New World of 3D printing// John Wiley & Sons. – 2013. – P. 280.
- 16 Шкуро А.Е., Кривоногов П.С. Технологии и материалы 3D-печати. – Екатеринбург, 2017. – С. 21-26.
- 17 Kumar R., Singh. R, S.Ahuja I. Joining of 3D Printed Dissimilar Thermoplastics With Consumable Tool Through Friction Stir Spot Welding: A Case Study// Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. – 2020. – Vol. 3 – P.91-96.

- 18 Комаров В. 3D-печать. Моделирование методом наплавления (FDM) – Санкт-Петербург, 2019. – С. 5-8.
- 19 Ким В.С. Теория и практика экструзии полимеров. – Москва, 2005. – С. 57-68.
- 20 Карло Фонд. Практическое руководство по вашей первой 3D печати// International Centre for Theoretical Physics. – 2014. – С. 21-24.
- 21 Nagarajan.V., Mohanty A., Misra M. Perspective on Polylactic Acid (PLA) based Sustainable Materials for Durable Applications: Focus on Toughness and Heat Resistance// ACS Sustainable Chem. Eng. – 2016. – Vol. 4. – P. 2899–2905.
- 22 Reeve M. S., MaCarthy S. P., Downey M.J., Gross R.A. Polylactide stereochemistry: effect on enzymic// Macromolecules. – 1994. – P. 825 – 830.
- 23 Iwata T., Doi Y. Morphology and Enzymatic Degradation of Poly (L-lactic acid) Single crystals»// Macro molecules. -1998. - №31, Vol. 8. – P. 2461–2468.
- 24 Hakkarainene M., Karlsson S., Albertsson A.C. Rapid (bio) degradation of polylactide by mixed culture of compost microorganisms — low molecular weight products and matrix changes// Polymer. – 2000. – №41. – P. 2331-2338.
- 25 Drumright R. E., Gruber P. R. Polylactic acid technology// Adv. Mater. – 2000. – №23. – P. 1841-1846.
- 26 Lunt J. Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers// Polym. Degrad. Stab. – 1998. – №59. – P. 149-152.
- 27 Sinha Ray S., Yamada K., Okamoto M., Ueda K. Control of biodegradability of polylactide via nanocomposite technology// Macromol. Mater. Eng. – 2003. – №288. – P. 203-208.
- 28 Sinha Ray S., Yamada K., Okamoto M., Ogami A., Ueda K. New polylactide/layered silicate nanocomposites. 3. High performance biodegradable materials// Chemistry of Materials. – 2003. – №15. – P. 1456-1465.
- 29 Büttrich S. 3D Modeling with OpenSCAD - Part 1// International Centre for Theoretical Physics. – 2013. – P. 83-88.
- 30 Fears A, Klimstra W, Duprex P, Hartman A, Weaver S, Plante K, et al. Comparative dynamic aerosol efficiencies of three emergent coronaviruses and the unusual persistence of SARS-CoV-2 in aerosol suspensions// Journal of Hospital Infection. – 2020. - №4. – P. 12-17.
- 31 A.M. Wilson, S.E. Abney, M-F. King, M.H. Weir ,M.Lo´pez-García, J.D. Sexton, S.J. Dancer, J. Proctor, C.J. Noakes, K.A. Reynolds. COVID-19 and use of non-traditional masks: how do various materials compare in reducing the risk of infection for mask wearers// Journal of Hospital Infection. – 2020. - №1. – P. 2-4.
- 32 World Health Organization 2020. Mask use in the context of COVID-19. Geneva, 2020. URL: [WHO-2019-nCov-IPC_Masks-2020.5-eng.pdf](https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCov-IPC_Masks-2020.5-eng.pdf).
- 33 Chia, P.Y., Coleman, K.K., Tan, Y.K. Detection of air and surface contamination by SARS-CoV-2 in hospital rooms of infected patients// Nature Communications. – 2020. – № 11. – P. 2-7.

34 Centers for Disease Control and Prevention of USA. Personal Protective Equipment: Questions and Answers, 2020. URL: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/respirator-use-faq.html>

35 Davies A., Thompson K., Giri K., Kafatos G., Walker J., Bennett A. Testing the Efficacy of Homemade Masks: Would They Protect in an Influenza Pandemic?// Disaster Medicine and Public Health Preparedness. – 2013. – Vol. 7, Issue 4. – P. 413-418.

36 Матюшкин Л.Б., Пермяков Н.В. Применение технологии 3D-печати в обеспечении профессионально ориентированной подготовки кадров в интересах nanoиндустрии// Биотехносфера. – 2013. – №3 (27). – С. 39-41.