

Инженерная Школа Новых Производственных Технологий  
 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных  
 производств Отделение Материаловедения

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Проектирование цеха для производства транспортировочных крышек</b>

УДК 658.5:004.356

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ8Т	Ларькин Александр Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Сикора Е.А.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Подопригора И.В.	к.э.н.		10.06.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Романцов И.И.	к.т.н.		02.03.2020

По разделу «Иностранный язык»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Забродина И.К.	к.п.н		05.06.2020

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Буханченко С.Е.	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

од	Результат обучения
<i>Общекультурные</i>	
P1	Способность совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, собирать и эффективно выбирать информацию с применением современных информационных технологий, самостоятельно обучаться новым методам исследования, осваивать новые научные и научно-производственные профили своей профессиональной деятельности.
P2	Способность проявлять инициативу, работать в команде, общаться устно и в письменной форме, адаптироваться к реализации межкультурных и профессиональных коммуникаций на основе использования английского языка, критически оценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности.
P3	Способность использовать правовые и этические нормы при оценке последствий своей профессиональной деятельности при разработке и реализации технологий изготовления и сборки изделий, в том числе с учетом социальных, экологических и экономических аспектов работы выпускника в области конструкторско-технологического обеспечения машиностроительного производства.
<i>Профессиональные</i>	
<i>Проектно-конструкторская деятельность</i>	
P4	Способность формулировать цели проекта (программы), задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, строить структуру их взаимосвязей, определять приоритеты решения задач, оценивать инновационный потенциал и риски коммерциализации разрабатываемых проектов.
P5	Способность проводить расчеты по проектам в области разработки новых технологий в машиностроении, технико-экономическому и функционально-стоимостному анализу проектируемых и реализуемых технологий изготовления продукции, средствам и системам оснащения.
P6	Способность выполнять разработку функциональной структуры и геометрии изделий машиностроения, элементов, технологического оборудования, средств и технологий проектирования с использованием САД и САЕ модулей современных САПР.
<i>Производственно-технологическая деятельность</i>	

од	Результат обучения
P7	Способность разрабатывать и внедрять новые эффективные технологии изготовления изделий машиностроения на высокотехнологичном оборудовании с применением САМ модулей современных САПР.
P8	Способность участвовать в реализации программ испытаний физико-механических свойств материалов и готовых изделий в современном машиностроении.
P9	Способность оценивать производственные и непроизводственные затраты на обеспечение требуемого качества изделий машиностроения, стоимость объектов интеллектуальной деятельности, управлять поступающими на предприятие материальными ресурсами, производством и жизненным циклом продукции, и ее качеством.
P10	Способность разрабатывать мероприятия по обеспечению надежности и безопасности машиностроительного производства, стабильности его функционирования на основе современных систем и международных стандартов.
<i>Организационно-управленческая деятельность</i>	
P11	Использовать международный опыт проектного, технологического менеджмента и управления бизнес-процессами для ведения инновационной инженерной деятельности в области обеспечения эффективности технологических процессов жизненного цикла изделий.
P12	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности.
<i>Научно-исследовательская деятельность</i>	
P13	Способность ставить и решать прикладные исследовательские задачи, разрабатывать методики, рабочие планы и программы проведения научных исследований и перспективных технических разработок, готовить отдельные задания для исполнителей, научно-технические отчеты, обзоры и публикации по результатам выполненных исследований.
P14	Способность выполнять математическое моделирование процессов, средств и систем машиностроительных производств; разрабатывать алгоритмическое и программное обеспечение машиностроительных производств, профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки (специальность) 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Отделение школы Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ С.Е.Буханченко

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ8Т	Ларькин Александр Дмитриевич

Тема работы:

**Проектирование цеха для производства транспортировочных крышек**

Утверждена приказом директора ИШНПТ (дата, номер)

Приказ № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<b>Объект исследования:</b> транспортировочные крышки <b>Предмет исследования:</b> технологический процесс изготовления крышек <b>Цель:</b> повышение эффективности этапов жизненного цикла транспортировочной крышки за счет печати на 3Д-принтере.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Аналитический обзор по теме исследования</li><li>2. Постановка задач исследования</li><li>3. Планирование разделов диссертации</li><li>4. Решение поставленных задач</li><li>5. Проработка разделов диссертации</li><li>6. Оформление диссертации</li><li>7. Подготовка презентации</li></ol>
<b>Перечень графического материала</b>	

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Доцент ОСГН Подопригора И.В. К.Э.Н
<b>Социальная ответственность</b>	Доцент ООД Романцов И.И. К.Т.Н
<b>«Иностранный язык»</b>	Доцент ОИЯ Забродина И.К. К.П.Н

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Раздел 2.2.1 Обзор технологий печати

**Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику**

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Сикора Е.А.	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ8Т	Ларькин Александр Дмитриевич		

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на тему «Проектирование цеха для производства транспортировочных крышек» содержит 124 страницы, 39 рисунков, 34 таблицы, 12 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D модель, моделирование, 3D принтер, 3D печать.

Объектом исследования является технология печати и установка для 3D-печати. Предметом проектирования – транспортировочные крышки.

Целью работы является исследование и расчёт физических характеристик напечатанных деталей.

В процессе работы проведен аналитический обзор. Также изучены основные виды технологий печати, принципы их работы и создания 3D моделей с помощью 3D принтера.

В результате исследования были произведены расчёты динамических нагрузок изделий, используя специальное программное (Solidwors Simulation) и проведены термические испытания двух видов пластика пластика.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: внешние габариты 3D принтера 627 x 485 x 615 мм. Изделия, изготовленные на принтере, предназначены для эксплуатации во время круглогодичной транспортировки оборудования.

Степень внедрения – проект.



## **Определения, сокращения, нормативные ссылки**

**В настоящей работе были использованы ссылки на следующие стандарты:**

ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.

ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

ГОСТ 14254.96.1. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками.

ГОСТ 18425-73. Тара транспортная наполненная.

ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение.

ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере.

## Содержание

Введение .....	13
<b>1 Литературный обзор.....</b>	<b>15</b>
1.1 Методы изготовления и материалы для крышек .....	16
1.1.1 Использование металлообрабатывающих станков.....	16
1.1.2 Печать на 3D принтере.....	16
1.2 Обзор аналогов.....	17
<b>1.2.1 Расчёты динамических нагрузок с применением пакета</b>	
<b>«SolidWorks Simulation» .....</b>	<b>18</b>
1.2.1.1 Моделирование в SolidWorks.....	19
1.2.1.2 Ударные нагрузки объекта с элементами, имитирующими	
резьбу.....	21
1.2.1.3 Ударные нагрузки на криволинейную плоскость.....	24
1.3 Технологический процесс изготовления крышки .....	26
1.4 План производства .....	29
2. Планирование жизненного цикла .....	34
2.1 Маркетинг и изучение рынка.....	34
2.2 Выбор технологии печати .....	37
2.2.1 Обзор технологий печати .....	37
2.3 Подбор материала для изготовления.....	51
2.3.1 Обзор Материалов .....	51
2.4 Печать на 3D принтере.....	55
2.4.1 Калибровка печати .....	55
<b>2.4.2 Печать калибровочных моделей.....</b>	<b>57</b>
2.5 Испытание калибровочных моделей в термокамере .....	58

2.6 Проектирование и разработка конструкции крышки .....	62
2.7 Подбор оборудования .....	63
2.7.1 Рекомендации по выбору принтера .....	63
2.7.2 Подбор 3D принтера .....	67
2.7.3 Подбор вспомогательного оборудования .....	69
<b>2.8 Проектирование производства .....</b>	<b>71</b>
2.8.1 Закупки .....	71
2.8.2 Производство .....	72
2.8.3 Реализация .....	72
2.8.4 Установка и ввод в эксплуатацию .....	72
2.8.5 Обслуживание .....	72
2.8.6 Эксплуатация .....	72
2.8.7 Утилизация .....	72
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения .....	75
3.1 Планирование работ технического проекта .....	75
3.1.1 Смета затрат на научное исследование .....	77
3.1.2 Материальные затраты .....	77
3.1.3 Затраты на амортизацию .....	78
3.1.4 Основная заработная плата исполнителей темы .....	78
3.1.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	80
3.1.6 Прочие затраты .....	80
3.1.7 Накладные расходы .....	80
3.2 Определение экономической эффективности проекта .....	81

4. Социальная ответственность .....	85
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	85
4.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.	85
4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя. ....	86
4.2 Производственная безопасность.....	88
4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования. ....	88
4.3 Экологическая безопасность .....	100
4.3.1 Анализ «жизненного цикла» разрабатываемого изделия.....	100
<b>4.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды</b>	<b>101</b>
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	104
Заключение .....	108
Литература .....	109
Приложение А .....	110
Приложение Б.....	111

## **Введение**

Объект исследования транспортировочная крышка.

Основным предметом исследования настоящей работы является рассмотрение проблем по внедрению технологии 3D печати, а так же её преимущества и недостатки.

Целью магистерской работы является исследование физических характеристик напечатанных деталей и расчёте экономической целесообразности использования 3D печати на производстве для изготовления серийной продукции.

Цель обусловила ряд следующих задач:

1. Обзор и анализ технологий печати, их особенности и принцип работы.
2. Анализ текущей используемой технологии изготовления деталей на производстве.
3. Выбор оптимальной технологии изготовления и материала.
4. Подбор оборудования, с возможностью последующего расширения используемых возможностей.
5. Обзор вопросов связанных с производственной и экологической безопасностью
6. Расчёт ресурсоэффективности и ресурсосбережения данного вида изделий

Актуальность темы: Постоянно растущая конкуренция, обусловленная быстрыми темпами развития приборостроения в целом, давление на рынок аналогичных иностранных товаров, заставляют предприятия создавать все более совершенные образцы приборов, одновременно стараясь оптимизировать затраты по их проектированию, производству и эксплуатации.

Методы исследования основаны на компьютерной симуляции динамических нагрузок и практическом испытании образцов в термокамере.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Выбор оптимального оборудования для последующего увеличения объёма продукта.
2. Предложен способ, позволяющий на стадии проектирования рассчитывать время и количество материала для изготовления детали.

### 3. Расчёт материальных затрат на внедрение и содержания оборудования.

Практическая ценность работы состоит в следующем:

1. Описанная в работе технология печати позволяет предприятию уменьшить себестоимость различных видов продукции.
2. Выделены критерии по подбору оборудования

В данной работе рассмотрены вопросы по внедрению 3D печати на примере годового выпуска предприятием нескольких серийных изделий. При решении поставленных задач будут выбраны определенные условия, ограничения и критерии оптимальности, налагаемые на производство.

Актуальность данного вопроса усиливается растущей потребностью в оперативном изготовлении и прототипировании изделий, как для производственных, так и для исследовательских потребностей.

# 1 Литературный обзор

В данной работе рассматриваются технологии производства транспортировочных крышек. Транспортировочная крышка - предназначена для защиты разъемов и резьбовых частей от деформации и попадания посторонних предметов при транспортировке оборудования от производителя до заказчика. Во владении оборудования у заказчика имеет множество перемещений с базы до куста и обратно.

Поскольку эти изделия могут быть выполнены из различных материалов, то для сравнительного анализа используются все три типа материала, которые использовались на предприятии для изготовления транспортировочных крышек.

Данное изделие позволяет содержать в сохранности главные узлы оборудования, это резьбовые, стыковочные соединения и разъемы. При транспортировке оборудование может быть подвержено вибрационному и климатическому (пыль, грязь, влага) воздействию. Так же при переносе присутствует и человеческий фактор. Человеческий фактор состоит в том, что при перемещении, оборудование можно уронить либо ударить по пути, повредив те узлы, которые хотим защитить.

При поврежденной резьбе соединение между приборами может быть недостаточным, что может привести к выходу из строя как одного элемента, так и всего комплекса. То же касается и разъемов, попадание посторонних предметов в которые, может привести к короткому замыканию и выходе из строя всего оборудования.

В данной работе будут рассмотрены два варианта изготовления изделий. Классический – изготовление непосредственное с помощью станков для металлообработки. И альтернативный – с использованием технологии FDM печати.

## **1.1 Методы изготовления и материалы для крышек**

### **1.1.1 Использование металлообрабатывающих станков**

Для изготовления транспортировочных крышек применяются три рода металлообрабатывающих станков, такие как:

- Универсальный токарный станок
- Токарный станок с ЧПУ
- Сверлильный станок

Обработка на универсальном токарном станке включает в себя черновую обработку, чистовую обработку и нанесение сетчатого рифления.

Черновая обработка отсекает наибольшее количество материала из заготовки, оставляя припуск для обработки на станке с ЧПУ либо дальнейшей чистовой обработки. Эта операция не требует строгих режимов резания, высокой точности от станка и высокого качества режущего инструмента.

Сетчатое рифление на поверхностях крышки обусловлено требованиями эргономики, так как для захвата и удержания цилиндрической поверхности, лучшее «сцепление» обеспечивает «шероховатая» поверхность. Этот технологический процесс осуществляется с помощью «роликов», через которые прогоняют те поверхности, которые заложены в документации.

Обработка на станке с ЧПУ включает в себя обработку сложных поверхностей, таких как нарезание нестандартной внутренней или внешней резьбы.

Слесарная обработка включает в себя сверление отверстия с использованием специализированного станка, удаление заусенцев и острых кромок полученных в процессе обработки на станках.

### **1.1.2 Печать на 3D принтере**

Процесс 3D печати представляет собой последовательное послойное нанесение материала согласно CAD модели. Это обеспечивает минимизацию отходов при изготовлении детали, а так же появляется возможность изготовления сложной геометрии изделия без дополнительных технологических операций.



Основным применением 3D печати, является прототипирование объектов и разработка продуктов. Так же, становится очень актуальным мелкосерийное производство готовой продукции. Основываясь на некоторых исследованиях, можно сказать, что 3D печать в ближайшем будущем будет производить около 50% деталей и изделий, которыми пользуются потребители, тяжелая промышленность, а также производители в сфере биологии.

Для любой из потенциальных сфер найдется нужный тип технологии, который сделает производственный процесс быстрее, эффективнее и надежнее.

## 1.2 Обзор аналогов

Транспортировочные крышки, рассматриваемые в данной работе, предназначены для защиты узлов во время транспортировки, забойной телеметрической системы компании «Геофит».

Забойная система – это набор функциональных узлов, с помощью которых осуществляется геологическая разведка месторождений, либо для измерений координат в процессе бурения с целью контроля направления бурения и литологического расчленения разреза скважины. Пример состава забойной системы представлен на рисунке 1. Обычно в состав системы входит узел питания - генератор либо батарейный модуль и узел разведки - модуль гамма, модуль инклинометрический и другие.

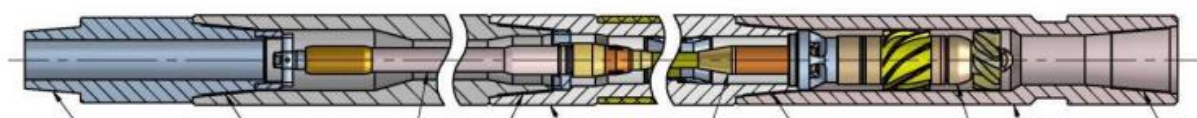


Рисунок 1- Пример состава телеметрической системы.

Существует достаточное количество компаний специализирующихся на разработке и изготовлении таких систем. Каждый производитель оставляет за собой исполнение меж узловых соединений (соединение шип-паз, резьба). Это приводит к тому, что генератор одного производителя нельзя соединить с модулем другого производителя. К тому же электрическое соединение (распиновка и вид соединительного разъёма) каждого свой. Это обусловлено отсутствием единого стандарта.

Таким образом транспортировочные крышки, рассматриваемые в данной работе являются «не стандартными». Похожих изделий, которые смогли бы обеспечить необходимую защиту узлов оборудования, вместо транспортировочных крышек найти не удалось.

На данный момент использовались три материала для изготовления, это капролон, алюминий и PLA пластик.

Капролон – этот относительно недорогой материал, с которым практически нету сложностей при обработке.

Алюминий – из этого материала были выполнены первые образцы для данной детали, но из-за экономических и физических слабых мест, больше не применяется.

Пластик – основное сырьё для печати имеет огромное количество наполнений. Каждое из таких наполнений придаёт пластику различные физические характеристики, например, такие как: прочность, гибкость, износостойкость и другие. В данной работе будут рассмотрены пластики PLA и PETG.

### **1.2.1 Расчёты динамических нагрузок с применением пакета «SolidWorks Simulation»**

Объектом исследования выступают модели твёрдого тела (транспортировочные крышки) выполнены из трёх материалов: алюминий, капролон и пластик.

Предметом исследования является процесс построения инженерного анализа в САЕ-модуле Simulation.

Для достижения цели работы, были поставлены и решены следующие задачи:

- ознакомление с принципами работы в SolidWorks Simulation;
- аналитический обзор объектов исследования;
- построение 3D-модели исследуемого объекта;

- выполнение анализа ударной нагрузки на наклонную плоскость;
- выполнение анализа ударной нагрузки элементов содержащих резьбовое соединение на горизонтальную плоскость.
- составление отчетов и выводов по работе.

### 1.2.1.1 Моделирование в SolidWorks

При постановке задачи симуляции, исследуемый объект делится на сетку. Чем больше количество полигонов, тем дольше идёт расчёт. Для оптимизации времени исследования, имеет смысл упростить объекты, как показано на рисунке 2.

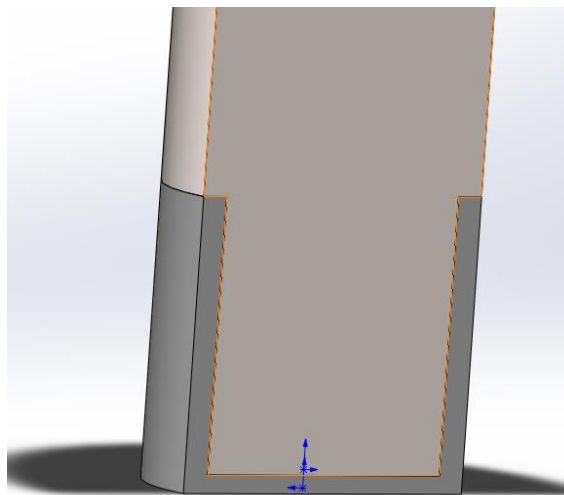


Рисунок 2 - Упрощенные исследуемые объекты в разрезе (крышка и основание)

При исследовании элементов содержащих резьбовые соединения, так же было принято решение по оптимизации расчётного времени, путём замены резьбовых соединений его имитацией (Рисунок 3). Разница в результатах исследования будет отличаться незначительно, в отличии от времени расчёта..

Для этого на кромке создаётся эскиз из нескольких полукругов (количество витков), с равным расстоянием между собой (шаг резьбы) и равным диаметром (повторяя сечение витков резьбы на оригинале). Затем с помощью специального инструмента эскиз вытягивается по кругу и получается имитация резьбы. Для ответной части нужно проделать то же самое, только вместо инструмента «вытянуть» используется «вырез».

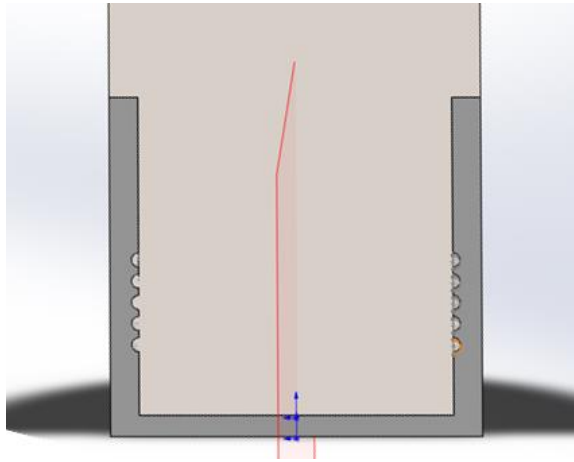


Рисунок 3 – Вид в разрезе, замена резьбы на аналог

Так же было принято решение по упрощению модели корпуса изделия для оптимизации времени расчётов, рисунок 4. При имитировании корпуса изделия для крепления крышки, был воссоздан вес, габариты и материал оригинального изделия.

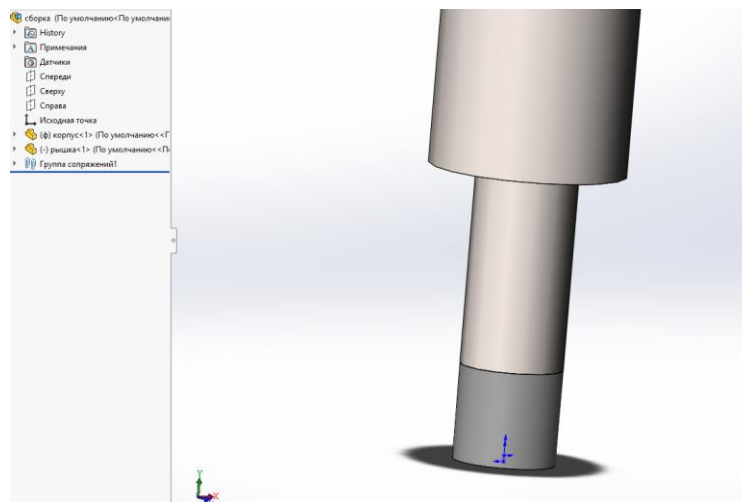


Рисунок 4 - Сборка модели для исследования

### 1.2.1.2 Ударные нагрузки объекта с элементами, имитирующими резьбу.

При настройке параметров исследования рекомендуется использовать инструмент управления сеткой. Это позволит сохранить сетку хорошего качества на ключевых местах и сделать грубой те элементы, которые не имеют сложной геометрии и не имеют интереса для исследования, как показано на рисунке 5 и 6.

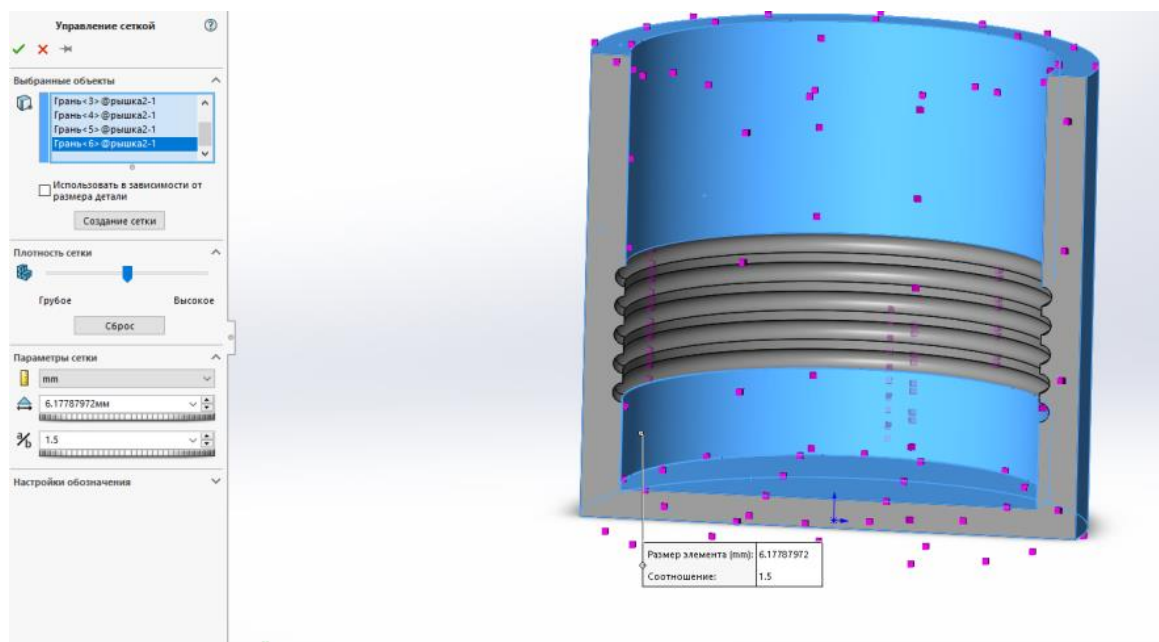


Рисунок 5 - Выбор элементов для грубой сетки

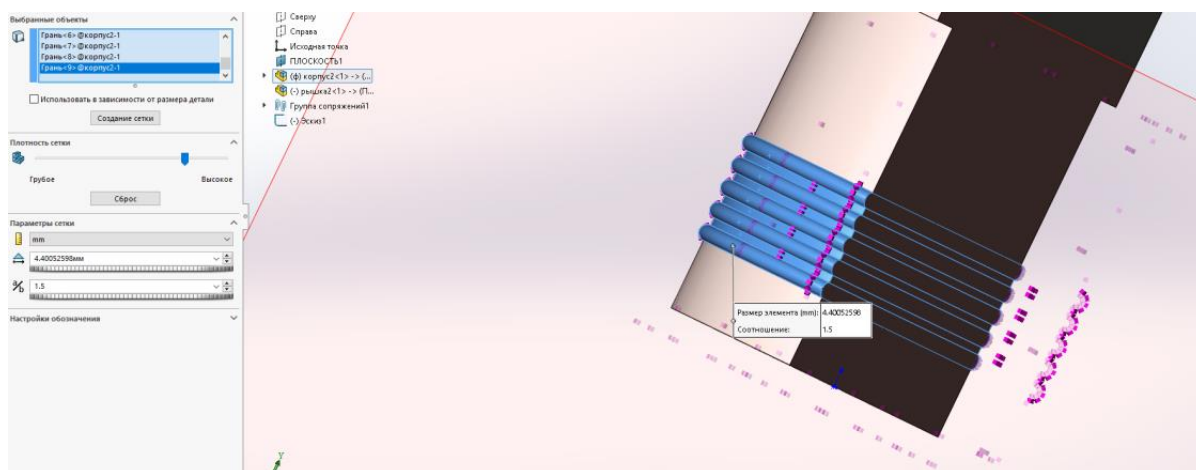


Рисунок 6 - Выбор элементов для «качественной» сетки

После рассмотрения особенностей данного исследования следует задать параметры эксперимента, таблица 1.

Таблица 1 - Параметры нагрузки в исследовании

Тип	Высота падения
Высота падения от самой низкой точки	1000 mm

Притяжение	9.81 m/s <sup>2</sup>
Ссылка на гравитацию	Сверху
Коэффициент трения	0
Целевая жесткость	Жесткая цель
Коэффициент критического демпфирования	0

После определения всех настроек и обзору особенностей построения, перейдём к результатам исследования, Таблица 2,3 и 5.

Таблица 2 - Результаты исследования для крышки из алюминия

Алюминий	Тип	Мин	Макс
Напряжение	VON: Напряжение Von	4.3e+005 N/m <sup>2</sup>	3.25e+008 N/m <sup>2</sup>
	Mises	Узел: 9982	Узел: 212
Перемещение	URES: Результирующее перемещение	0.0164 mm	3.35 mm
		Узел: 16970	Узел: 16863
Деформация	ESTRN: Эквивалентная деформация	5.42e-006	0.267
		Элемент: 4571	Элемент: 11725

Таблица 3 - Результаты исследования для крышки из капролона

Капролон	Тип	Мин	Макс
Напряжение	VON: Напряжение Von	6.93e+004 N/m <sup>2</sup>	1.85e+008 N/m <sup>2</sup>
	Mises	Узел: 10133	Узел: 11661
Перемещение	URES: Результирующее перемещение	0.0251 mm	1.01 mm
		Узел: 16970	Узел: 16862
Деформация	ESTRN: Эквивалентная деформация	1.19e-006	0.108
		Элемент: 6934	Элемент: 11832

Для наглядности на рисунке 7 представлены графические результаты для крышки из капролона.

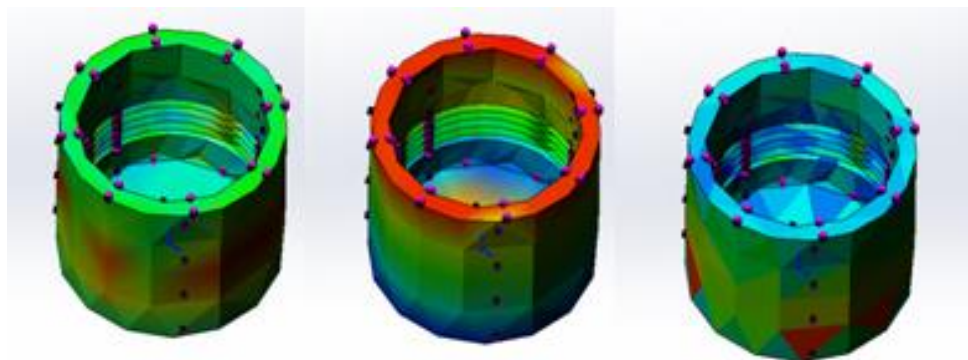


Рисунок 7 - Результаты исследования для крышки из капролона (с лева на право- напряжение, перемещение, деформация)

Поскольку характеристики пластика до и после печати отличаются, для запаса прочности в последнем исследовании был выбран пластик с меньшим модулем упругости, таблица 4. У оригинального пластика, из которого планируется изготавливать крышки, а именно PLA модуль упругости составляет  $3.3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ , что в 3 раза выше, чем у пластика Nylon.

Таблица 4 - Характеристики пластика

Имя:	Nylon 101
Тип модели:	Линейный Упругий Изотропный
Критерий прочности по умолчанию:	Максимальное напряжение von Mises
Предел текучести:	$6 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Предел прочности при растяжении:	$7.92897 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Модуль упругости:	$1 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
Коэффициент Пуассона:	0.3
Массовая плотность:	$1150 \text{ kg/m}^3$
Коэффициент теплового расширения:	$1 \times 10^{-6} / \text{Kelvin}$

Таблица 5 - Результаты исследования для крышки из пластика

Nylon 101	Тип	Мин	Макс
Напряжение	VON: Напряжение Von Mises	$3.58 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ Узел: 14491	$5.24 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ Узел: 11562
Перемещение	URES: Результирующее перемещение	0.00598 mm Узел: 16970	0.366 mm Узел: 16862
Деформация	ESTRN: Эквивалентная деформация	$2.31 \times 10^{-8}$ Элемент: 5747	0.0427 Элемент: 10923

### Вывод

Принимая напряженно-деформированное состояние материалов крышки за наименьшее, определено, что практически аналогичным характеристикам соответствуют капролон и пластик, а по нескольким параметрам превосходят первый образец. Таким образом, оптимальный материал должен выбираться между капролоном и пластиком.

### 1.2.1.3 Ударные нагрузки на криволинейную плоскость

На рисунке 8 видна наклонная плоскость с которой будет взаимодействовать объект исследования.

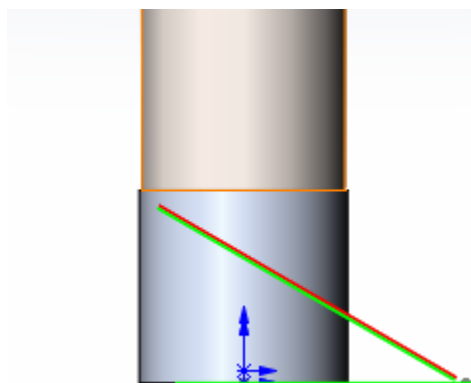


Рисунок 8 – Вид Наклонной плоскости и образца с боку

Параметры нагрузок такие же, как и в первом эксперименте (таблица 1), кроме плоскости, об которую «исследуется» сборка. После определения всех настроек и обзора особенностей построения, перейдем к результатам исследования.

Таблица 5 - Результаты исследования для крышки из алюминия

Алюминий	Тип	Мин	Макс
Напряжение	VON: Напряжение Von	4.11e+004 N/m <sup>2</sup>	2.41e+008 N/m <sup>2</sup>
	Mises	Узел: 2419	Узел: 12025
Перемещение	URES: Результирующее перемещение	0.133 mm	1.01 mm
		Узел: 17836	Узел: 17826
Деформация	ESTRN: Эквивалентная деформация	4.07e-007	0.235
		Элемент: 4861	Элемент: 12785

Таблица 6 - Результаты исследования для крышки из капролона

Капролон	Тип	Мин	Макс
Напряжение	VON: Напряжение Von	1.39e+004 N/m <sup>2</sup>	1.25e+008 N/m <sup>2</sup>
	Mises	Узел: 15027	Узел: 12688
Перемещение	URES: Результирующее перемещение	0.14 mm	1.22 mm
		Узел: 17857	Узел: 17884
Деформация	ESTRN: Эквивалентная деформация	1.13e-007	0.103
		Элемент: 5758	Элемент: 12366

Таблица 7 - Результаты исследования для крышки из пластика



Nylon 101	Тип	Мин	Макс
Напряжение	VON: Напряжение Von	6.29e+003 N/m <sup>2</sup>	2e+008 N/m <sup>2</sup>
	Mises	Узел: 16068	Узел: 12675
Перемещение	URES: Результирующее перемещение	0.109 mm	1.3 mm
		Узел: 18263	Узел: 18124
Деформация	ESTRN: Эквивалентная деформация	5.44e-008	0.15
		Элемент: 4861	Элемент: 12501

Построив эпюру хронологии напряжения (для всей модели), для всего эксперимента (рисунок 9) видим, что на момент максимального напряжения на 58 микросекунде показатель напряжения составляет  $1.7 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>. Предел текучести для самого слабого звена сборки (крышка из пластика) составляет  $6 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>. Из этого следует, что запас прочности по пределу текучести равняется  $\approx 3,5$ , что выше минимально допустимого равного 3м.

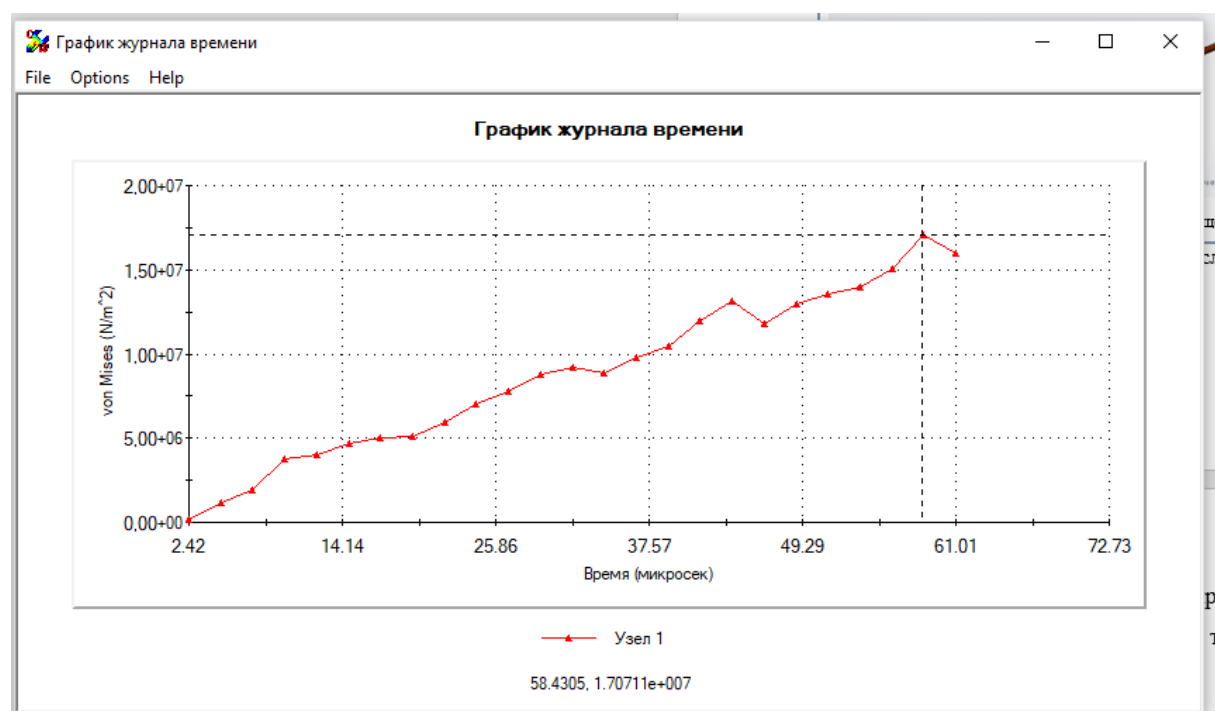


Рисунок 9 - Хронология нагрузок

## Вывод

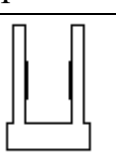
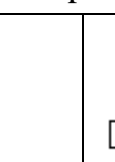

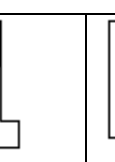
Установлено, что при ударе краем крышки о наклонную плоскость из данных материалов, в крышках не возникает больших напряжений. Напряжения примерно сопоставимы с результатами первого эксперимента и распределение от лучшего к худшему осталось тем же.

Больше всего подвержена напряжению крышка из алюминия (Min 4.11e+004 N/m<sup>2</sup>; Max 2.41e+008 N/m<sup>2</sup>). Крышки из пластика и капралона находятся на одном месте. У пластиковой крышки, минимальное напряжение меньше на порядок (Min 6.29e+003 N/m<sup>2</sup> против Min 1.39e+004 N/m<sup>2</sup>), но максимальное напряжение выше на треть, от показателя крышки из капралона (Max 1.25e+008 N/m<sup>2</sup> против Max 2e+008 N/m<sup>2</sup>).

### 1.3 Технологический процесс изготовления крышки

Эти изделия имеют одинаковое назначения, но каждая из них имеет свои особенности, с которыми кратко можно ознакомиться в таблице 8.

Таблица 8 - Транспортировочные крышки

Деталь				
Номер шкмб	(A)	(B)	(C)	(D)
Габариты детали D	45x80	60x60	59x50	48x70
Габариты заготовки	50x85	63x65	63x55	50x75
Вес заготовки из капралона	220	250	222	198
Вес детали из капралона	78	90	29	78
Отходы грамм (% к массе заготовки)	144(65,45%)	160(64%)	193(86%)	120(60,61%)
Количество деталей	150	150	150	150
Итого масса заготовки, кг. (стружка кг.)	33(21,6)	37,5(24)	33,3(28,95)	30(18)

Наладка включает в себя время, потраченное на выдачу задания, наладку и подготовку оборудования/ инструмента. Размер партии составляет 30 штук, что при общем количестве в 150 деталей каждого типа, показывает на количество партий и времени потраченное на подготовку.

Технологический процесс изготовления деталей можно разделить на две группы – изготовление классическим способом, и изготовление на 3D принтере.

Рассмотрим первоначальный технологический процесс производства крышек(классический - использование металлообрабатывающих станков), и альтернативный (использование 3D принтера, рисунок 10).

Классический, можно разделить на 3 этапа:

- 1) Токарная обработка (Черновая обработка, нанесение сетчатого рифления);
- 2) Обработка на станке с ЧПУ (чистовая обработка, нанесение сетчатого рефления, резьбы);
- 3) Слесарная обработка (сверление отверстия, удаление заусенцев, удаление острых кромок);

Альтернативный, можно разделить на 2 этапа:

- 1) Печать на 3D принтере;
- 2) Слесарная обработка (обработка поверхностей, заусенцев, фасок);

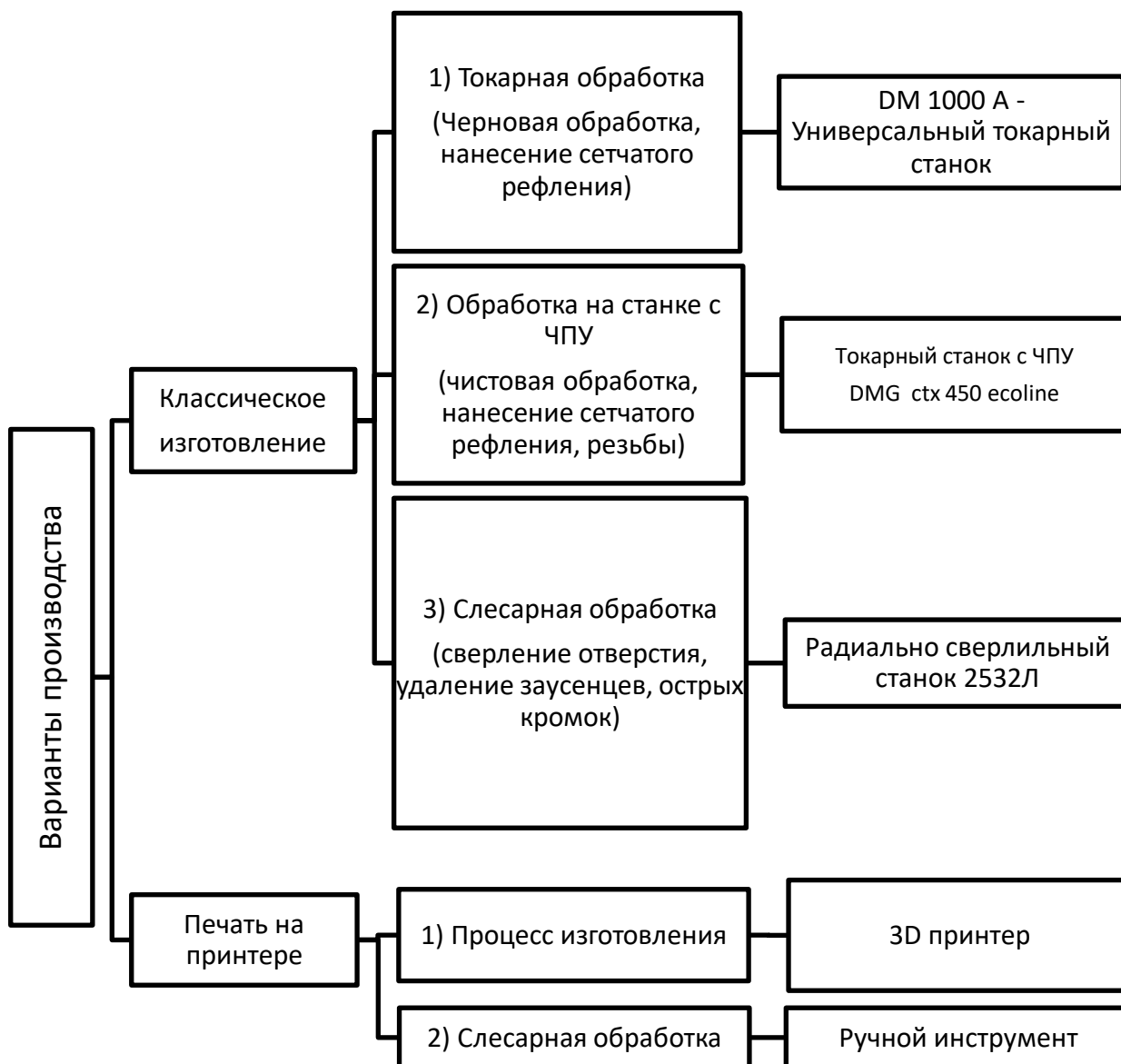


Рисунок 10 – Схема технологического процесса

Этапы изготовления крышек в первоначальном варианте:

Токарная обработка. При использовании токарного станка можно изготовить две из четырёх крышек, поскольку в них нет таких конструктивных особенностей, таких как, внутренняя и внешняя резьба.

Обработка на станке с ЧПУ. При использовании токарного станка с ЧПУ можно изготовить все четыре крышки

Слесарная обработка. На данном этапе производится сверление отверстия на одной из четырёх крышек и слесарная доработка– зачистка заусенцев, обработка фасок, зачистка поверхностей.

Таблица 9 – Требуемое время на изготовления механообрабатывающими станками

Деталь	Количество деталей	Количество партий	Потраченное время на подготовку мин	Время на токарном станке час	Время на станках с ЧПУ час	Слесарная обработка час
A	30	5	100+50	62,5	0	12,5
B	30	5	100	100	0	0
C	30	5	100+50	50	50	5
D	30	5	100+50	75	50	5

Этапы изготовления альтернативным способом:

Печать на 3D принтере. Заменяв некоторые конструктивные особенности можно напечатать все четыре крышки.

Слесарная обработка. При печати остаются нити пластика, которые образуются при перемещении экструдера от одной стороны детали к другой. Их требуется убрать путём механического воздействия, используя кусачки, нож либо наждачную бумагу.

Для печати технологический процесс выглядит так.

Таблица 10 – Требуемое время на изготовления 3D Принтером

Деталь	Калибровка* количество калибровок	Печать	Слесарная обработка мин.
A	20*5	120	2
B	20*5	60	2
C	20*5	60	2

D	20*5	120	2
---	------	-----	---

Таблица 11 – Общее время затраченное на изготовление годового объёма

Механообработка	Организация	Токарка	ЧПУ	Слесарка
Итого	9,2	287,5	100	22,5
3D печать	Организация	Калибровка	Печать	Слесарка
Итого	3	8	900	20

Несмотря на то, что времени на изготовление при печати уходит почти в 3 раза больше, стоимость этого времени гораздо ниже, чем у станка. Принтер в теории может работать круглосуточно и печатать несколько деталей за раз( в пределах габарита стола).

#### 1.4 План производства

Исходя из технологического процесса изготовления транспортировочных крышек видно, что для организации производственного процесса необходимо складское помещение для хранения материала и заготовок; производственный цех; слесарный участок и вспомогательные бытовые помещения. Складские помещения оборудованы стеллажами для хранения сырья и готовых изделий. На слесарном участке размещен сверлильный станок и рабочие места для слесарной обработки. План производства приведен на рисунке 11.



Рисунок 11- План производственного цеха

Подбор перечня оборудования для изготовления транспортировочных крышек обусловлен планируемым количеством деталей и возможностью изготовления на тех или иных станках.

В рамках изготовления транспортировочных крышек, на имеющемся универсальном токарном станке DM 1000 А, рисунок 12. Предполагается производить работы по нанесению сетчатого рифления, черновой и чистовой обработке.



Рисунок 12 – DM 1000 А - Универсальный токарный станок

Надежный, солидной конструкции токарный станок в стандартном исполнении хорошо зарекомендовавший себя в течении многолетней эксплуатации. Станок имеет такие характеристики.

Таблица 12 - Характеристики токарного станка DM 1000 А

Рабочая зона	
расстояние между центрами	1000 мм
макс. Ø установки заготовки над станиной	400 мм
макс. Ø установки заготовки над суппортом	240 мм
макс. Ø установки заготовки над мостком	580 мм
технол. ход, ось X	225 мм
технол. ход, ось Z1	140 мм
длина мостка	200 мм
ширина станины	290 мм
диапазон поворота верхних салазок	$\pm 45^\circ$
Главный шпиндель	
частота вращения шпинделя	(12) 30 - 1600 об/мин
внутренний диаметр шпинделя	52 мм

скорость подачи по оси X	0,055 - 0,1 мм/об
скорость подачи по оси Z	0,039 - 1,1 мм/об
диаметр пиноли задней бабки	60 мм
конус задней бабки	МК 4
ход пиноли задней бабки	130 мм
поперечная регулировка задней бабки	± 10 mm / ± 0,4"
мощность двигателя гл. шпинделя	5,5 кВт
напряжение в сети	400 В
габариты	2180x970x1280 мм
масса	1450 кг

Для изготовления внутренней и внешней резьбы нам понадобится токарный станок с ЧПУ, среди имеющихся на производстве выбор пал на СТХ 450 ecoline, рисунок 13.



Рисунок 13 – Токарный станок с ЧПУ DMG СТХ 450 ecoline

Токарный станок с ЧПУ DMG СТХ 450 ecoline это современный, производительный, гибкий и простой в управлении станок. Обработка детали производится посредством револьверной головки, а также за счет современной технологии привода с ускоренным ходом 30 м/мин.

Конструкция станка обеспечивает хороший обзор и контроль за заготовкой при обработке. Данный станок имеет следующие технические характеристики.

Таблица 12 - Характеристики станка DMG ctx 450 ecoline;

Диаметр устанавливаемый, макс.	мм	650
Диаметр над суппортом, макс.	мм	465
Диаметр обрабатываемый, макс.	мм	ø 400
Поперечный ход (X)	мм	267,5
Продольный ход (Z)	мм	600
Ускоренный ход (X / Z)	м/мин	30 / 30
Головка шпинделя (плоский фланец)	мм	170h5
Диаметр прохода прутка, макс.	мм	ø 80
Диаметр переднего подшипника	мм	130
Зажимной патрон	мм	250* / 315*
Мощность привода (40 / 100 % ED)	кВт	17,5 / 12,5
Крутящий момент, макс. (40 % ED)	Нм	370 / 280
Диапазон скорости вращения, макс.	об/мин	4.000
Согласно ISO 230-2 по оси X- / Z- (система непрямого измерения)	мкм	8 / 8
Согласно ISO 230-2 на оси C	"	20
Число инструментальных позиций		12
Из них приводных		12
Диаметр крепления держателя	мм	40
Мощность привода (40 % ED) при 2.000 об/мин	кВт	4,2
Крутящий момент, макс. (40 % ED)	Нм	20
Скорость вращения, макс.	об/мин	4.000
Ход задней бабки	мм	500
Конус крепления центра в задней бабке	Мк	5
Усилие задней бабки, макс.	даН	800
Привод с шариковой винтовой парой по оси X- / Z- (D × P)	мм	40 × 10
Вес станка (без транспортера стружки)	кг	5.200
Вес станка (с транспортером стружки)	кг	5.800

В одной из крышек в первоначальной конструкции предусмотрено сквозное технологическое отверстие. Для его изготовления нам понадобится сверлильный станок. Из имеющихся сверлильных станков подойдет любой, так как максимальные габариты крышек не превышают десяти сантиметров. Данную рабочую область сможет обеспечить любой станок, например радиально сверлильный станок 2532Л;





Рисунок 13 Радиально сверлильный станок 2532Л

Таблица 13 - Характеристики сверлильного станка

Основные параметры станка	
Класс точности станка	Н
Наибольший условный диаметр сверления в стали 45, мм	32
Диапазон нарезаемой резьбы в стали 45, мм	M24 × 3
Расстояние от оси шпинделя до направляющей колонны (вылет шпинделя), мм	280..1000
Наибольшее горизонтальное перемещение сверлильной головки по рукаву, мм	720
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до плиты, мм	1120
Расстояние от торца шпинделя до стола, мм	630
Наибольшее вертикальное перемещение рукава по колонне (установочное), мм	-
Наибольшее вертикальное перемещение стола по колонне, мм	340
Диаметр колонны, мм	240
Угол поворота рукава вокруг колонны, град	360°
Размер поверхности плиты (ширина длина), мм	800 x 1120
Подъемный стол	
Размер поверхности стола (ширина длина), мм	450 x 1000
Угол поворота стола вокруг колонны, град	360°
Угол поворота стола вокруг горизонтальной оси, град	-80°, +90°
Цена деления шкалы поворота стола вокруг горизонтальной оси, град	1°
Скорость перемещения стола по колонне, мм/мин	314

## 2. Планирование жизненного цикла

### 2.1 Маркетинг и изучение рынка.

Ориентация производителя должна быть направлена на потребителя и весь персонал производства должен быть вовлечен в выпуск качественного товара.

Новые тенденции в проблеме человека и бизнеса связаны с бурным развитием информационных технологий. Адаптация российского производства в условиях рыночной экономики не возможна без коренной структурной технологической перестройки, включая:

- модернизацию структуры системы управления предприятием;
- техническую и технологическую модернизацию производства для организации выпуска конкурентоспособной продукции;

рациональную хозяйственную связь.

На сегодняшний день для достижения этих целей широко используют идеологию и положения международных стандартов ИСО серии 9000.

Качество продукции неразрывно связано со стабилизацией производства[1], снижением дефектов и издержек, следовательно с уменьшением себестоимости цены. Увеличение цены возможно, когда потребитель получает продукцию принципиально нового технологического уровня. Исходя из этого, был проведён опрос о качестве изделий выполненных из разных материалов у одного из непосредственных заказчиков по некоторым критериям:

Надёжность - свойство надежности товара сохранять работоспособность в течении некоторой наработки в часах без вынужденных перерывов. К показателям безотказности относятся вероятность безотказной работы, средняя наработка до первого отказа, наработка на отказ.

Ремонтопригодность - свойство объекта, заключающееся в проведения технического обслуживания и ремонта.

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Показатели стандартизации и унификации - это насыщенность продукции стандартными, унифицированными и оригинальными составными частями, а также уровень унификации

Эргономические показатели его соответствие гигиеническим, физиологическим, антропометрическим, и психологическим свойствам человека, проявляющимся при пользовании изделием.

Эстетические показатели характеризуют информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции, совершенство исполнения, стабильность товарного вида изделия.

Транспортабельность выражают приспособленность продукции для транспортировки.

Экологические показатели - это уровень вредных воздействий на окружающую среду, которые возникают при эксплуатации или потреблении продукции. Показатели экологичности товара - одни из важнейших свойств, определяющих уровень его качества. Все эти показатели по различным объектам регламентируются в соответствующих нормативных актах и документах (законах, стандартах, строительных нормах и правилах).

Показатели безопасности характеризуют особенности использования продукции с точки зрения безопасности для покупателя и обслуживающего персонала при монтаже, обслуживании, ремонте, хранении, транспортировании, потреблении продукции.

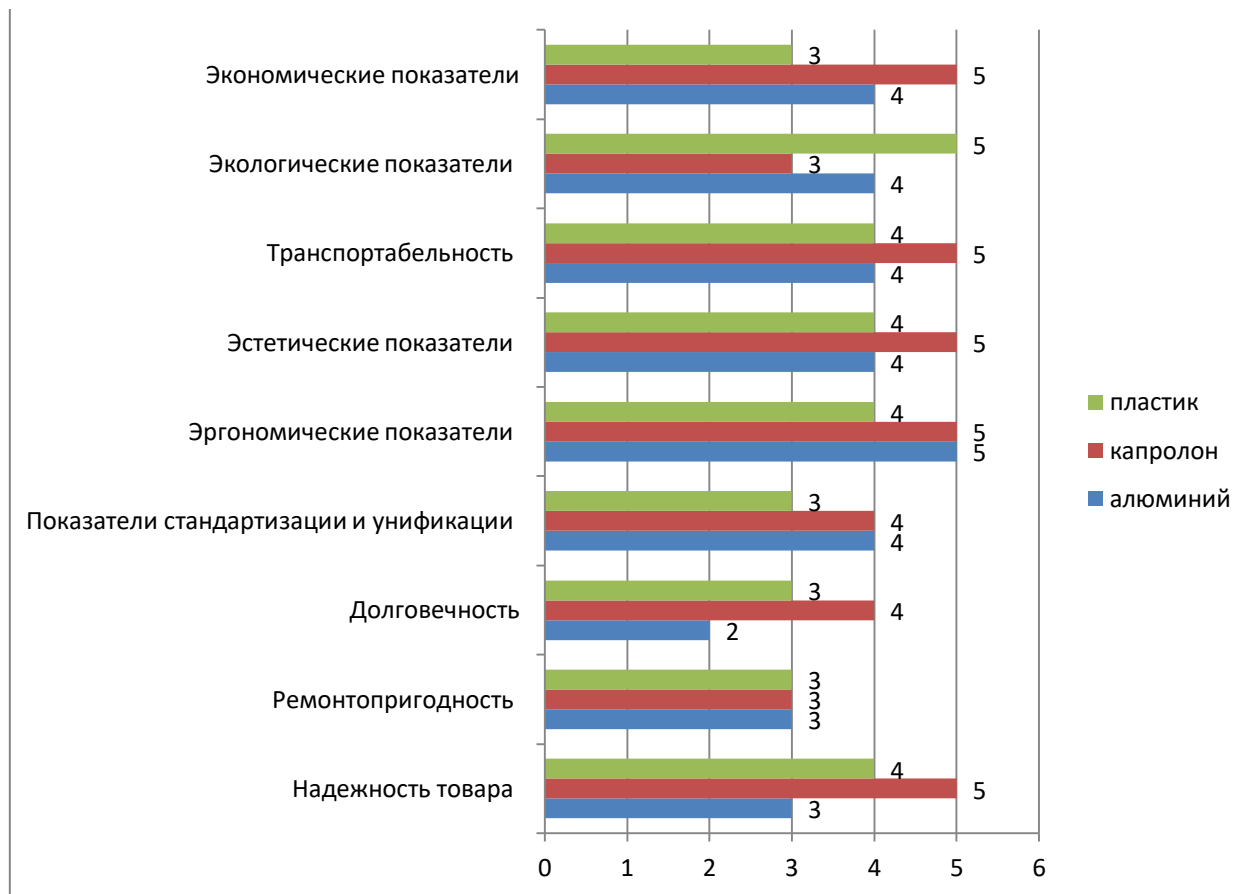


Рисунок 14 - Оценка качества продукции по критериям

Исходя из полученного опроса, рисунок 14, видны сильные и слабые стороны изделий. Низкое качество и высокая цена крышки из пластика связана с тем, что не имея принтера на производстве были заказаны несколько экземпляров у специализированной фирмы. После внедрения эти показатели можно исправить, путём использования более качественного пластика и снижение стоимости изделия за счёт его невысокой себестоимости.

## 2.2 Выбор технологии печати

### 2.2.1 Обзор технологий печати

На данный момент существует возможность печати практически любым материалом, от металлических сплавов, до дерева и пластика. В таблице ниже приведены существующие технологии и виды печати.

Таблица 14 типы аддитивных технологий и их виды

Технология	Вид
Фотополимеризация	SLA: Stereolithography, или Стереолитография
	DLP: Direct Light Processing, или Цифровая светодиодная проекция
	CDLP: Continuous DLP, или Непрерывная цифровая светодиодная проекция
Экструзия материала	FDM: Fused Deposition Modeling, или Моделирование послойным наплавлением
Струйное моделирование	MJ: Material jetting, или Струйная 3D печать
	NPJ: Nano particle jetting, или Струйная 3D печать наночастицами
	DOD: Drop-On-Demand, или Наплавление с выравниванием слоя летучим резцом
Нанесение связующего вещества	BJ: Binder Jetting, или Струйная печать связующим веществом
Плавка порошков	MJF: Multi Jet Fusion, или Мультиструйная плавка
	SLS: Selective Laser Sintering, или Выборочное лазерное спекание
	DMLS/SLM: Direct Metal Laser Sintering, или Прямое лазерное спекание металлов и Selective Laser Melting, или Выборочная лазерная плавка
	EBM: Electron Beam Melting, или Электронно-лучевая плавка
Послойная плавка материала лазером / Электронно-лучевая плавка	LENS: Laser Engineered Net Shape, или Плавка путём создания формы лазером
	EBAM: Electron Beam Additive Manufacture, или Электронно-лучевое аддитивное производство

Ламинирование	LOM: Laminated Object Manufacturing, или Печать объектов методом ламинирования
---------------	--

Вкратце о каждой из технологий печати.

### **Фотополимеризация.**

SLA: Stereolithography, или Стереолитография,

DLP: Direct Light Processing, или Цифровая светодиодная проекция,

CDLP: Continuous DLP, или Непрерывная цифровая светодиодная проекция

Суть технологии в том, что под воздействием света определённой волны на жидкую фотополимерную смолу она затвердевает. Стол, погружённый в смолу на толщину слоя, просвечивается лазером (в SLA – точно, CDLP/DLP- весь слой сразу) в местах согласно 3D модели[4]. Стол поднимается/опускается на толщину слоя и лазер просвечивает следующий слой.

Обычно такой принтер состоит из ёмкости для смолы, лазера и стола (рисунок 15). В зависимости от конфигурации и вида технологии подвижными могут быть как «стол» так и ёмкость со смолой.

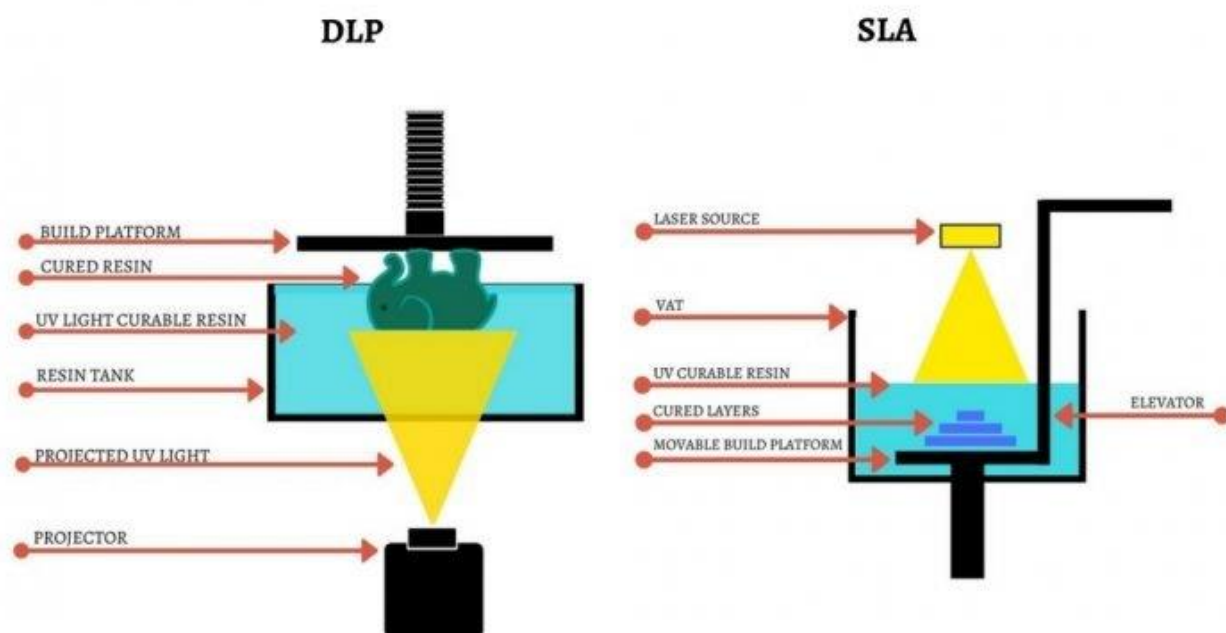


Рисунок 15, технологии SLA и DLP(справа на лево соответственно)

**Плюсы:** высокая точность печати (печать очень тонких слоёв), гладкая поверхность, наличие настольных и промышленных моделей.

**Минусы:** хрупкость моделей, длительное время печати, высокая стоимость принтеров и материалов для печати.

**Применение:** стоматология, медицина, ювелирное дело, литьевое формование, домашняя печать.

**Используемые материалы:** стандартные, прочные, гибкие, прозрачные и литейные смолы.

### **FDM: Fused Deposition Modeling, или Моделирование послойным наплавлением**

FDM печать, так же известная как FFF (Fused Filament Fabrication), или Производство методом наплавления нитей, является самым широко распространённым видом 3D печати[5].

Метод печати такой. Катушка с нитями термопластика загружается в принтер. Принтер непрерывно перемещает сопло в согласии с траекторией, заданной системой автоматизированного проектирования CAD, укладывая расплавленный материал в необходимых местах, рисунок 16. Существуют принтеры, которые позволяют печатать сразу несколькими соплами или материалами одновременно. Это способствует ускорению и увеличению качества печати.

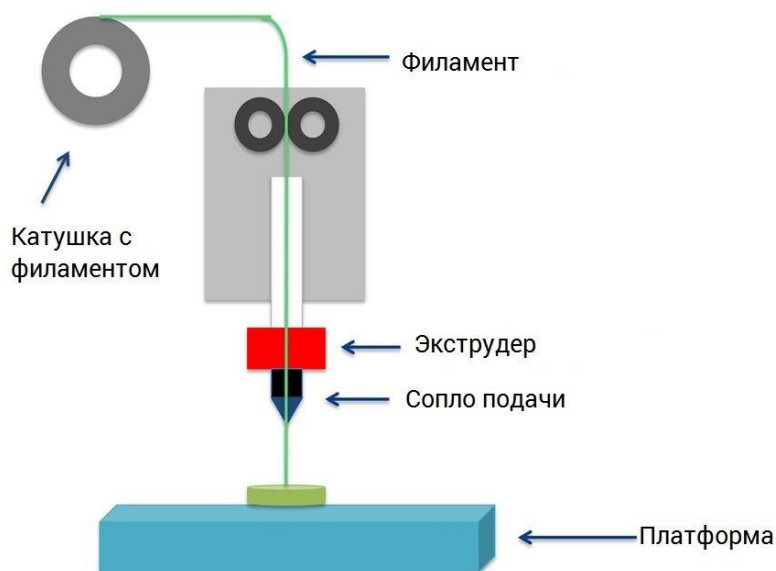


Рисунок 16 Устройство FDM принтера

**Плюсы:** низкая стоимость принтеров и материалов для печати, открытый исходный код, возможность купить такой принтер в разобранном состоянии по

низкой цене и собрать самостоятельно, печать несколькими материалами одновременно, быстрота печати.

**Минусы:** ограниченная точность печати (минимальный размер толщины слоя гораздо выше, чем у SLA принтера), шероховатая поверхность распечатков (хотя при печати определёнными материалами ее можно сгладить постобработкой), анизотропия.

**Применение:** прототипирование, промышленное производство, быстрое производство, домашняя печать.

**Используемые материалы:** термопластики и композиты, поставляемые в виде катушек — ABS, PLA, нейлон, PC, армированный волокнами нейлон, ULTEM, экзотические материалы (наполнение металлом, деревом и так далее).

### **Струйное моделирование**

MJ: Material jetting, или Струйная 3D печать

NPJ: Nano particle jetting, или Струйная 3D печать наночастицами

DOD: Drop-On-Demand, или Наплавление с выравниванием слоя летучим резцом

Струйное моделирование это что то среднее между FDM и SLA технологиями[6].

Технология MJ похожа на обычную 2D печать. В этой технологии используются фотополимеры, которые затвердевают под воздействием УФ света или под нагревом. Подавая фотополимеры из сотен крошечных сопел в печатающей головке (количество сопел варьируется от 96 до 448) позволяет печатать несколькими материалами одновременно, что часто используется для печати поддержек модели из растворимых материалов для их более легкого удаления после печати.

MJ принтер печатает модель слой за слоем. MJ печать отличается от FDM и SLA более высокой скоростью: в то время как FDM и SLA принтеры строят объекты точно, следуя определённой траектории (FDM принтеры экструдировать материал точка за точкой, а SLA точно запекает смолу), MJ принтеры



накладывая на платформу весь слой сразу. Когда капли материала оказываются на платформе, они обрабатываются УФ светом, и слой затвердевает, рисунок 17. Все опоры модели можно печатать одновременно с самой моделью, используя при этом растворимый материал. Когда изделие готово, поддержки можно легко удалить с помощью воды под давлением или искупав изделие в ультразвуковой ванне.

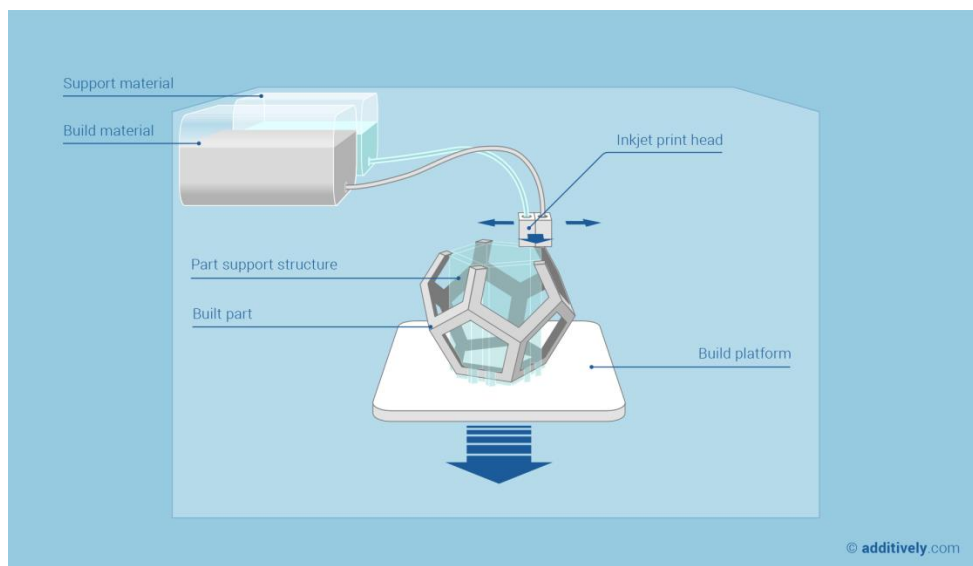


Рисунок 17- Принцип печати технологии MJ

Технология NPJ (Nano particle jetting, или Струйная 3D печать наночастицами) очень похожа на предыдущую (MJ), только здесь используется жидкость, содержащая наночастицы металлов, которую оператор загружает в принтер в качестве картриджа. Сопла принтера распределяют жидкость по платформе струей или небольшими каплями, в то время как высокая температура внутри корпуса приводит к испарению жидкости, после чего на платформе остаётся лишь слой из металла.

В технологии DOD (Drop-On-Demand, или Направление с выравниванием слоя летучим резцом) есть две печатающие головки: одна распределяет воскоподобный материал на платформе, а другая создаёт поддержки из растворимого материала. Подобно FDM и SLA принтерам, принтеры DOD следуют заранее заданной траектории и распределяют материал точно. В принтерах DOD также используется летучий резец для выравнивания каждого слоя, так как для улучшения качества распечатка необходимо создать ровную поверхность перед печатью следующего слоя.

**Плюсы:** высокая точность печати (печать очень тонких слоёв), печать несколькими материалами одновременно, гладкая поверхность распечатков, высокая детализация, цветная печать.

**Минусы:** высокая цена принтеров и материалов для печати, фотополимерные распечатки могут быть довольно хрупкими, ограниченный выбор материалов для печати.

**Применение:** высокоточное прототипирование, реалистичное прототипирование, разработка электронных компонентов, стоматология, ювелирное производство, высокоточное прототипирование, создание форм для последующего отливки, промышленный и архитектурный дизайн.

**Используемые материалы:** жёсткие, прозрачные, многоцветные фотополимеры, термопластики, нержавеющей сталь, керамика, воск.

### **Нанесение связующего вещества**

**VJ:** Binder Jetting, или Струйная печать связующим веществом

При VJ печати, клейкое связующее вещество наносится на тонкие слои порошкообразного материала. Материалы бывают керамической основы (например, стекло или гипс) или металлической (например, нержавеющей сталь). Печатающая головка перемещается над платформой, распределяя капли связующего вещества по слою материала. Когда первый слой готов, платформа опускается вниз на размер одного слоя, и сверху насыпается новый слой порошка. Процесс повторяется до завершения всех слоёв, рисунок 18. После печати деталям необходима постобработка. Зачастую для улучшения механических свойств деталей, в связующее вещество добавляют уплотнители, такие как цианоакрилатный клей (в случае керамики) или бронза (в случае металлов). Для придания распечаткам цвета, в связующее вещество могут добавить краситель.

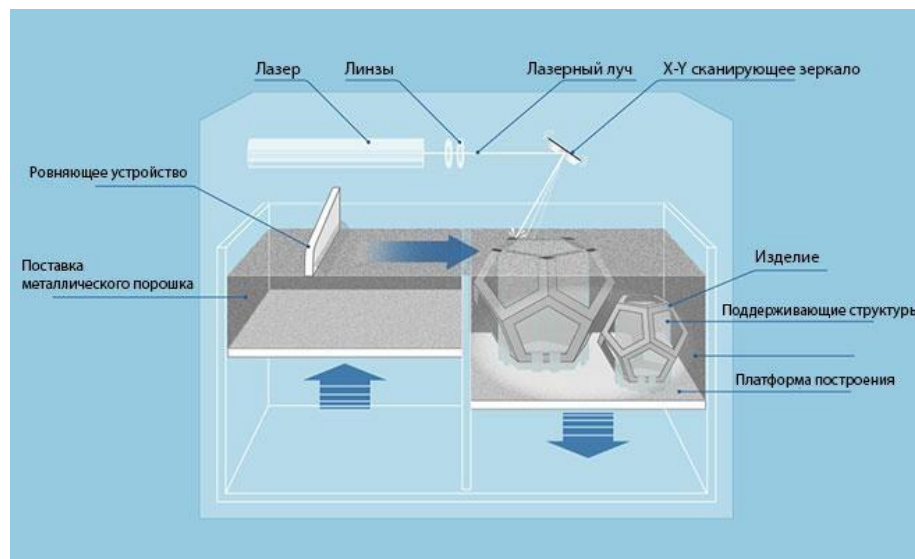


Рисунок 18 - Принцип технологии VJ

**Плюсы:** цветная печать, долговечные распечатки, отсутствие поддержек, возможность использовать оставшийся после печати материал для новой распечатки.

**Минусы:** невысокая прочность распечатков.

**Применение:** печать на керамической основе идеально подходит для создания архитектурных моделей, форм для литья в песчаную форму, сувениров, украшений. Металлические детали могут быть использованы в качестве функциональных компонентов — они более дешёвые, чем металлические детали SLM или DMLS, но и их механические свойства хуже.

**Используемые материалы:** кремнистый песок, гипс, металлы, пластики, песчаные смеси, керамика, кобальт-хром, карбид вольфрама.

### **Плавка порошков (Powder Bed Fusion)**

MJF: Multi Jet Fusion, или Мультиструйная плавка

SLS: Selective Laser Sintering, или Выборочное лазерное спекание

DMLS/SLM: Direct Metal Laser Sintering, или Прямое лазерное спекание металлов и Selective Laser Melting, или Выборочная лазерная плавка

EBM: Electron Beam Melting, или Электронно-лучевая плавка

Печать методом Плавки порошков, или Powder Bed Fusion, происходит за счёт термической обработки порошкообразного материала. Под тепловым

воздействием порошки металла/пластика спекаются либо плавятся слой за слоем, образуя распечаток. Методы PBF отличаются друг от друга используемым источником энергии и видом применяемых порошков.

Большинство PBF принтеров оснащены механизмом для разглаживания тонких слоев порошка в процессе печати. После завершения печати лишний не запёкшийся песок удаляют, и остается твердый распечаток.

Мультиструйная плавка (MJF: Multi Jet Fusion)— это по сути, комбинация технологии SLS, описанной выше, и струйной 3D печати. Печатающая головка принтера с соплами, аналогичными соплам 2D принтера, распространяет плавящее вещество на тонкий слой порошкового пластика, засыпанного в специальную емкость. По краям слоя модели сопла печатают веществом, препятствующим процессу спекания (так создается контур слоя). Затем, мощный источник ИК излучения проходит над емкостью с порошком и спекает области, покрытые плавящим веществом, оставляя остальную часть порошка нетронутой. Процесс повторяется до тех пор, пока все слои не будут завершены.

**Плюсы:** печать объектов со сложной геометрией; отсутствие поддержек; очень высокая прочность распечатков и механические свойства, сопоставимые с самим материалом (а иногда и лучше); разнообразные методы постобработки, позволяющие создавать предметы с гладкой поверхностью.

**Минусы:** шероховатая поверхность и пористость деталей без постобработки, усадка или деформация деталей во время обработки.

**Применение:** функциональные прототипы, печать готовых деталей.

**Используемые материалы:** нейлон.

**Технология SLS** (Selective Laser Sintering) - выборочного, или же селективного, лазерного спекания позволяет создавать крепкие пластиковые детали при помощи спекания тонких слоёв порошка лазером (чаще всего, углекислотным) слой за слоем. На платформу насыпается первый слой порошка, и запекается лазером согласно дизайну (лазер вычерчивает поперечное сечение модели по порошку). Затем платформа опускается на толщину одного слоя, сверху насыпается новый слой порошка, и снова обрабатывается лазером. Процесс

продолжается до завершения печати всех слоев модели. Потом готовую деталь достают из порошка, прочищают, и, при необходимости, подвергают постобработке.

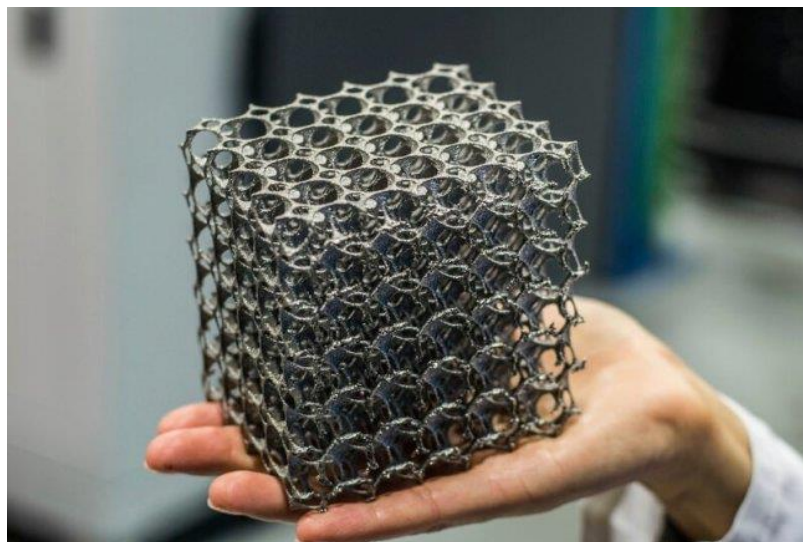


Рисунок 19 Пример печати сложной геометрии

**Плюсы:** печать объектов со сложной геометрией, рисунок 19; отсутствие поддержек; очень высокая прочность распечатков и механические свойства, сопоставимые с самим материалом (а иногда и лучше); разнообразные методы постобработки, позволяющие создавать предметы с гладкой поверхностью; многообразие доступных материалов для печати.

**Минусы:** высокая стоимость принтеров.

**Применение:** функциональные прототипы, печать готовых деталей.

**Используемые материалы:** нейлон, нейлон с углеродным волокном, PEEK, TPU, алюминид (материал, состоящий из нейлона, наполненного алюминиевой пылью).

**SLM и DMLS принтеры** печатают модели по такому же принципу, что и SLS принтеры, только из металлического порошка[7]. SLM предполагает полную плавку порошка, в то время как DMLS принтеры нагревают порошок почти до температуры плавления, и частицы порошка сплавляются через химическую реакцию. При DMLS печати используются сплавы (никелевые сплавы, Ti64 и другие), SLM принтеры могут работать и с чистыми металлами (например,

алюминием). SLM и DMLS модели печатаются с опорами, чтобы исключить деформацию распечатка от остаточного механического напряжения.

**Плюсы:** Печать объектов со сложной геометрией; печать полых объектов. Очень высокая прочность распечатков и механические свойства, сопоставимые с самим материалом (а иногда и лучше). Разнообразные методы постобработки, позволяющие создавать предметы с гладкой поверхностью. Многообразие доступных материалов для печати; высокое разрешение распечатков; безотходное производство (неиспользованный порошок в камере можно использовать для печати других моделей); быстрее, чем литейный процесс; отсутствие сварочных швов.

**Минусы:** высокая стоимость принтеров, наличие поддержек, детали менее прочные, чем отлитые аналоги.

**Применение:** функциональные прототипы, печать готовых деталей, печать имплантов, аэрокосмическая промышленность, стоматология, медицина.

**Используемые материалы:** алюминий, титан, нержавеющая сталь, никелевые сплавы, кобальт-хромовые сплавы и золото.

**Принтеры EBM** (Electron Beam Melting) используются для печати металлических объектов. Печать происходит следующим образом. В рабочую камеру засыпается металлический порошок, принтер плавит этот порошок мощными электронными излучателями слой за слоем согласно поперечным сечениям цифровой модели, рисунок 20. Весь процесс происходит в вакуумной среде. Электронно-лучевая печать не требует создания опорных конструкций для модели ввиду отсутствия остаточного механического напряжения, вызываемого градиентом температур между охлажденными и горячими слоями. Кроме того, EBM использует меньше энергии и может производить слои быстрее, чем SLM и DMLS, но качество данных моделей будет хуже: EBM принтеры печатают более крупные детали с более высокой толщиной слоя и менее гладкой поверхностью, чем SLM и DMLS принтеры.

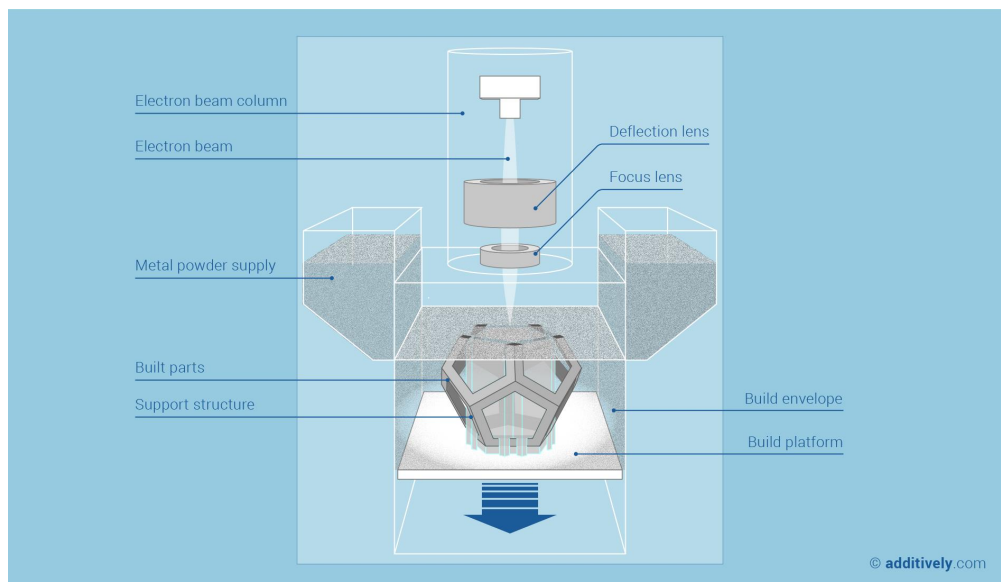


Рисунок 20 - Принцип технологии EBM

**Плюсы:** высокая плотность и механическая прочность объектов; печать объектов со сложной геометрией; печать полых объектов; отсутствие поддержек; безотходное производство (неиспользованный порошок в камере можно использовать для печати других моделей); быстрее, чем литейный процесс; отсутствие сварочных швов; печать в вакуумной камере позволяет работать с материалами, чувствительными к оксидации; высокая скорость печати.

**Минусы:** высокая стоимость принтеров, более низкое разрешение, чем у SLM и DMLS принтеров.

**Применение:** производство монолитных изделий, функциональные прототипы, печать готовых деталей, печать имплантов, аэрокосмическая промышленность, медицина.

**Используемые материалы:** титан, кобальт-хромовые сплавы.

### **Послойная плавка материала лазером / Электронно-лучевая плавка**

LENS: Laser Engineered Net Shape, или Плавка путём создания формы лазером

EBAM: Electron Beam Additive Manufacture, или Электронно-лучевое аддитивное производство

Технологии LENS и EBAM, объединенные в эту группу, создают модели путём плавки материала во время его распределения в слой, рисунок 21. Эти

методы чаще всего используются для плавки металлического порошка или проволоки.

Принтеры LENS оснащены лазерной головкой, соплом, дозирующим порошок материал, и трубкой инертного газа (эти три элемента составляют печатающую головку) для послойной печати моделей[8]. Лазерный луч фокусируется на небольшую точку одной или несколькими линзами и создает плавильную ванну на платформе. Сопло выбрасывает металлический порошок в эту плавильную ванну, где он запекается. Платформа движется по осям X и Z, чтобы создать поперечное сечение модели. Когда слой готов, печатающая головка поднимается вверх на уровень одного слоя и продолжает печать. Инертный газ используется для защиты плавильной ванны от кислорода, что дает больший контроль над свойствами распечатки и позволяет повысить прочность межслоевого скрепления.

Основой для печати служит либо тонкая металлическая пластина, либо готовая деталь, в которую требуется добавить элемент или отремонтировать.

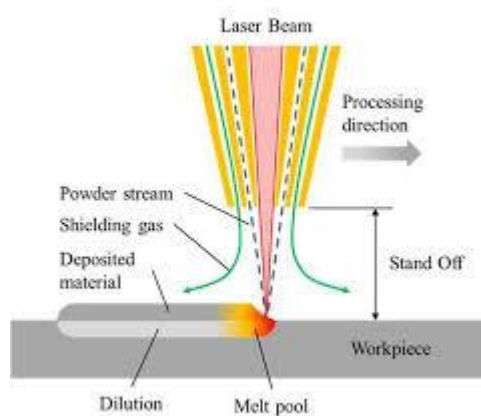


Рисунок 21 принцип работы LENS/EBAM принтера

**Плюсы:** высокая плотность и механическая прочность распечатков, возможность печатать прямо на готовом объекте.

**Минусы:** высокая стоимость принтеров, необходимость прочной поддержки.

**Применение:** печать металлом, ремонт объектов, добавление элементов к существующим объектам.

**Используемые материалы:** титан, нержавеющая сталь, алюминий, медь, инструментальная сталь.



Принтеры EBAM используют для плавки материала электронный пучок. Данная технология похожа на LENS: металлический порошок или проволока поставляются на платформу соплом, плавятся мощным электронным пучком и затвердевают. Принтеры печатают модель слой за слоем до полного завершения детали. По сравнению с LENS, использование электронных лучей считается более эффективным; печать происходит в вакууме.

**Плюсы:** высокая плотность и механическая прочность объектов, возможность печатать прямо на готовом объекте.

**Минусы:** высокая стоимость принтеров, необходимость прочной поддержки.

**Применение:** печать металлом, ремонт объектов, добавление элементов к существующим объектам.

**Используемые материалы:** титан, нержавеющая сталь, алюминий, медный никель, сталь 4340.

### **Ламинирование**

LOM: Laminated Object Manufacturing, или Печать объектов методом ламинирования

Печать путем ламинирования заключается в послойном склеивании материала и использованием лазера или лезвия для создания контура объекта.

При печати LOM на платформу или готовый объект разогретым роликом наклеивается лист выбранного материала. Затем лазер вырезает объект по контуру согласно вашему дизайну, а излишки материала удаляются. Платформа опускается, и свежий лист клейкого материала подается в рабочую камеру. Платформа поднимается вверх, и новый слой прилипает к предыдущему. Процесс повторяется до завершения печати всего объекта.

**Плюсы:** дешёвые материалы для печати, различные варианты постобработки (шлифовка, сверление, покраска), производство крупных моделей.

**Минусы:** невысокая прочность моделей, ограниченность применения, низкое разрешение печати (толщина слоя равна толщине материала, в то время как другие методы печати обеспечивают толщину слоя в несколько микрон).

**Применение:** быстрое прототипирование, создание макетов.

**Используемые материалы:** бумага, металлическая фольга, пластик.

## **2.3 Подбор материала для изготовления**

### **2.3.1 Обзор Материалов**

Благодаря своей доступности и активному open-source движению, 3D принтеры уже есть везде - в офисах, в домах, в школах, на производствах.

Самые распространенные материалы для 3D печати - термопластики PLA и ABS, но на самом деле список материалов можно продолжать очень долго. Эти материалы могут содержать нейлон, поликарбонат, полипропилен и многое другое. Самые распространённые пластики рассмотрим более подробно.

**ABS (акрилонитрилбутадиенстирол, АБС)** - это ударопрочная техническая термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом. Этот пластик непрозрачный, легко окрашивается в разные цвета.

Достоинства ABS - это долговечность, ударопрочность и относительная эластичность, не токсичность, влаго и маслостойкость, стойкость к щелочам и кислотам, широкий диапазон эксплуатационных температур: от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , у модифицированных марок до  $103\text{--}113\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

К достоинствам следует отнести невысокую стоимость, растворимость в ацетоне (что позволяет не только склеивать детали из ABS, но также сглаживать с помощью ацетона неровную поверхность). ABS более жесткий, чем PLA, и потому сохраняет форму при больших нагрузках.

Недостатки ABS пластика – это несовместимость с пищевыми продуктами, особенно горячими, поскольку при определенных условиях (высокой температуре) может выделять циановодород; неустойчивость к ультрафиолетовому излучению; термоусадка, хрупкость.

Рабочая температура находится в диапазоне  $210\text{--}270\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При работе с нитью ABS ощущается слабый запах. Кроме того, для лучшего прилипания первого слоя модели к рабочему столу требуется подогрев стола примерно до  $110$  градусов.

**PLA (полилактид, ПЛА)** - биоразлагаемый, биосовместимый полиэфир, мономером которого является молочная кислота. Сырьем для производства служат

возобновляемые ресурсы - например, кукуруза или сахарный тростник, поэтому материал является нетоксичным и может применяться для производства экологически чистой упаковки и одноразовой посуды, а также в медицине и в средствах личной гигиены.

Достоинства PLA – это низкий коэффициент трения, делающий его пригодным для изготовления подшипников скольжения, малая термоусадка, особенно в сравнении с ABS, менее хрупкий и более вязкий, чем ABS: при одинаковых нагрузках скорее согнется, чем сломается. Рабочая температура в диапазоне от 180–190 °С. Подогрев рабочего стола не является обязательным, но желательно всё же нагревать стол до 50–60 °С.

Недостатки: меньшая, чем у ABS, долговечность. PLA более гигроскопичен, при хранении требует соблюдения режима влажности, иначе может начаться расслоение материала и появление в нем пузырьков, что приведет к дефектам при изготовлении модели.

Ацетон практически не оказывает воздействия на PLA, его приходится склеивать и обрабатывать дихлорэтаном, хлороформом или другими хлорированными углеводородами, что требует повышенных мер безопасности при печати.

**Polyethylene terephthalate (PET)** - самый распространенный вид пластика в мире. Вам он может быть знаком как полимер, используемый для бутылок из-под воды, контейнеров для еды.

"Чистый" PET редко используется для 3D печати, но его разновидность - PETG - достаточно распространенный материал. "G" означает "glycol-modified", что делает материал чище, менее хрупким и, что самое важное, его проще использовать для 3D печати чем стандартный PET. PETG часто позиционируют как нечто среднее между ABS и PLA, два самых распространенных материала для 3D печати. PETG более пластичный и чем PLA и им легче печатать чем ABS пластиком.

PETG достаточно универсальный материал с хорошей жесткостью и сопротивлением высоким температурам. Благодаря этому PETG отлично проявит

себя для изготовления отдельных деталей для механизмов, машин, того же 3D принтера. Отлично подойдет для защитных изделий и корпусов.

**Нейлон**, его главные преимущества – это неподверженность износу ввиду трения, благодаря чему он пользуется большой популярностью в различных отраслях промышленности, в частности, для покрытия деталей в качестве альтернативы смазке. Легко впитывает влагу, сплавляется с полиимидом, что требует особой тщательности при выборе принтера, для более надежной фиксации с рабочим столом следует использовать пропитанную воском липкую ленту. Рекомендован для заправки принтеров с шипованными протягивающими механизмами в составе экструдеров, а также для печати цельных моделей, так как детали из нейлона между собой склеиваются очень плохо.

В качестве материалов поддержки используют разрушаемые или легко растворимые материалы. Наиболее доступным вариантом является использование того же материала, из которого создается модель. В этом случае после завершения печати необходимо механически удалить поддержку, после чего отшлифовать место слома.

Второй вариант – использование более хрупкого материала или материала, который имеет низкое сцепление с основным. Например, принтеры с двумя экструдерами могут использовать в качестве материала поддержки PVA, HIPS или PLA-пластики, а в качестве основных – ABS, PLA и т.д. (существуют также идеальные пары: ABS-HIPS и PLA-PVA).

**HIPS (High-impact Polystyrene, ударопрочный полистирол)** - материал непрозрачный, жесткий, твердый, стойкий к ударным воздействиям, к морозу и перепадам температур. Растворяется в лимонене — естественном растворителе, извлекаемом из цитрусовых, и потому может использоваться для создания поддерживающих структур, которые не придется удалять механически. Рабочая температура около 230 °С.

Если делать сравнительную характеристику пластиков, то мы получим следующее:

Таблица 15 Сравнительная таблица стандартных материалов

Материал	Легко использовать	Физические свойства (максимум 4)		
		Прочность	Гибкость	Долговечность
PLA	Да	2	1	2
ABS		2	2	3
PETG (PET, PETT)		2	2	3
Nylon		3	3	4
TPE, TPU, TPC		1	4	3
PC		4	2	4

То есть при выборе более прочного и долговечного пластика сложность работы с ним увеличивается.

При выборе принтера следует исходить из возможного увеличения объема деталей и дальнейшего использования профессиональных пластиков. Некоторые из них приведены в таблице ниже.

Таблица 16 Сравнительная таблица профессиональных материалов

Материал	Физические свойства (максимум 4)			Особенные свойства
	Прочность	Гибкость	Долговечность	
Carbon Fiber	3	1	3	
PC-ABS	3	2	3	
HIPS				Материал суппортов
PVA				Материал суппортов
Wax (MOLDLAY)				Восковой
ASA	2	2	3	Атмосферостойкий
PP	2	3	2	
Acetal (POM)	2	1	2	
PMMA (Acrylic)	2	2	3	Прозрачный
Cleaning				Очищает печатную головку
FPE	1	4	3	Очень гибкий
Ceramic (Clay)	1	1	1	Печать керамикой

### Вывод

В настоящий момент на рынке есть множество производителей пластиков. Цена одного и того же пластика у разных производителей может отличаться в разы как накрутка за брэнд, а качество пластиков может отличаться кардинально. К тому же добавки, отвечающие за цвет в пластике, так же влияют на качество спекаемости материала, как в лучшую, так и в худшую сторону. В следующем разделе описан процесс, который позволит определиться с пластиком, подобрать

настройки печати и сэкономить значительную часть средств и времени при эксплуатации принтера.

## 2.4 Печать на 3D принтере

### 2.4.1 Калибровка печати

Ознакомившись с техническим заданием, необходимо было изучить процедуру проверки 3D принтера. Данную процедуру можно разделить на две. Первая это калибровка «стола» и осей, а вторая процедура включает в себя печать фигурок для калибровки.

Суть первой процедуры заключается в том, что необходимо выставить одинаковое расстояние от сопла до стола равное примерно 0,2 мм.



Рисунок 22 Процедура настройка зазора между соплом и столом.

Данное расстояние обусловлено тем, что самая распространённая толщина слоя для печати является 0,2 мм. Толщина слоя обычно вдвое меньше диаметра сопла, для сопла 0,4 мм требуется расстояние от сопла до стола равное 0,2мм. Следовательно, при печати крупных моделей есть возможность замены на сопло с большим диаметром для ускорения процесса печати, что требует соответствующей настройки расстояния.



Рисунок 23 Процедура настройка зазора между соплом и столом с помощью листа бумаги.

Как происходит процедура ручной настройки уровня стола (Рисунок 23):

Закручиваем все винты, выравнивающие стол до максимума. На экране управления заставляем все оси прийти в ноль.

На экране управления заставляем все оси прийти в ноль.

На экране отключаем моторы.

Двигая руками стол и каретку по осям Y и X над всеми углами стола, выкручиваем все винты стола так, чтобы он был чуть-чуть ниже сопла.

Теперь берем кусочек листа офисной бумаги А4 (не из блокнота – там часто другая толщина) и подкладывая его между соплом и столом настраиваем винты стола так, чтобы бумага, при попытке ее достать ощутимо тормозилась соплом, но при ее убиении сопло не касалось стола.

Существует несколько способов упростить это процедуру. Некоторые принтеры оборудованы датчиками уровня (концевые либо индуктивные) как на рисунке 24. В программе прошита процедура измерения, путём последовательного замера контрольных точек. На основании этих данных, одни принтеры подгоняют программу печати под неровности стола, вторые указывают какие винты нужно подкрутить по уровню.



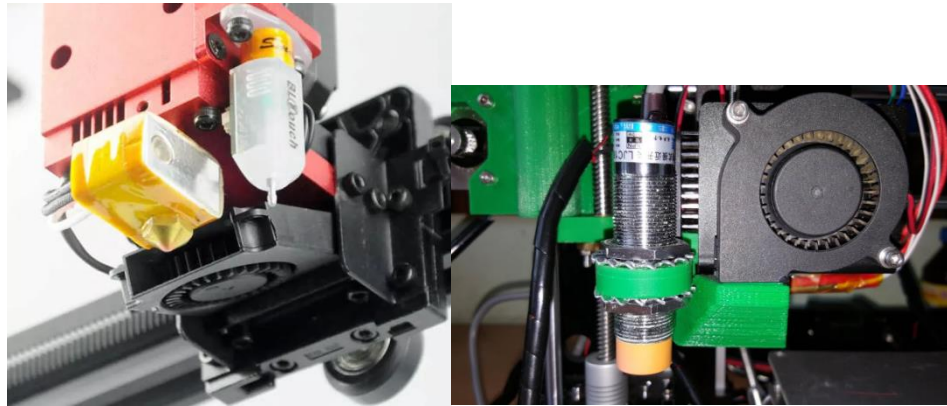


Рисунок 24 Виды датчиков для настройки уровня стола.

## 2.4.2 Печать калибровочных моделей.

Следующим этапом для настройки печати является печать специальных калибровочных моделей. Это необходимо для настройки режимов печати того или иного пластика. Существует большое количество моделей для калибровки. С виду некоторые кажутся совсем не примечательными, но содержат в себе большое количество плоскостей, размеров, диаметров. На рисунке 25 пример модели для калибровки. Это одна из самых популярных моделей для калибровки, под названием Benchy.

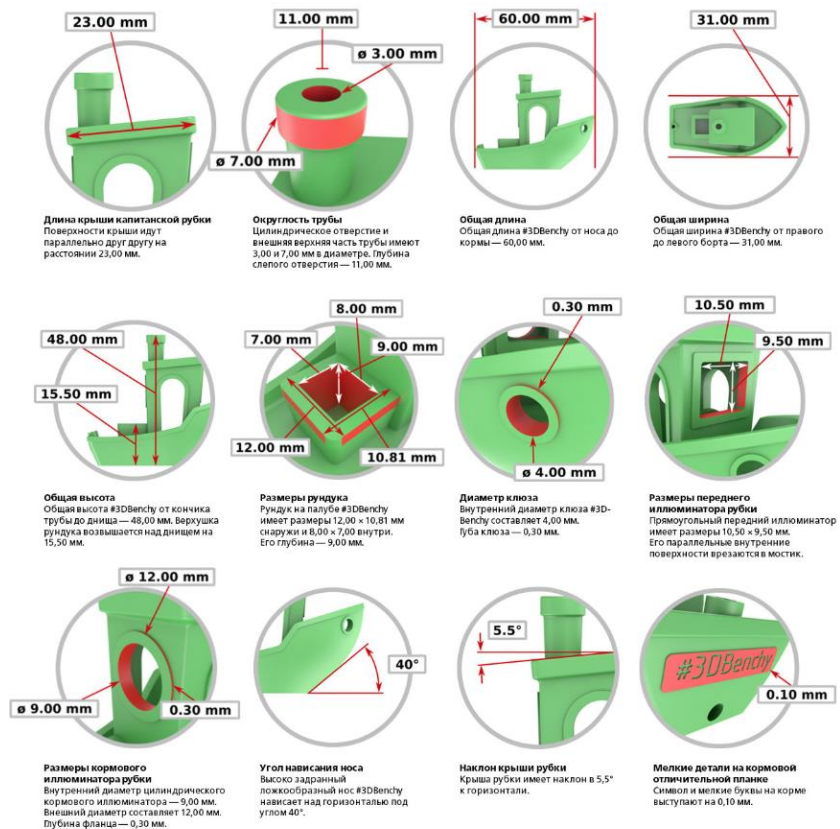


Рисунок 25 размеры модели для проверки.

Печать таких моделей позволяет найти и отладить как возможные неточности принтера, так и настройки печати для того или иного пластика.

В рамках своего исследования я решил воспользоваться другой, более простой моделью (рисунок 26), напечатав несколько деталей разными пластиками и с различным заполнением.

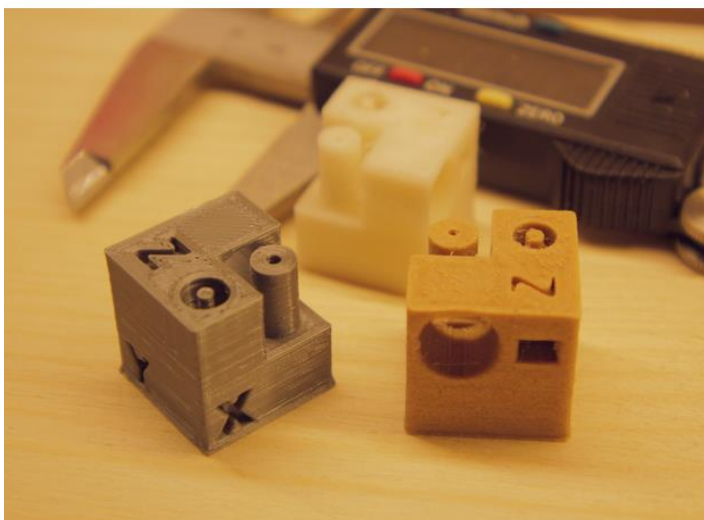


Рисунок 26 модель для калибровки.

## 2.5 Испытание калибровочных моделей в термокамере

У каждого материала есть свой показатель «усадки» и при моделировании модели для печати следует сделать поправки в ту или иную сторону. В исследовании участвовали пластики **PLA** и **PETG**. Было напечатано по две модели с 20% и 100% заполнением, рисунок 27.

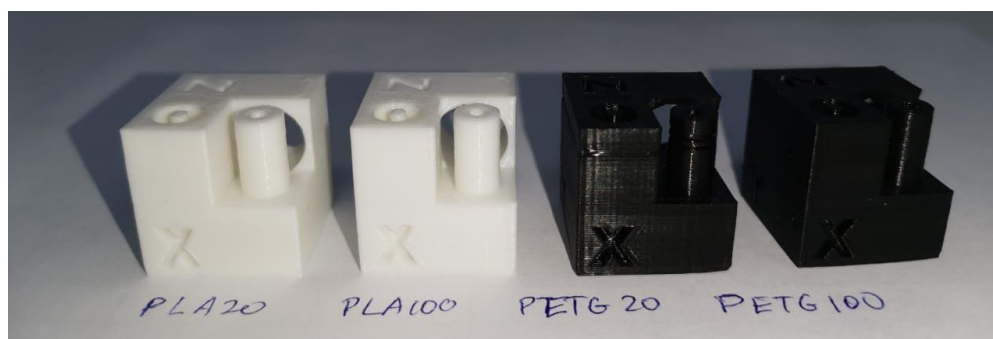


Рисунок 27 испытываемые модели.

На образцах из материала PETG отчётливо видны межслойные дефекты. Это может быть связано как с неоптимальными режимами печати, так и с

некачественным сырьём. Но для основного, термического испытания пойдут и такие. На предварительном этапе необходимо замерить основные размеры моделей для последующего сравнения с эталоном и с итогами термической обработки. На рисунке 28 показана развёртка куба с контролируемыми размерами.

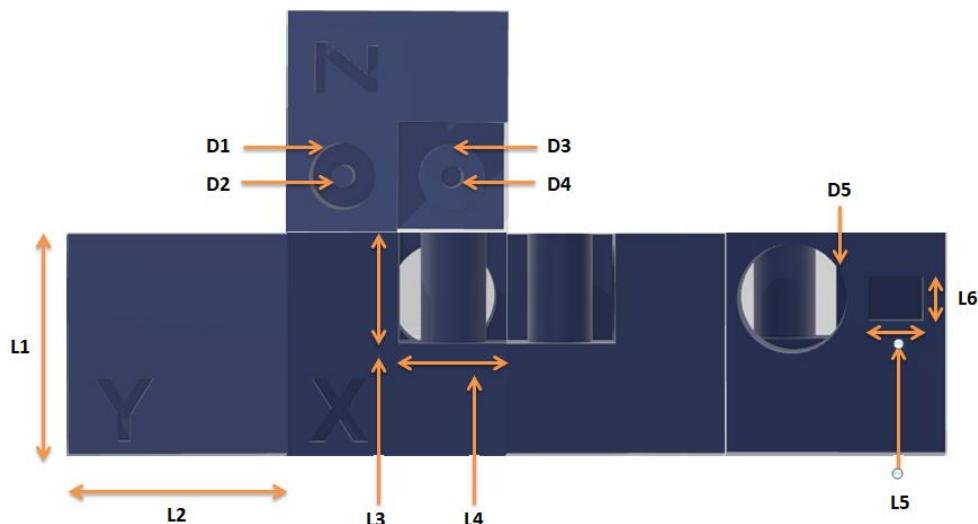


Рисунок 28 Контролируемые размеры.

Результаты измерений готовых моделей, следующие:

Таблица 17 Значения контролируемых размеров.

	PLA 20%	PLA 100%	PETG 20%	PETG 100%
l1	20,09	20,1	20,13	20,2
l2	20,04	20,1	20,17	20,15
l3	10,01	10,15	10,01	10,01
l4	9,9	9,9	10	10,01
l5	4,8	4,8	5	5
l6	3,75	3,75	3,9	3,8
d1	5,8	5,75	5,8	5,75
d2	2,04	2,01	1,95	1,9
d3	1,8	1,83	1,9	18,5
d4	5,9	6	5,85	5,95
d5	9,7	9,8	9,8	9,5

Обычно, после таких измерений следуют правки в 3D модели или калибровка настроек принтера.

Таблица 18 Погрешность в % от предполагаемого размера.

	Модель	PLA 20%	PLA 100%	PETG 20%	PETG 100%
l1	20	0,45	0,5	0,65	1
l2	20	0,2	0,5	0,85	0,75
l3	10	0,1	1,5	0,1	0,1

l4	10	-1	-1	0	0,1
l5	5	-4	-4	0	0
l6	4	-6,25	-6,25	-2,5	-5
d1	6	-3,33	-4,17	-3,33	-4,17
d2	2	2	0,5	-2,5	-5
d3	2	-10	-8,5	-5	825
d4	6	-1,67	0	-2,5	-0,83
d5	10	-3	-2	-2	-5

Для сравнения, в таблице 18 можно посмотреть разницу с оригинальными размерами модели. Далее можно перейти к термическому испытанию на предмет усадки.

Условия испытания таковы, что необходимо проверить материал на усадку в тех же режимах, в которых испытывается оборудование(+90 градусов на протяжении 3 часов). Результаты испытания можно увидеть на рисунке 29 и таблице 19.

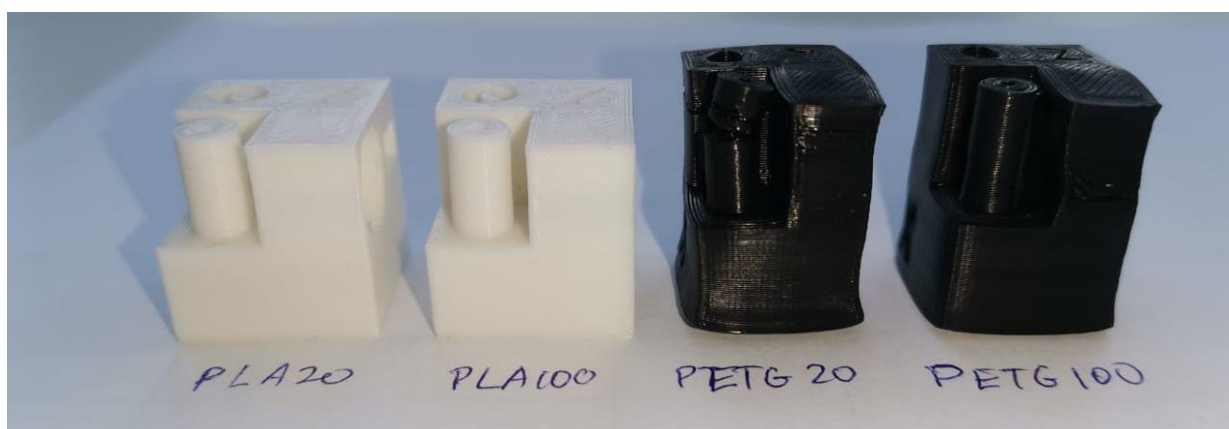


Рисунок 29 Результаты термического испытания.

Таблица 19 Значения контролируемых размеров.

	PLA 20%	PLA 100%	PETG 20%	PETG 100%
l1	20,25	20,2	18,1	18
l2	19,9	19,7	25,2	25,2
l3	10,1	10,15	12,3	12,75
l4	9,8	9,85	8,5	8,85
l5	4,8	4,8	4,3	4,5
l6	3,75	3,8	3,45	3,9
d1	5,5	5,6		
d2	2	2,1		

d3	1,6	1,65		
d4	5,85	5,9		
d5	9,7	9,9		

По результатам испытания видно, что материал PETG не подходит для работы и испытаний в заданном режиме (3 часа при +90 градусах).

Из-за большой усадки материала PETG его нельзя использовать. Поскольку, предполагаемая деталь имеет резьбовое соединение, а это может привести деформации оборудования и другим негативным последствиям.

Материал PLA подходит для использования, внося небольшие коррективы в модель, в некоторых местах можно поставить печать поддержки, для дополнительной опоры основной части детали при печати.

В таблице 20 можно увидеть разницу в процентах, между деталями до и после термической обработки.

Таблица 20 Погрешность в % от предполагаемого размера.

	PLA 20%	PLA 100%	PETG 20%	PETG 100%
11	-0,79	-0,5	11,22	12,22
12	0,7	2,03	-19,96	-20,04
13	-0,89	0	-18,62	-21,49
14	1,02	0,51	17,65	13,11
15	0	0	16,28	11,11
16	0	-1,32	13,04	-2,56
d1	5,45	2,68		
d2	2	-4,29		
d3	12,5	10,91		
d4	0,85	1,69		
d5	0	-1,01		

### **Вывод:**

В данном эксперименте был изучен процесс калибровки оборудования для 3D печати, калибровка 3D модели по напечатанному образцу и свойства материалов при длительном термическом воздействии.

С помощью калибровочных моделей можно оптимизировать настройки печати, провести различные испытания и определив предварительные

направления для использования того или иного материала, а так же определится с производителем сырья и видом пластика.

## 2.6 Проектирование и разработка конструкции крышки

Поскольку по условия договора с работодателем, чертежи и размеры являются интеллектуальной собственностью компании, то за не имением возможности показывать чертежи, я могу лишь привести обзор технических решений.

Для удобства работы и эксплуатации руками без скольжения, на оригинальных крышках (сделанных из алюминия или капролона) в местах хвата заложено сетчатое рифление, рисунок 30.

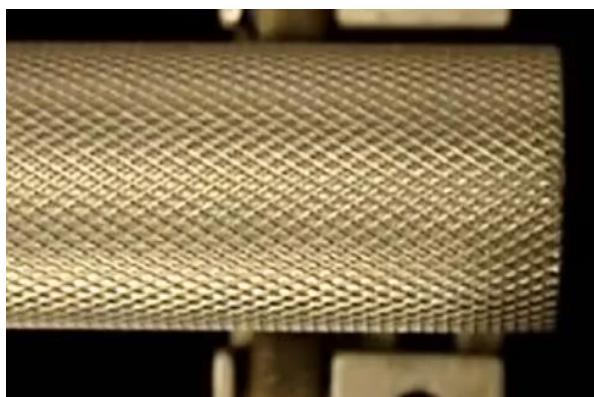
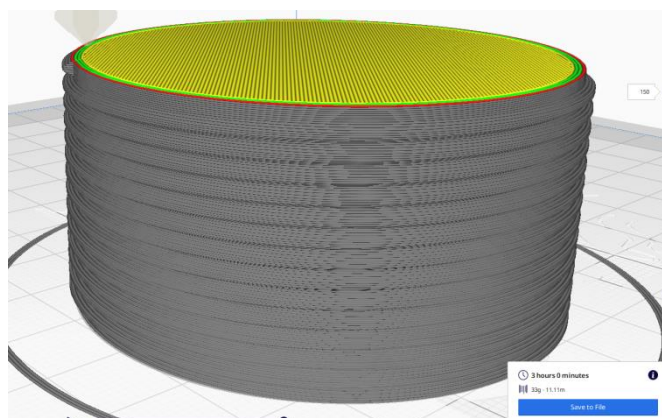


Рисунок 30 Пример сетчатого рифления.

В классической металлообработке процесс нанесения сечения доведён до «совершенства» и не расходует много времени. Осуществляется при помощи токарного станка и «роликов». Но, при печати такого сечения на принтере требуется гораздо больше времени, а именно, большая точность позиционирования и меньшая скорость печати.

Для сравнения рассмотрим одинаковые по размерам «бобышки», но у одной будет выполнена резьба в качестве сечения (рисунок 31), а вторая выполнена виде многогранника (рисунок 32).



### Рисунок 31 Печать резьбы у заготовки (3 часа)

Для обеспечения удобного хвата детали для напечатанной детали, место хвата целесообразно выполнить в виде многогранника, вместо сетчатого рифления. Для FDM печати будет проще и быстрее сделать многогранную деталь вместо сетчатого сечения.

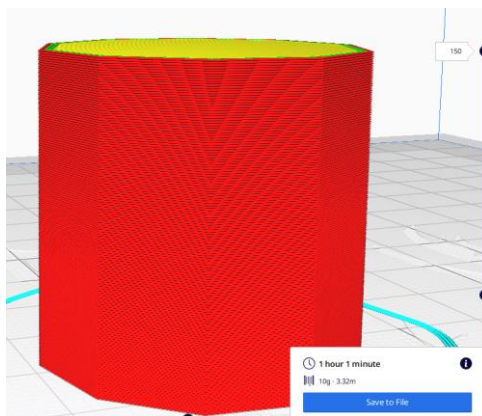


Рисунок 32 Печать многогранника (1 час)

Это один из многих примеров адаптации задач под технологию 3д печати.

## 2.7 Подбор оборудования

### 2.7.1 Рекомендации по выбору принтера

Цена на самые дешевые принтеры китайского производства сегодня составляет всего 300–400 долларов — правда, скорее всего покупатель в них моментально разочаруется. Более приличные принтеры начального уровня сейчас имеют цену уже ближе к \$1200–1500.

При выборе принтера следует обратить своё внимание на следующие нюансы:

- Потребности;
- Сложность изделий;
- Материал для печати;
- Конструкция принтера;
- Количество экструдеров;
- Разрешение печати;
- Калибровка;

**Потребности.** Выбор принтера стоит начать с размера печатной зоны. На рынке есть принтеры с большой площадью печати(1м x 1м x 1м) рисунок 33, и с

очень маленькой (100мм x 100мм x100мм). Но для большинства задач уже сложился некий стандарт. Это область печати, лежащая в пределах 200 x 200 x 200 мм. Большинство 3D принтеров среднего класса обладает именно такими размерами рабочей области, с небольшими колебаниями размеров в ту или иную сторону. Такого объема хватит для решения 95% любых задач.

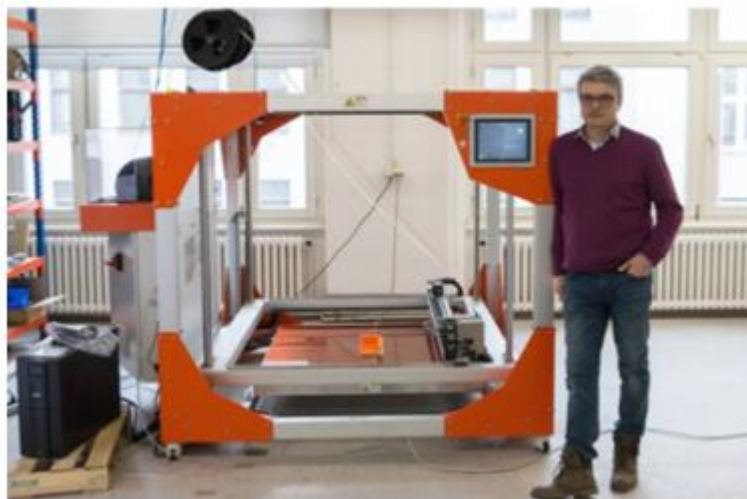


Рисунок 33 принтер с большой областью печати

В моём случае печать на принтере не подразумевает изготовление мастер моделей для литья, или больших прототипов. Размеры рабочей зоны необходимого принтера не будут превышать (300мм x 300мм x300мм).

Даже если деталь которую необходимо будет распечатать, больше чем рабочая область 3D принтера, то всегда можно порезать ее в специальном редакторе, а потом распечатать 2 части модели и склеить их.

**Сложность изделий.** Если планируется изготовление сложных прототипов, или сложных художественных моделей, то нужен 3D принтер, который может печатать двумя материалами. Это нужно для того, чтобы ваш принтер мог напечатать поддержки из растворимого материала. Если модели будут не самые сложные, то можно обойтись одним экструдером, и сэкономить бюджет.

Сложная модель – это модель с большим количеством элементов весящих в воздухе, или модель элементы которой имеют углы более 30 градусов.

**Список используемых материалов.** Ещё один важный момент, надо сразу определить список возможных материалов, из которых планируется печать. Температура нагрева сопла как раз и ограничивает в использовании более



профессиональных (термостойких) материалов для печати. На рисунке xx показана температура плавления популярных материалов для печати.



Рисунок 34 – Диапазон плавки материала для 3D печати

**Конструкция и кинематика.** В первую очередь конструкция и кинематика влияют на печать материалами с высокой степенью усадки, таким как ABS и Nylon. Для того чтобы печатать такими материалами однозначно требуется наличие у 3D принтера нагреваемого стола и закрытого корпуса, чтобы обеспечить тепловой контур вокруг модели. Принтеры с закрытым корпусом имеет более жесткую конструкцию. Это позволяет добиться более качественной печати. Данные особенности уже по умолчанию имеют принтеры среднего класса. Это обеспечит универсальное решение, с помощью которого можно выполнить полный спектр задач лежащих перед 3D принтером.

Из особенностей кинематики можно выделить два типа строения принтера, это «декартовые» и «дельта». Среди декартовых типов самым массовым и популярным является **XY head Z Bed**, на втором месте **XZ head Y Bed**, на третьем соответственно **X head YZ Bed**. Где head - это часть, на которой находится печатающая головка, Bed - стол на котором эта заготовка печатается.

Дельта принтеры - это принтеры, в которых рабочий стол неподвижен, а перемещается только печатающая головка экструдера, приводимая в движение тремя манипуляторами расположенными по окружности. Из преимуществ дельты это, прежде всего, скорость работы и точность позиционирования при несравнимо меньших энергетических затратах требующихся для перемещения печатающей головки. Сюда же можно отнести и высокую область печати по вертикали.

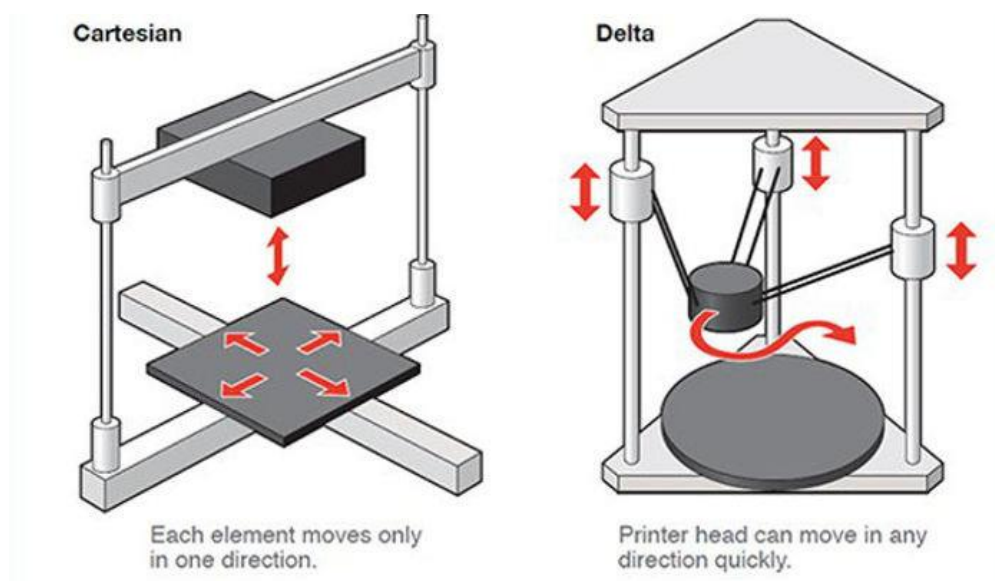


Рисунок 35 Кинематика FDM принтера

**Количество экструдеров.** Увеличение количества экструдеров в первую очередь связано с необходимостью печати «мостов». Мосты - это горизонтальные элементы, которые находятся в воздухе. Так как в воздухе без опоры печатать ещё не научились, то на помощь приходит «поддержка». Поддержка - это элемент выполняющий функцию опоры для «мостов», который после печати убирается механическим или химическим способом.

Так же в некоторых из принтеров есть возможность установить сопло другого диаметра, в других нет. Необходимость печати соплами диаметром отличным от 0,3-0,4 мм возникает очень нечасто. В первую очередь относится к печати больших изделий, где очень важно сократить время печати. Этого можно добиться, используя сопла большого диаметра. Например, диаметром 0,6-0,8мм, а то и диаметром 1 мм. Для принтеров с большой областью печати, возможность сменить сопла уже является жизненной необходимостью.

Поэтому, тут, как и в случае с нагреваемым столом, возможность сменить сопла является хорошим бонусом. Она не обязательна, но очень полезна, если за это не надо дополнительно доплачивать.

**Разрешение печати.** Большинство моделей на 3D принтере печатается слоем 0,1-0,2 мм. Это оптимальные величины, позволяющие добиться качества и приемлемой скорости печати.

Есть определенное количество принтеров, которые позволяют печатать слоем менее 0,05 мм, но для такой толщины слоя целесообразно использовать 3D принтеры, использующие технологию SLA или DLP.

**Калибровка.** Любая печать нового изделия начинается с калибровки оборудования и параметров печати. Если с параметрами печати всё зависит от определённого вида пластика и режимами его печати, то с калибровкой кинематики выставляется перпендикулярность основания для печати относительно сопла. При непрерывной печати, через определённое количество деталей необходимо проводить калибровку основания, а встроенная функция автоматической калибровки значительно сокращает время настройки и упрощает процесс калибровки

### 2.7.2 Подбор 3D принтера

Учитывая всё вышеперечисленное, сопоставив объёмы и сложность деталей и оценив все нюансы, я остановил свой выбор на принтере FlashForge Creator 3. Этот принтер имеет необходимую область печати 290 x 210 x 205 мм, подогреваемый стол (до 120С) и закрытый корпус.

Оснащён двумя независимыми экструдерами, это позволит задействовать их как вместе (первый экструдер печатает тело модели, второй поддержку). Так и задействовать их параллельно, поскольку они находятся на одной направляющей (одновременная полноценная печать двух деталей параллельно), что как минимум вдвое сокращает время на печать при серийном изготовлении изделий.

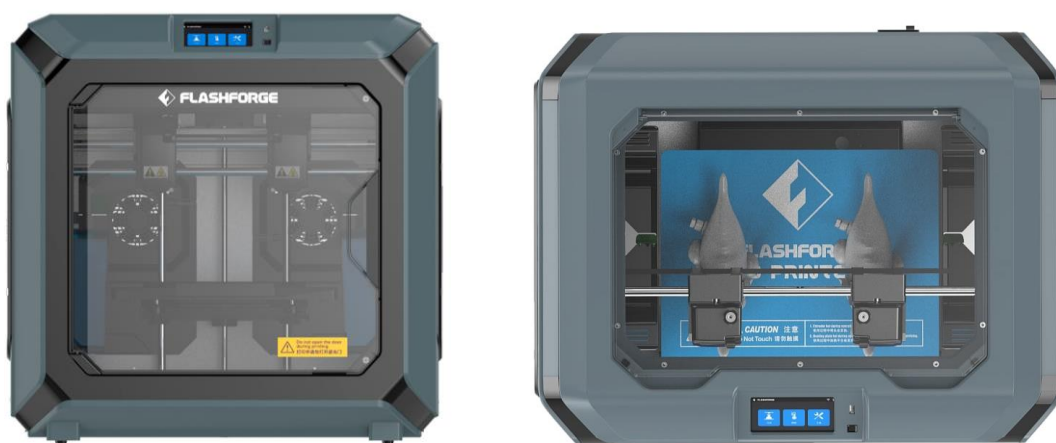


Рисунок 36 Принтер FlashForge Creator 3

Полные характеристики принтера выглядят так:

- Размер области построения: 290 x 210 x 205 мм
- Количество экструдеров (печатающих головок): 2
- Точность позиционирования по оси XY: 0,011 мм
- Точность позиционирования по оси Z: 0,0025 мм
- Температура подогрева площадки макс.: 120С
- Вид намотки: Катушка
- Диаметр сопла (мм): 0.4
- Рабочая температура экструдера: до 300С
- Дисплей: сенсорный 5“
- Wi-Fi или др. беспроводная сеть: Да
- Интерфейс подключения: Ethernet, USB, Wi-Fi
- Программное обеспечение: FlashPrint, Cura, Simplify3D, Slic3r
- Операционные системы: Mac OS X10.9 и более поздние, Windows 7 и более новые версии
- Поддерживаемые форматы файлов: STL, OBJ, 3MF, SLC
- Электропитание: 100-240 V AC
- Системные требования: OpenGL 2.1, RAM 4 ГБ или больше
- Размеры (без упаковки): 764 x 530 x 621 мм
- Страна производства: Китай
- Гарантия: 12 месяцев

### 2.7.3 Подбор вспомогательного оборудования

Для полного обеспечения места для печати необходим верстак, на котором размещаться принтер и шкаф для хранения материалов.

**Верстак ВП-4.** Предназначен для удобной организации отдельного рабочего места и хранения инструментов, материалов, разнообразных приспособлений и оснастки в мастерских, цехах и различных производственных помещениях.



Рисунок 37 - Верстак ВП-4

Столешница изготовлена из МДФ и покрыта оцинкованным листовым металлом. Допустимая нагрузка на столешницу до 300 кг.

Комплект для верстака К-3 состоит из задней металлической стенки К-3 и полки. В тумбе Т-1 установлены две съемные полки, допустимая нагрузка до 30 кг. Дверца тумбы запирается ключевым замком. Тумба Т-2 с пятью выдвижными ящиками, которые запирается ключевым замком.

Таблица 20 – Габариты и характеристики верстака

Внешн. размеры, мм	860x1900x685
Допустимая нагрузка ящиков	до 30 кг
Допустимая нагрузка на полку	до 40 кг

Вес, кг	101
---------	-----

**Шкаф инструментальный ТС 1095-002000.** Предназначен для хранения инструментов, слесарных приспособлений и других изделий на предприятиях, мастерских, автосервисах.



Рисунок 38 - Шкаф инструментальный ТС 1095-002000

Характеристики шкафа:

- Изделие сертифицировано на соответствие требованиям ГОСТ 16371
- Возможность индивидуально смоделировать шкаф, выбрав необходимые комплектующие и их расположение в шкафах
- Ригели из оцинкованной стали и пластиковые втулки обеспечивают бесшумный ход дверей и надежное запираение шкафа
- Комплектуются ключевыми замками с ручками (Burg GSC813, 2 ключа в комплекте)
- Размеры внешние, мм (ВхШхГ) 1000х950х500
- Максимальная нагрузка на шкаф ТС 1095 – 200 кг
- Максимальная нагрузка на полку - 30 кг
- Шаг регулирования высоты полки – 50 мм

## 2.8 Проектирование производства

Отдельного проектирования помещения для производства не актуально, поскольку подобранный принтер имеет беспроводную связь и камеру дистанционного наблюдения за печатью, выбранный принтер можно разместить как в помещении инженерно-технического отдела, так и непосредственно на сборочном участке.

Так как рассматривается возможность печати только из PLA пластика, который не имеет вредных испарений при плавке. А наличие закрытого корпуса у принтера минимизирует возможные негативные последствия и чрезвычайные ситуации.

Размещение принтера и хранение материала можно разместить на схожих объектах описанных выше.

### 2.8.1 Закупки

Для расчёта необходимого количества пластика воспользуемся таблицей 21, в которой приведён годовой план производства и количества требуемого пластика.

Таблица 21 – Годовой план производства

Деталь	В месяц	Общее количество за год	m филамента в месяц	m филамента x12 в год
A	12,5	150	1300	15600
B	12,5	150	1300	15600
C	12,5	150	1300	15600
D	12,5	150	520	6240
Итого	50	600	4420	53040

В соответствии с выбранными для производства изделия модернизированной конструкции материалами необходимо провести следующие закупки:

Пластик PLA от компании BestFilament, средняя цена которого составляет 1590 рублей за килограмм. Итого 85 860 рублей.

Закупки можно производить ежемесячно или каждый квартал

### **2.8.2 Производство**

В соответствии с разработанным технологическим процессом производства изделия, для его производства потребуется 3D принтер. В предыдущем пункте выбор пал на принтер FlashForge Creator 3 цена которого составляет 200 000 рублей

### **2.8.3 Реализация**

Кроме обычной входа в состав оборудования изделия поставляются отдельно непосредственным заказчиком. Согласно таблице хх, среднегодовая потребность составляет 600 изделий в год.

### **2.8.4 Установка и ввод в эксплуатацию**

Покупая принтер у дилера в стоимость принтера уже входит установка и ввод в эксплуатацию.

### **2.8.5 Обслуживание**

Рекомендуется производить гарантийное обслуживание оборудования, а по истечении срока гарантии пользоваться услугами специализированных центров.

### **2.8.6 Эксплуатация**

Согласно проведённым расчётам изделие модернизированной конструкции обладает большими возможностями в эксплуатации благодаря Лучшими показателями модуля упругости материала. Благодаря этому повышается его срок службы. Полная замена изделия будет необходима только в случае поломки.

### **2.8.7 Утилизация**

Поскольку изделие выполнено из биоразлагаемого пластика, то это облегчает процесс утилизации и минимизирует загрязнения окружающей среды. Более подробно об утилизации изделий написано в разделе «Социальная ответственность»



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ8Т	Ларькин Александр Дмитриевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образовани я	Магистр	Направление/специальност ь	15.04.05.Конструкторскотехнологическо е обеспечение машиностроительных производств

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	...
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	...
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	...

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	...
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	...
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	...
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	...

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Подопригора И.В.	К.Э.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ8Т	Ларькин Александр Дмитриевич		

### 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения

Целью проекта является разработка технологии производства крышек для защиты изделия при транспортировке.

Новая технология производства позволит сделать процесс производства более технологичным, а так же освободит мощности металлообрабатывающих станков, которые были задействованы при старой технологии производства. В данном разделе производится финансовый менеджмент и анализ ресурсоэффективности проекта [9].

#### 3.1 Планирование работ технического проекта

В таблице 22 приведена организационная структура проекта и оценка времени работы исполнителя проекта и научного руководителя.

Таблица 22 – Рабочая группа проекта

п/п	ФИО, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, день
	Ларькин А.Д., студент	Инженер 10 разряда	Исполнитель проекта	94
	Сикора С.Е., доцент	Научный руководитель	Руководитель проекта	9

В таблице 23 приведены ключевые события проекта

Таблица 23 – Контрольные события проекта

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель	Трудозатраты, день
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер	2
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	20
	3	Изучение уже существующих решений в данной области	Инженер	10

	4	Изучение зарубежной литературы	Инженер	2
	5	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер	2
	6	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер	4
Теоретические и экспериментальные исследования	7	Расчет параметров оборудования	Инженер	15
	8	Разработка системы регулирования	Инженер	22
	11	Имитационное моделирование	Инженер	14
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер	2
	13	Оценка целесообразности проведения дальнейших исследований по данной теме	Научный руководитель, инженер	1

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Таблица 24 – Показатели рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней работы	14	122
Количество нерабочих дней за период выполнения проекта	5	27
Продолжительность выполнения проекта, в рабочих днях	9	94

По результатам планирования строится диаграмма Ганта, приведенная в приложении А.

На основе анализа составленной диаграммы Ганта можно сделать вывод, что продолжительность работ составляет 13 декад, начиная с первой декады февраля и заканчивая первой декады июня. Можно предположить, что

объем работ, в ходе исследования, может быть увеличен или наоборот сокращен, в зависимости от полученных результатов.

### 3.1.1 Смета затрат на научное исследование

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая формула:

$$K_{НИ} = K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл} \quad (3.1)$$

где  $K_{мат}$  – материальные затраты;

$K_{ам}$  – амортизация компьютерной техники;

$K_{з/пл}$  – затраты на заработную плату;

$K_{с.о.}$  – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$  – прочие затраты;

$K_{накл}$  – накладные затраты.

Составление сметы научного исследования является необходимым условием. Она должна отражать все расходы, связанные с выполнением данного исследования.

### 3.1.2 Материальные затраты

В качестве материальных затрат принимаем канцелярские товары, которые приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Материальные затраты

	Наименование	Н, шт	Ц, руб
	Канцелярские товары	1	1000
	3D принтер	1	20000
	Пластик	3	4000
	Персональный компьютер	1	25000
Итого:			50000

### 3.1.3 Затраты на амортизацию

В процессе исследовательской работы использовалась компьютерная техника и специализированное программное обеспечение (таблица 26). В связи с этим необходимо определить амортизацию от её использования.

Таблица 26 – Использованные амортизационные средства

Наименование оборудования	кт, руб	T <sub>сл</sub> , ГОД
Персональный компьютер	5 000	5
Специальное ПО	5 000	10

Затраты на амортизацию рассчитываются по формуле:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot C_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \quad (3.2)$$

$T_{исп.кт}$  – время использования компьютерной техники

$T_{кал}$  (365 дней) – календарное время

$C_{кт}$  – цена компьютерной техники

$T_{сл}$  – срок службы компьютерной техники

$$K_{ам}(ПК) = \frac{94}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1287 \text{ руб.}$$

$$K_{ам}(ПО) = \frac{94}{365} \cdot 15000 \cdot \frac{1}{10} = 386 \text{ руб.}$$

Итого амортизационные расходы составят:

$$K_{ам} = K_{ам}(ПК) + K_{ам}(ПО) = 1287 + 386 = 1673 \text{ руб.}$$

### 3.1.4 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав

основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Размер основной заработной платы устанавливается, исходя из численности исполнителей, трудоемкости и средней заработной платы за один рабочий день.

$$Kз / нл = ЗПинж + ЗПнр \quad (3.3)$$

$$ЗПмес = ЗПо \cdot K1 \cdot K2 \quad (3.4)$$

$K1$  – коэффициент, учитывающий отпуск ( $1,1 = 10\%$ );

$K2$  – районный коэффициент ( $1,3 = 30\%$ );

$ЗПо$  – месячный отклад (для доцента 26300 р., для инженера 17000р.)

Для научного руководителя:

$$ЗПмес = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$ЗПмес = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}$$

$$ЗПор = \frac{ЗПмес}{21} \cdot n \quad (3.5)$$

$21$  – число рабочих дней в месяц;

$n$  – фактическое число дней в проекте.

Для научного руководителя:

$$ЗПор = \frac{37609}{21} \cdot 9 = 16118 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$ЗПор = \frac{24310}{21} \cdot 94 = 108816,2 \text{ руб.}$$

$$Kз / нл = 16118 + 108816,2 = 124934,2 \text{ руб.}$$

### 3.1.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Обязательные расходы отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$K_{c.o.} = \frac{K_{з/пл} \cdot k_{внеб}}{100\%} \quad (3.6)$$

$$K_{c.o.} = \frac{124934.2 \cdot 0,3}{1} = 37480.2 \text{ руб}$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и т.д.). Для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность вводится пониженная ставка – 30 %.

### 3.1.6 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются в размере 10% от ( $K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{c.o}$ )

$$K_{np} = \frac{(K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{c.o.}) \cdot 10\%}{100\%} \quad (3.7)$$

$$K_{np} = \frac{((50000 + 1673 + 124934.2 + 37480.2) \times 0.1)}{1} = 21408.7$$

### 3.1.7 Накладные расходы

Еще на этапе планирования проекта должна быть составлена смета затрат. Это станет основой для формирования договора с заказчиком и является минимальным в рамках данного исследования.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и



телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{накл}} = \frac{Kз / \text{пл} \cdot 200\%}{100\%} \quad (3.8)$$

$$K_{\text{накл}} = \frac{124934.2 \cdot 2}{1} = 249868.4 \text{ руб}$$

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат НТИ

	Наименование статьи	Сумма, руб.
	Материальные затраты НТИ	50 000
	Амортизация	1 673
	Затраты по основной з/п	124934,2
	Отчисления во внебюджетные фонды	37480,2
	Прочие затраты	16508,7
	Накладные расходы	249868,4
	Итого :	480464,5

### 3.2 Определение экономической эффективности проекта

Для определения срока окупаемости проекта необходимо рассчитать затраты на предусмотренное оборудование, пусконаладочные работы. Смета затрат на оборудование представлена в таблице 28.

Таблица 28 – Смета затрат на оборудование

Наименование оборудования	Сумма, руб.
3D Принтер	200 000
Пуска наладка	-
Расходники	30 000
Вспомогательное оборудование	20 000
Итого	250 000

Основываясь на расчётах себестоимости принимаем, что ежемесячный экономический эффект составляет почти 30 тысяч рублей, а эксплуатационные издержки составляют 50 тысяч рублей, тогда срок окупаемости проекта составит:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пр}} + K_{\text{об}} + K_{\text{монт}}}{\text{Э}_{\text{год}} - \text{И}_{\text{год}}} \quad (3.9)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{250\,000}{360\,000 - 50\,000} = 0,8 \text{ лет}$$

где

$K_{\text{пр}}$  – капитальные вложения в проект;

$K_{\text{об}}$  – капитальное вложение в оборудование;

$K_{\text{монт}}$  – Капитальные вложения в монтажные работы;

$\text{Э}_{\text{год}}$  – Годовой экономический эффект;

$\text{И}_{\text{год}}$  – Годовые эксплуатационные издержки.

Подводя итоги, можно сделать вывод о том, что исследуемый проект стоимостью 250 тысяч рублей является экономически эффективным и срок окупаемости составит 0,8 лет без учета прибыли.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ8Т	Ларькин Александр Дмитриевич

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Тема ВКР:

<b>Проектирование цеха для производства транспортировочных крышек</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – сырьё для печати(пластик) и полученных образцов.</p> <p>Рабочая зона – офисное помещение с вытяжкой. Технологический процесс включает в себя следующие виды работ: работу со спиртами и щелочами; работу с оборудованием. Площадь отапливаемого помещения 21 м<sup>2</sup>, освещение смешанное, наличие ПК, принтера, верстака и рабочего стола оператора.</p> <p>Области применения – приборостроительная промышленность, технологические бюро, лаборатории.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- СанПиН 2.2.4.548 – 96</li> <li>- СанПиН 2.2.4.1294-03.</li> <li>- СанПиН 2.2.2.542-96</li> <li>- СанПиН 2.2.4/2.1.8.005-96</li> <li>- ГОСТ 12.1.003–83</li> <li>- СН 2.2.4-2.1.8.566-96</li> <li>- СанПин 2.2.2/2.4.1340 –03</li> <li>- Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. -123 – ФЗ, 2013.</li> </ul>

<p>трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Запыленность воздуха рабочей зоны</li> <li>- Микроклимат в помещении</li> <li>- Освещение рабочей зоны</li> <li>- Производственный шум</li> </ul> <p>Вредные вещества:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- спирты, щёлочи, реагенты</li> </ul> <p>Психофизические факторы</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Нервно-психические перегрузки.</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Электрический ток. Источник - ПЭВМ.</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>В разделе приведен анализ воздействия на литосферу (рассмотрен процесс утилизации ТБО, макулатуры, люминесцентных ламп, неисправных и устаревших ПЭВМ, 3D принтеров, отходов производства).</p> <p>Загрязнение воздушного бассейна и гидросферы не обнаружено.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>ЧС техногенного характера - пожар</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	<b>02.03.2020</b>
--	-------------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романцов Игорь Иванович	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ8Т	Ларькин Александр Дмитриевич		

## **4. Социальная ответственность**

Объектом выпускной квалификационной работы является жизненный цикл изготовления транспортировочных крышек, включающий в себя все этапы, которые проходит изделие от идеи до утилизации. Основными его этапами, рассматриваемыми наиболее подробно в данном разделе, являются производство, эксплуатация и утилизация.

Данный раздел ВКР посвящен анализу воздействующих в процессе работы опасных и вредных факторов и выработке методов защиты от негативного действия этих факторов. Произведен анализ вредных факторов таких как: отклонение показателей микроклимата в помещении, повышенный уровень шума, психофизических факторов. Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды, защиты в случае чрезвычайной ситуации, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности [10].

### **4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **4.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.**

В нормативном акте, регулирующем отношения между работодателем и работником – Трудовом кодексе РФ, отсутствуют нормы, предусматривающие возможность классификации длительную работу за компьютером, как имеющую вредные основном факторы воздействия. Из-за этого на практике нередко возникают ситуации пренебрежения санитарногигиеническими требованиями к условиям труда служащих.

Однако, несмотря на это, данные требования закреплены в ряде иных нормативных актов. В Типовой инструкции по ОТ № Р-45-084-01 закреплены негативные факторы, которые могут оказывать воздействие на организм служащих, продолжительное время работающих с компьютером:

- Низкий уровень ионизации воздуха;
- Увеличенные показатели электромагнитных излучений и статического электричества;

- Повышенные нагрузки на зрение трудящегося;
- Длительное статическое физическое напряжение.

Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. Для работающих по календарю пятидневной рабочей недели с двумя выходными днями, нормальная продолжительность ежедневной работы не может превышать 8 часов, а для работающих по календарю шестидневной рабочей недели с одним выходным днем - 7 часов. При суммированном учете рабочего времени продолжительность ежедневной работы не может превышать 10 часов.

Применение сверхурочных работ допускается в случаях и порядке, предусмотренных статьей 99 ТК РФ. Сверхурочные работы не должны превышать для каждого рабочего четырех часов в течение двух дней подряд и 120 часов в год. Работа в нерабочие праздничные дни допускается в случаях, предусмотренных статьей 112 ТК РФ.

Помимо этого, длительное нахождение в сидячем положении нередко приводит к венозной недостаточности, искривлению позвоночника, ухудшению зрения и хроническому стрессу. Впрочем, большинства этих проблем можно избежать при правильной организации рабочего пространства. Поэтому требования касающиеся оборудования трудовых мест пользователей ПК включают обеспечение правильной мебелью, создание комфортных микроклиматических условий и необходимого уровня освещения.

#### **4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.**

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 при размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Рабочие места с ПЭВМ в

помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом. Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитноцифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейноплечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

## **4.2 Производственная безопасность.**

### **4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.**

#### **Запыленность воздуха рабочей зоны**

Пыль – это дисперсная система, состоящая из твердых частиц, взвешенных в газовой фазе (воздухе). Если размер твердых частиц составляет более 1 мкм, то такую систему принято называть собственно пылью, а менее 1 мкм – дымом.

В основу качественного гигиенического нормирования загрязнения воздушной среды положено понятие вредного вещества. В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»: «Вредное вещество – вещество, которое при контакте с организмом человека в случае нарушений требований безопасности может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений».

Предельно допустимая максимально разовая концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест, включающие 109 наименований, установлены согласно СанПиН 2.1.6.983-00 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест».

Рабочее место находится в офисном помещении. Площадь помещения составляет 24м<sup>2</sup> (длина А=6 м, ширина В=4м), объем составляет 72 м<sup>3</sup> (высота С=3м). Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 площадь на одно рабочее место пользователей ПК составляет 6,5 м<sup>2</sup> и 20 м<sup>3</sup> объема на одного человека. В помещении работает 3 человека, следовательно, нормы по площади и объему выполняются.



## Микроклимат в помещении

В ходе работы необходимо соблюдать допустимые значения на следующие производственные метеоусловия – влажность воздуха на рабочем месте, температура воздуха, скорость движения воздуха, а также тепловые излучения.

Указанные физические свойства воздуха на рабочем месте оказывают значительное влияние на протекание жизненных процессов в организме человека. Так, при неблагоприятном микроклимате (превышение или же занижение допустимых нормативных показателей, указанных в СанПиН 2.2.4.548 – 96) снижается производительность труда и ухудшается здоровье работника.

Такой физический опасный фактор, как повышенная температура поверхности образцов, нагретых от трения обрабатываемых поверхностей.

Неблагоприятные условия вызывают перенапряжение механизма терморегуляции, что приводит к перегреву или переохлаждению. Нарушениями механизма терморегуляции являются:

- Повышенная утомляемость;
- Снижение его производительности труда;
- Повышенный риск простудных и сердечных заболеваний.

Таблица 29 - Оптимальные значения физических величин для обеспечения комфортного микроклимата

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность в %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	Ia	22-24	21-25	40-60	75	0,1	Неболее 0,1
	Iб	21-23	20-24	40-60	75	0,1	Неболее 0,2

Теплый	Ia	23-25	22-28	40-60	55 (при 28 °С)	0,1	0,1-02
	Iб	22-24	21-28	40-60	60 (при 27 °С)	0,2	0,1-0,3

Допустимые величины микроклимата на рабочем месте

- Изменение температуры воздуха по высоте должно быть не более 3°С;
- Изменение температуры воздуха по горизонтали и изменение в течении смены не должно быть более 4 °С для категории работ «Iб».

При температуре воздуха на рабочих местах более 25 °С , допустимые величины относительной влажности воздуха не должны превышать пределы:

- 70 % - при температуре воздуха 25 °С;
- 65 % - при температуре воздуха 26 °С; -60 %
- при температуре воздуха 27 °С; -55 %
- при температуре воздуха 28 °С.

Для профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия. Например, такие как системы местного кондиционирования воздуха, применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), регламент времени работы и т.д.

К числу СИЗ от неблагоприятных климатических условий относят спецодежду, спецобувь, средства защиты рук, головные уборы.

### **Освещение рабочей зоны**

Освещение рабочего места - важнейший фактор создания нормальных условий труда. Недостаточная освещенность рабочей зоны и пониженная контрастность утомляет не только зрение, но и вызывает утомление всего организма в целом. Неправильное освещение часто является причиной травматизма (плохо освещенные опасные зоны, слепящие лампы и блики от них). Резкие тени ухудшают или вызывают полную потерю ориентации работающих, а

также вызывают потерю чувствительности глазных нервов, что приводит к резкому ухудшению зрения.

Освещенность рабочего места, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, должна быть не менее 300-500 лк, что может достигаться установкой местного освещения.

Таблица 30 Нормы искусственного освещения

Характеристика зрительной работы	Наименьший объём значения, мм	Искусственное освещение, лк	
		Комбинированное	Общее
Высокая точность	0,3–0,5	750	500

Местное освещение не должно создавать бликов на экране. За счет правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup>. Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель. Также можно использовать матовые экраны на ПЭВМ, которые существенно снижают количество бликов и отражаемого света ламп.

### Расчёт освещения

Для расчета общего искусственного освещения светильниками любого типа наибольшее распространение имеет метод коэффициента использования светового потока. Световой поток ламп в светильнике определяется следующим образом:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta}, \quad (1.1)$$

где  $\Phi$  – световой поток ламп в светильнике, лм;  $E$  – нормируемая освещенность, лк;  $K_3$  – коэффициент запаса;  $S$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения;  $n$  – число светильников;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Источник света вместе с осветительной арматурой называется светильником, или осветительным прибором. Светильники классифицируются по

распределению светового потока, степени защиты от пыли, воды и взрыва, способу установки и электроизоляции.

На рис. 39 представлена схема расположения светильников в нашей аудитории с подписанными числовыми значениями.

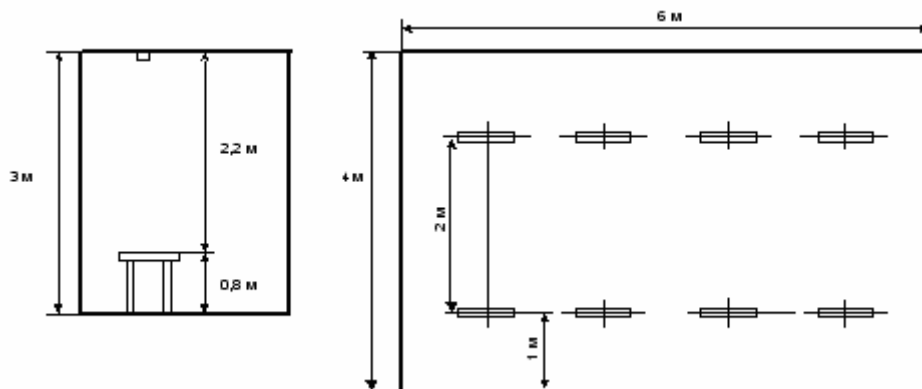


Рисунок 39 - Схема расположения светильников

Расположение светильников общего освещения в аудитории определяется высотой  $H$  помещения, расстоянием  $h_c$  от светильников до перекрытий («свес»), высотой  $h_{\pi} = H - h_c$ , на которой светильники расположены над полом, расчетной высотой  $h_p$ , на которой находится расчетная поверхность над полом, расчетной высотой  $h = h_{\pi} - h_p$ , расстоянием  $L$  между соседними светильниками или рядами люминесцентных светильников, расстоянием  $l$  от крайних светильников до стены.

Для определения коэффициента использования найдем индекс помещения следующим образом:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (1.2)$$

где  $A$  и  $B$  - длина и ширина помещения, м.

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 4}{2,2 \cdot (6 + 4)} = 1,1$$

таким образом, индекс помещения равен:

Таблица 31 - Значения показателей и их характеристика

Показатель	Численное значение	Характеристика показателя
E	500 лк	Зависит от типа помещения – Офисное помещение

Z	1,1	Определяет неравномерность освещения.
n	8	Зависит от количества светильников.
η	28	Учитывает тип светильника и коэффициент при использовании индекса помещения.
ρ <sub>п</sub>	70%	Учитывает свойства отраженности потолка.
ρ <sub>с</sub>	50%	Учитывает свойства отраженности стен.
ρ <sub>р</sub>	10%	Зависит от отражаемой способности рабочей поверхности.
к <sub>з</sub>	1,7	Коэффициент запаса

Воспользуемся формулой 1.1 и получим расчетное значение светового потока ламп:

$$\Phi = \frac{E \cdot k_z \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{500 \cdot 1,7 \cdot 24 \cdot 1,1}{8 \cdot 28} = 100,18 \text{ лм} \quad . (1.3)$$

В качестве источников света используются люминесцентные лампы мощностью 15 В, как наиболее эффективные и приемлемые с точки зрения спектрального состава, цветовая температура излучения которых находится в диапазоне 3500-4200 К. Для освещения помещения применяются светильники серии ЛС004 с металлической экранирующей решеткой и непрозрачными боковинами. Номинальный световой поток данной лампы составляет 500 лм, что значительно превышает (в пять раз) расчетное значение светового потока. Поэтому можно сделать вывод, что искусственное освещение данной аудитории будет достаточным не только в светлое время суток, но и в темное.

### **Производственный шум**

Шум – это совокупность аperiodических звуков различной интенсивности и частоты (шелест, дребезжание, скрип, визг и т.п.), способных оказывать неблагоприятное воздействие на организм. Шум с уровнем звукового давления до 30-35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40-70 дБ в условиях среды обитания приводит к неблагоприятным для организма последствиям[11]. Последствия шума – головная боль, быстрая утомляемость,

бессонница или сонливость, ослабление памяти, снижение реакции и др. Основным источником шума в комнате являются вентиляторы охлаждения ЭВМ. При выполнении основной работы на ПК уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50дБА

### **Вредные вещества**

Основным опасным воздействием является наличие веществ в рабочей зоне при проведении шлифовально-полировальных работ, так как в процессе шлифовки и полировки, металлический порошок может всплывать и находиться в воздухе рабочей зоны некоторое время, а от химикатов в воздух попадают испарения, опасные для человека. Для этого необходимо ограничить наличие таких веществ в воздухе рабочей зоны, и оно не должно превышать ПДК. Большинство веществ приводят к механическому повреждению тканей дыхательных путей, слизистых глаз, носоглотки, химическому отравлению. Соответственно необходимо соблюдать гигиенические нормы по проветриванию помещения, установке в них систем вытяжных вентиляций и предоставить сотрудникам СИЗ для защиты глаз и органов дыхания, а также халаты.

Таблица 32 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений (согласно ГН 2.2.5.1313-03)

Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Состояние	Класс опасности
Азотная кислота	2	Пары	3
Спирт	5	Пары	3
Гидрофторидная (плавиковая) кислота	0,5/0,1	Пары	3

Вредные вещества могут поступать в организм человека через органы дыхания (пары, газы, пыль), кожу (жидкие, масляные, твердые вещества), желудочно-кишечный тракт (жидкие, твердые, и газы). Наиболее часто вредные вещества попадают в организм человека через органы дыхания и быстро проникают к жизненно важным центрам человека.

Для защиты глаз рационально использование защитных очков. Для защиты органов дыхания необходимо использовать респираторы, каждый из которых имеет свой индивидуальный номер, площадь зрения не должна снижаться при использовании более чем на 30 %. Объемная доля кислорода должна быть около 21 %. Средства индивидуальной защиты рук (резиновые перчатки) следует обязательно использовать при химической полировке. Каждый работник обязан использовать вышеперечисленные средства индивидуальной защиты, а также контролировать использование их другими сотрудниками.

В процессе шлифования исполнитель должен помнить о следующих требованиях.

- Одежда рабочего должна быть чистой и аккуратно заправленной, рабочее место должно содержаться в чистоте.
- При шлифовании не допускать сильного нагрева изделия во избежание термических ожогов рук.

Согласно РД 34.03.201-97 должны соблюдаться данные требования безопасности хранения химических веществ:

Кислота, щелочь, фосфат, реагенты и другие материалы должны храниться в складских помещениях, соответствующих требованиям СНиП II-58-75. На складах должен иметься запас посуды и приспособлений для безопасной расфасовки и транспортирования химических веществ.

Небольшие количества (до 2 - 3 л) щелочи и кислоты (кроме плавиковой) необходимо хранить в стеклянной таре (бутылях) с притертыми пробками в отдельных помещениях, оборудованных вентиляцией.

Плавиковую кислоту следует хранить в полиэтиленовых сосудах или парафинированных бутылках.

Работа с химическими веществами проводится строго на оборудованном столе с защитным стеклом и системой вытяжной вентиляции, работать в халате и резиновых перчатках.

Производственная безопасность обеспечивается, прежде всего, техникой безопасности, которую должен соблюдать каждый работник.

### **Психофизические факторы**

Нервно-психические перегрузки организма работающего, связанные с напряженностью трудового процесса, в целях оценки условий труда, разработки и принятия мероприятий по их улучшению характеризуются такими показателями, как:

- длительность сосредоточенного наблюдения;
- активное наблюдение за ходом производственного процесса;
- число производственных объектов одновременного наблюдения;
- плотность сигналов (световых, звуковых) и сообщений в единицу времени;
- нагрузка на слуховой анализатор;
- нагрузка на голосовой аппарат;
- работа с оптическими приборами.

При первых симптомах психического перенапряжения необходимо:

- Дать нервной системе расслабиться;
- Рационально чередовать периоды отдыха и работы;
- Стараться поддерживать доброжелательные отношения с коллегами и в семье;
- Начать заниматься спортом;
- В тяжелых случаях обратиться к врачу.

Большое значение имеет гигиена сна. В среднем взрослый человек спит 7-8 часов, но с годами этот показатель уменьшается. При нарушении сна рекомендуется нормализовать режим труда и отдыха, особенно в вечерние часы, отказаться от приема кофе, алкоголя, курения. Облегчают засыпание и вечерние прогулки, прием теплых ванн, непрерывное проветривание помещения. Очень важно ложиться и вставать в одно и то же время.



## Электрический ток

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание. На рабочем месте исследователя находится аппаратура, использующая однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при однофазном (однополюсном) прикосновении незащищенного человека от земли человека к незащищенным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к незащищенным частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

изоляция (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;

установки защитного заземления;

наличие общего рубильника;

своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

В соответствии с требованиями пунктов 1.4.3, 1.4.4 Правил в организации должны быть оформлены перечни должностей и профессий электротехнического и электротехнологического персонала, которым необходимо иметь соответствующую группу по электробезопасности. Перечень утверждает руководитель потребителя, а также перечень должностей и профессий, требующих присвоения не электротехническому персоналу I группы по электробезопасности, который определяет руководитель потребителя. Присвоение группы I проводится путем проведения инструктажа, который как правило, должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током. Присвоение I группы по

электробезопасности проводит работник из числа электротехнического персонала данного потребителя с группой по электробезопасности не ниже III.

К не электротехническому персоналу I группы допуска по электробезопасности до 1000 В, относятся административные и другие работники, в обязанности которых не входит обслуживание, использование, ремонт электрической техники или установок.

Офисные работники, использующие в работе офисную технику (ПЭВМ, МФУ, принтер, сканер, микроволновку, чайник и т.д), относятся именно к не электротехническому персоналу I группы по электробезопасности.

Инструктаж по электробезопасности на I группу проходит с периодичностью (не реже) 1 раз в год.

### **Повышенный уровень статического электричества.**

Статическое электричество представляет собой возникновение электрического свободного заряда внутри или на поверхности диэлектриков, веществ, которые не проводят электрический ток. Источниками статического электричества на рабочем месте исследователя является ПЭВМ. ПЭВМ создаёт при своей работе электростатические поля, в зону действия которых могут попадать самые различные бытовые и офисные предметы — от корпусов мебели и электроприборов до мельчайших частиц на их поверхности.

В системном блоке у компьютера имеется, в среднем, 2 вентилятора. Они гоняют воздух, выдувают наэлектризованные пылинки наружу, которые потом, не теряя заряда, могут оседать и на нашей коже, волосах и в дыхательных органах. Из-за статического электричества пыль оседает на разных частях компьютера и механизмов, что в последующем может привести к их неисправности и выходу из строя. Статическое электричество способно разрушить оборудование и оргтехнику. Такое явление постепенно может разрушить человеческий организм.

#### **1. Повышенная напряжённость электрического поля.**

Монитор ПК создаёт значительный уровень статического электричества. При длительной работе, положительные заряды накапливаются на экранах монитора под действием электронного пучка, создаваемого электронной лучевой трубкой.

При образовании заряда с большим электрическим потенциалом создаётся электрическое поле повышенной напряжённости, вредное для человека, которое может вызывать: раздражительность, головную боль, нарушение сна, снижение аппетита и другие симптомы. Длительное пребывание в таком поле может вызывать функциональные изменения сердечно-сосудистой системы и центральной нервной системы. Для защиты от повышенного уровня статического электричества используют заземляющие устройства, нейтрализаторы, экранирующие устройства.

## 2. Повышенный уровень электромагнитных излучений.

Повышенный уровень электромагнитных излучений так же имеет отрицательное воздействие на организм человека. Основными источниками электромагнитного излучения являются монитор (боковые и задние стенки) и системный блок. Основные симптомы, возникающие при длительном воздействии повышенного уровня электромагнитного излучения – раздражительность, быстрая утомляемость, ослабление памяти, нарушения сна, общая напряжённость. В качестве защитных мер рекомендуется соблюдать правила работы за ПЭВМ, а также совершать прогулки на свежем воздухе.

Нормирование ЭМП производится в соответствии с таблицей 33.

Таблица 33 Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ.

Наименование параметров		ВДУ
Напряжённость электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500

## **4.3 Экологическая безопасность**

### **4.3.1 Анализ «жизненного цикла» разрабатываемого изделия**

Жизненный цикл изделий (ЖЦИ) включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до его утилизации по окончании срока использования. На всех этапах жизненного цикла имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью.

В ходе ВКР происходит разработка жизненного цикла изготовления транспортировочной крышки. Данный процесс включает в себя разработку конструкции, составление технической документации, подбор оборудования и материалов и оформление сопроводительной документации. Данные этапы ЖЦИ проходят в производственных и лабораторных условиях. Далее жизненный цикл продолжается вне завода.

Эксплуатацией является использование изделия по целевому назначению со своевременной заменой пришедших в негодность элементов для обеспечения более долгого функционирования, а также ремонт изделия или отдельных его частей. При замене элементов изделия или полной его поломке наступает завершающий этап жизненного цикла – утилизация.

Утилизация может быть нескольких видов:

- Складирование на свалках;
- Уничтожение;
- Переработка во вторсырье и последующее введение в производство.

С точки зрения экологии и защиты окружающей среды наиболее предпочтительным является способ переработки во вторсырьё, что снижает потребность в добыче нового сырья и сводит к минимуму количество отходов производства.

#### 4.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

При разработке данного дипломного проекта использовался компьютер, который потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии (мощностью 200 Вт).

Основными отходами данного вида деятельности являются: батарейки и бумага. Выбросов в сточные воды нет.

Деятельность человека причиняет ущерб окружающей среде, а потому перед обществом стоит задача сделать это воздействие наименее пагубным. В процессе трудовой деятельности в ВЦ, также как и обычной жизнедеятельности, человек является источником твёрдых бытовых отходов. Эти отходы, как пищевые, так и промышленные, сильно загрязняют окружающую среду.

Как правило, в качестве промышленных отходов выступают: бумага, строительные отходы, коробки и т.п. Этот мусор с другими отходами вывозится на территории, выделенные под складирование бытовых отходов. Сжигание этих отходов уменьшает их объём на 90%, но в результате сжигания происходит выделение вредных газов и дымов, что загрязняет атмосферу.

Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

Говоря конкретно о разрабатываемом изделии, следует отметить, что утилизация объекта целиком возможна, поскольку объект кроме пластика не имеет в себе дополнительных компонентов. Максимальная экологическая безопасность обеспечивается при утилизации путём переработки и запуска в новое производство.

Путём переработки возможно утилизировать материалы для печати, из которого изготавливается крышка – пластик. Он поддается переплавке без потери своих свойств. Для производства бытовых приборов использование вторсырья является важной составляющей производственного процесса. Благодаря переработке пластика возможна существенная экономия для производства, заключающаяся в затратах на сырьё, экономии на энергоресурсах и на многом другом.

Также переработка материалов благоприятно сказывается на экологической ситуации, так как для производства не добываются новые ресурсы, что способствует сохранению природных ресурсов. Технологические полимерные отходы включают в себя две группы: устранимые и неустраиваемые.

Первый вид представлен бракованной продукцией, которая впоследствии сразу же перерабатывается в другое изделие. Вторая разновидность представляет собой всевозможные отходы в процессе производства изделий из пластика, их устраняют также посредством переработки и изготовления новой продукции.

Переработка полимеров на производстве состоит из следующего ряда действий:

- выполнение грубой сортировки для отходов смешанного вида;
- дальнейшее измельчение вторсырья;
- выполнение разделения смешанных отходов;
- мойка;
- сушка;
- процесс грануляции.

По сути, процесс переработки полимерного лома заключается в сортировке, измельчении, переплавке и повторной нарезке на мелкие части. Для такой переработки используются автоматизированные дробилки и экструдеры, снабженные ленточным транспортером. Уровень автоматизации

такой перерабатывающей линии довольно высок, поскольку все процессы выполняются лишь под присмотром оператора, без непосредственного участия рабочих в процессе.

После переработки полимерные отходы приобретают вид гранул, которые затем могут использоваться в производстве. Такие гранулы используют в технологии литья пластика – гранулы загружаются в плавильный аппарат, который затем подает расплав под давлением в литейную форму. Таким образом, полимерное сырье может пройти полную переработку несколько раз за время своего существования.

Применение отходов полимерных материалов в качестве вторичного сырья помогает не только уменьшить объемы складированного мусора на полигонах, но и значительно сократить количество потребляемой электроэнергии и продуктов нефтяного производства, применяемых для изготовления полимерной продукции. Для эффективного решения данного вопроса необходимо информировать производителей о пользе переработки всех видов полимеров с целью дальнейшего производства продукции.

### **Утилизация люминесцентных отработанных ламп**

Нужно понимать, что существует соответствующий закон Российской Федерации № 187, ст. 39, согласно которому Вы обязаны уплатить штраф, если непозволительным способом утилизировали потенциально опасные отходы (люминесцентные лампы), либо самостоятельно установили утилизационный контейнер в ненадлежащем месте, а также организовали несанкционированный вывоз отходов за территорию их хранения.

Контейнер для утилизации люминесцентных ламп представляет собой герметичный корпус, который выполнен из специального сплава стекла или легированной стали. На крышке либо сбоку располагается отверстие, которое закрывается при помощи автоматической защелки. Как только Вы проталкиваете лампу в него, крышка герметично закрывается, пары не проникают во вне, все совершенно безопасно.

## **Утилизация электронных плат и радиодеталей**

Электронные платы и радиодетали выходят из строя, и возникает необходимость их утилизации. Выбрасывать микросхему нельзя, так как должен пройти определенный технологический процесс с соблюдением техники безопасности. Процесс утилизации Переработка электронных плат и радиодеталей – рациональное решение, в котором принимают участие множество компаний. В состав плат входят текстолит и различные компоненты электроники. В микросхемах содержится цветной и драгоценный металл. Создано внушительное количество пунктов скупки электронных отходов, которые их ищут, оценивают и принимают. Эти организации являются первоначальным звеном.

Сырье, после отделения от микросхемы, подвергается ручной сортировке, часть отправляют на специализированные вибрационные столы. Остальные компоненты доставляются в плавильные печи. После обработки, верх металлической части состоит из драгоценных материалов. Посредством химических реакций их разделяют. Разработано множество способов правильной утилизации электронных отходов. При соблюдении каждого технологического этапа из сломанной микросхемы извлекаются ценные металлы. Ответственное отношение к отходам электроники пойдет на пользу экологии и промышленности.

### **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей[12].  
Пожаровзрывобезопасность - обеспечивается комплексом организационных, противопожарных, инженерно-технических и специальных мероприятий и



средств как при эксплуатации объектов, так и в случаях их реконструкции, ремонта или аварийной (чрезвычайной) ситуации.

Причинами возникновения пожара на производственном участке могут быть:

1. Неисправность электропроводки помещения.
2. Короткое замыкание в электрической сети прессы или индукционной печи
3. Возгорание от падения нагретой заготовки.
4. Неисправность цепей управления.
5. Неисправность элементов управления станком.

#### Профилактические мероприятия

Пожарная профилактика – это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также создание условий успешного тушения пожара. Для предотвращения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие меры:

Организационные мероприятия:

- Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
- Обучение персонала правилам техники безопасности;
- Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

- Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
- Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

Требования по пожарной безопасности изложены в СП 112.13330.2011.

Для тушения горящего электрооборудования под напряжением возникает риск поражения электрическим током. Для тушения необходимо использовать:

- углекислоту и огнетушащий порошок из ручных огнетушителей (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 и ОП-8, ОПЗ-2 соответственно);
- воздушно-механическую пену на пресной воде из огнетушителей ОВПМ-8, ОВПМ-30у и стационарных огнетушителей типа СО;
- пресную воду соленостью не более 10 Бр;
- стационарную систему и переносные средства объемного химического тушения.

#### Требования пожарной безопасности к путям эвакуации

1. Все двери эвакуационных выходов должны свободно открываться в сторону выхода из помещений. При пребывании в помещении людей, двери могут запираются только на внутренние, легко открываемые запоры.

2. Пути эвакуации должны быть освещены в соответствии с требованиями СП 52.13330.2016.

На путях эвакуации ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

1. Загромождать эвакуационные пути и выходы (в том числе проходы, коридоры, тамбуры, лестничные площадки, марши лестниц, двери, эвакуационные люки) различными материалами, изделиями, оборудованием и другими предметами.

2. Устраивать в тамбурах выходов сушилки одежды любой конструкции, вешалки для одежды и гардеробы, хранение (в том числе временное) любого инвентаря и материалов.

3. Устраивать на путях эвакуации пороги, турникеты, раздвижные, подъёмные и вращающиеся двери и другие устройства, препятствующие свободной эвакуации людей.

4. Фиксировать самозакрывающиеся двери лестничных клеток, коридоров, холлов и тамбуров в открытом положении (если для этих целей не используются автоматические устройства, срабатывающие при пожаре), а также снимать их.

5. Применять горючие материалы для отделки, облицовки и окраски стен и потолков, а также ступеней и лестничных площадок на путях эвакуации.

Согласно НПБ 105-03 помещение по пожаробезопасности относится к категории В2. Данная категория подразумевает, что помещение пожароопасное, наличие горючих и трудногорючих жидкостей, твёрдых горючих и трудногорючих веществ и материалов (в том числе пыли и волокна), способных при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть, не формируя взрыва.

### **Вывод**

В результате проделанной работы определены вредные и опасные факторы, возникающие в процессе исследования данного проекта. Рабочее место соответствует всем стандартам. Предложены методы утилизации и меры по защите окружающей среды. Помимо этого, определены возможные чрезвычайные ситуации.

## **Заключение**

В данной выпускной квалификационной работе был улучшен технологический процесс транспортировочных крышек, используемые для защиты узлов оборудования.

Произведен расчет динамических нагрузок для крышек, выполненных из различных материалов, при имитационном моделировании в программной среде SolidWorks Simulation. После чего были внесены дополнительные настройки и проведены термические испытания материала, которые показали правильность выбора материала.

Проведенные исследования показали, что для изготовления одной и той же продукции, технология FDM печати тратит больше времени, но при незначительных затратах на её внедрение показывает больший экономический эффект.

В результате проделанной работы были получены рекомендации по выбору конструкции и комплектации принтера для.

В разделе финансового менеджмента и ресурсоэффективности были выполнены расчеты затрат на проектирование в соответствии с графиком выполнения проектных работ. Расчет по определению экономической эффективности и срока окупаемости проекта дал положительный результат. Проект, ориентировочной стоимостью в 250 тысяч рублей, окупится за 0,5 лет без учета прибыли от утилизации попутного нефтяного газа.














В разделе социальной ответственности был произведен анализ возможных вредных и опасных факторов, а также разработаны способы их устранения. Без внимания не остались чрезвычайные ситуации. Были рассмотрены наиболее вероятные ЧС, которые могут возникнуть в результате эксплуатации 3D принтера.

## Литература

1. Показатели качества продукции и методы их оценки на промышленном предприятии [Электронный ресурс]  
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15489660>
2. Технологии 3D печати [Электронный ресурс]  
[https://www.ixbt.com/printer/3d/3d\\_tech.shtml](https://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml)
3. Критерии выбора 3D принтера [Электронный ресурс]  
<https://habr.com/ru/company/3dtool/blog/404771/>
4. Стереолитография [Электронный ресурс]  
<https://amfg.ai/2019/03/25/stereolithography-digital-light-processing-where-are-we-today/>
5. Технология FDM [Электронный ресурс]  
[https://www.researchgate.net/figure/Fused-deposition-modelling-FDM-Printing-system\\_fig3\\_319987351](https://www.researchgate.net/figure/Fused-deposition-modelling-FDM-Printing-system_fig3_319987351)
6. Нанесение связующего вещества [Электронный ресурс]  
<http://www.mkstechgroup.com/binder-jetting-process/>
7. Технологии SLM и DMLS [Электронный ресурс]  
[https://www.researchgate.net/figure/The-production-process-of-SLM-DMLS\\_fig1\\_312926745](https://www.researchgate.net/figure/The-production-process-of-SLM-DMLS_fig1_312926745)
8. Обзор технологии LENS [Электронный ресурс]  
[https://www.researchgate.net/figure/Laser-engineered-net-shaping-LENS-process-47\\_fig3\\_327701079](https://www.researchgate.net/figure/Laser-engineered-net-shaping-LENS-process-47_fig3_327701079)
9. Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: Издательство Томского политехнического университета 2014
10. ГОСТ 12.3.002-75. Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности
11. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности
12. СевКавНИПИГаз «Безопасность жизнедеятельности и экологичность проекта»

## Приложение А

Таблица 34 – Календарный план-график

		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
Составление и утверждение технического задания	3,5					
Подбор и изучение материалов по теме	19,6					
Изучение уже существующих решений в данной области	6,2					
Изучение зарубежной литературы	6,2					
Выбор направления исследований	1,7					
Календарное планирование работ по теме	0,98					
Расчет динамических нагрузок	12					
Испытания в <u>термокамере</u>	3,4					
Исследование по части <u>«Социальная ответственность»</u>	2,8					
Исследование по части <u>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</u>	2,8					
Имитационное моделирование	23,8					
Оформление пояснительной записки	5,2					
Оценка результатов	2,3					

## Приложение Б

### Modernization of the construction of transport caps to increase the efficiency of technological processes of the life cycle

Раздел 2.2.1

Обзор технологий печати

---

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ8Т	Ларькин Александр Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Сикора С.Е.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранной школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Забродина И.К.	к.пед. н		

## 2.2 Choosing a printing technology

### 2.2.1 Printing Technology Overview

At the moment, there is the possibility of printing with almost any material, from metal alloys, to wood and plastic. The table below shows the existing technologies and types of printing.

Table 14 types of additive technologies and their types

Technology View	View
Photopolymerization	SLA: Stereolithography
	DLP: Direct Light Processing
	CDLP: Continuous DLP
Material extrusion	FDM: Fused Deposition Modeling
Inkjet Modeling	MJ: Material jetting,
	NPJ: Nano particle jetting
	DOD: Drop-On-Demand
Binder application	BJ: Binder Jetting
Powder smelting	MJF: Multi Jet Fusion
	SLS: Selective Laser Sintering
	DMLS/SLM: Direct Metal Laser Sintering and Selective Laser Melting
	EBM: Electron Beam Melting
Laser Laminating / Electron Beam Melting	LENS: Laser Engineered Net Shape
	EBAM: Electron Beam Additive Manufacture
Lamination	LOM: Laminated Object Manufacturing

Briefly about each of the printing technologies.

#### **Photopolymerization.**

SLA: Stereolithography, or Stereolithography,

DLP: Direct Light Processing, or Digital LED Projection,

CDLP: Continuous DLP, or Continuous Digital LED Projection

The essence of the technology is that it hardens under the influence of light of a certain wave on a liquid photopolymer resin. The table immersed in the resin



to the thickness of the layer is transmitted through the laser (in SLA - pointwise, CDLP / DLP - the entire layer at once) in places according to the 3D model[7]. The table rises / falls to the thickness of the layer and the laser shines through the next layer.

Typically, such a printer consists of a container for resin, a laser and a table (the place on which the part is printed). Depending on the configuration and type of technology, both the “table” and the container with resin can be mobile.

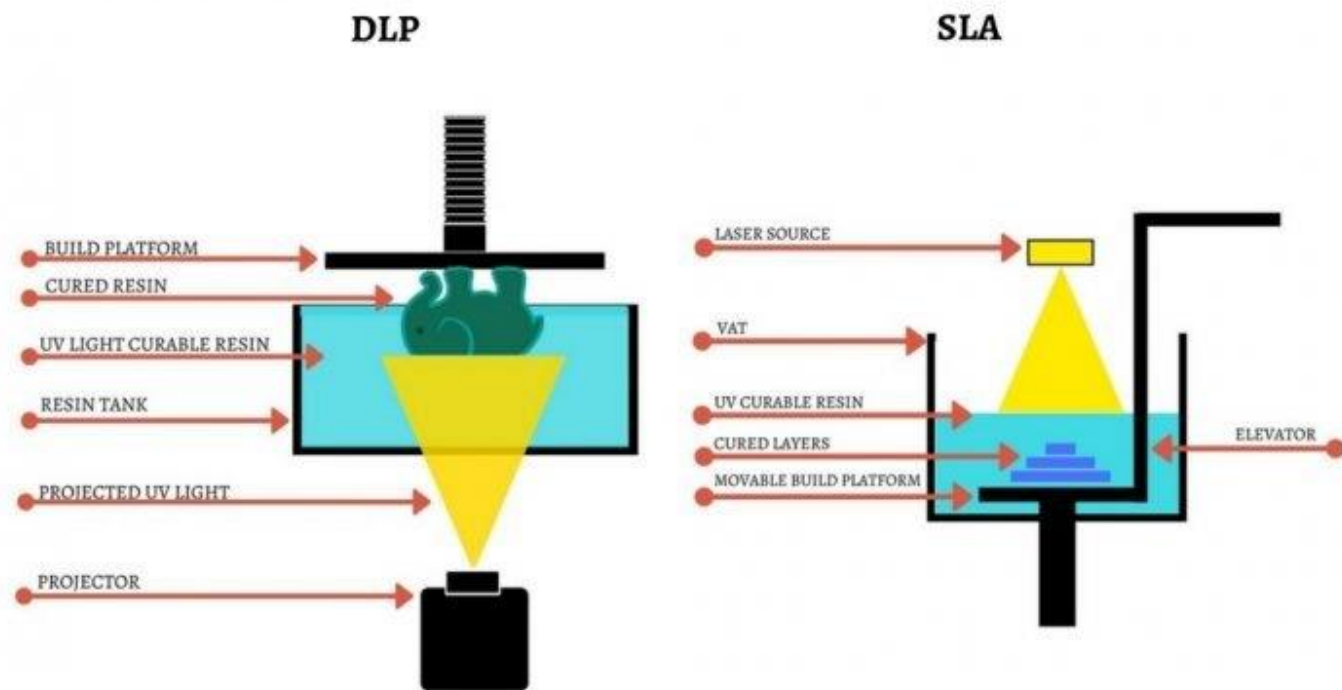


Figure 15 - DLP and SLA technologies (from right to left, respectively)

Positive characteristics: high print accuracy (printing very thin layers), smooth surface, the presence of desktop and industrial models.

Minuses: fragility of models, long printing time, high cost of printers and print materials.

Application: dentistry, medicine, jewelry, injection molding, home printing.

Materials used: standard, durable, flexible, transparent and casting resins.

### **FDM: Fused Deposition Modeling, or Fusion Modeling**

FDM printing, also known as FFF (Fused Filament Fabrication), or Filament Fusion, is the most common type of 3D printing[2].

The printing method is this. A spool of thermoplastic filament is loaded into the printer. The printer continuously moves the nozzle in accordance with the path specified by the CAD system, laying the molten material in the required places. There are printers that allow you to print multiple nozzles or materials at once. This helps speed up and increase print quality.

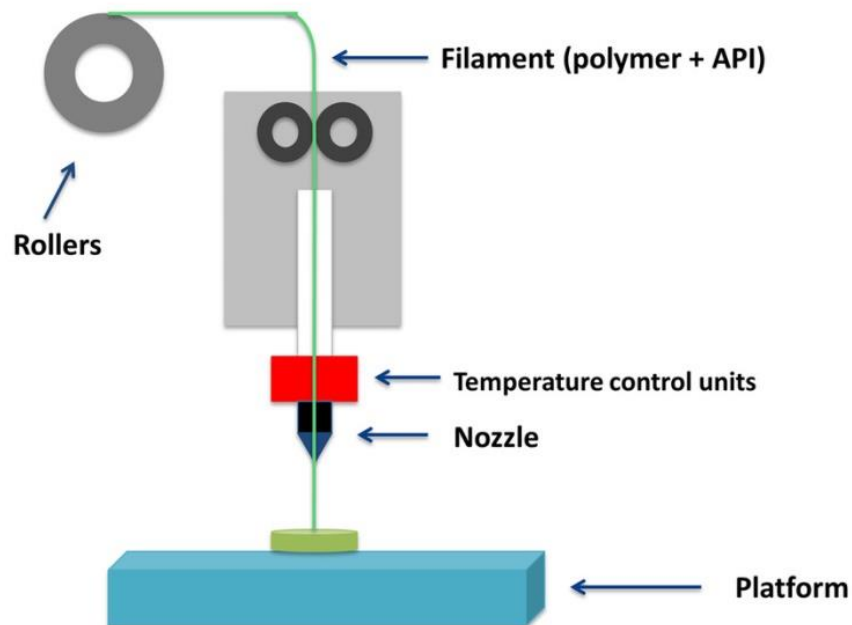


Figure 16 - FDM printer device

Positive characteristics: low cost of printers and printing materials, open source code, the ability to buy such a printer in a disassembled state at a low price and assemble independently, printing with several materials at the same time, printing speed.

Minuses: limited print accuracy (the minimum layer thickness is much higher than that of a SLA printer), a rough print surface (although it can be smoothed out with certain materials after printing), anisotropy.

Application: prototyping, industrial production, rapid production, home printing.

Materials used: thermoplastics and composites supplied in the form of coils - ABS, PLA, nylon, PC, fiber-reinforced nylon, ULTEM, exotic materials (filling with metal, wood and so on).

## Inkjet Modeling

MJ: Inkjet Material, or 3D Inkjet Printing

NPJ: Nano Particle Jet, or Inkjet 3D Printing with Nanoparticles

DOD: Drop-On-Demand, or Flying Leveling Fusion

MJ technology is a something mean Between FDM and SLA technologies[8]. MJ technology is similar to conventional 2D printing. This technology uses photopolymers that are exposed to ultraviolet light or heat. Feeding photopolymers from hundreds of tiny nozzles in the print head (the number of nozzles varies from 96 to 448) allows you to print the results at the same time, which is often used to print models of soluble materials for easier removal after printing.

MJ printer prints the model layer by layer. MJ printing differs from FDM and SLA at a faster speed: while FDM and SLA printers build objects point-wise, following a certain path (FDM printers extrude material point by point, and SLA point-by-layer baking resin), MJ printers lay the entire layer on the platform at once. When drops of material appear on the platform, they emit light, and the layer hardens. All models can be printed at the same time. When the product is ready, support can be easily removed with water.

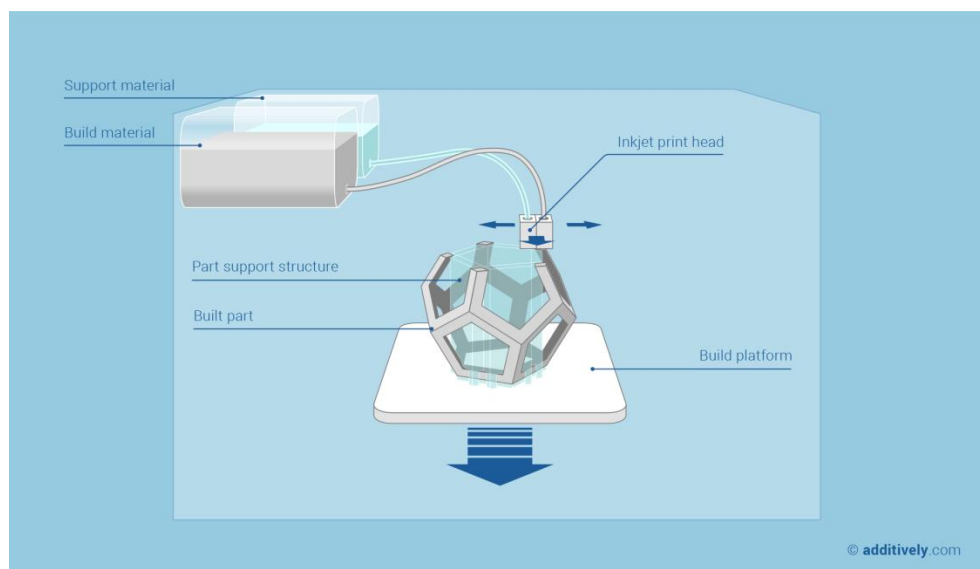


Figure 17 - principle of printing technology MJ

NPJ technology (inkjet nanoparticles, or 3D inkjet printing of nanoparticles) is very similar to the previous one (MJ), only here we use a liquid that detects metal nanoparticles. The resistance of the printer distributes the liquid on the platform of the inkjet or small droplet, while the high temperature inside the case leads to the evaporation of the liquid, after which only a layer of metal remains on the platform.

In DOD technologies (Drop-On-Demand, or Deposition with alignment of a layer of a flying cutter), there are two printheads: one distributed wax-like material on the platform, the other way to create support from soluble material. Like FDM and SLA, printers, DOD printers follow predefined paths and distribute the material pointwise. DOD printers also use summer forms to align each layer, since to improve print quality, you must create a flat surface before printing the next layer.

Positive characteristics: high printing accuracy (printing very thin layers), printing with several materials at the same time, smooth print surface, high detail, color printing.

Minuses: the high price of printers and print materials, photopolymer prints can be quite fragile, limited choice of print materials.

Application: high-precision prototyping, realistic prototyping, development of electronic components, dentistry, jewelry production, high-precision prototyping, creation of molds for subsequent casting, industrial and architectural design.

Materials used: rigid, transparent, multi-color photopolymers, thermoplastics, stainless steel, ceramics, wax.

## Technology binder application

### BJ: Binder Jetting, or Inkjet Printing with Binder

In BJ printing, an adhesive binder is applied to thin layers of powdered material. For example, stainless steel or a metal base. The print head moves over the platform, distributing the droplet-forming substances across the material layer. When the first layer is ready, the platform drops down[9]. The process is repeated until all layers are completed. After printing, the parts need post-processing. By improving the mechanical properties of the parts, sealants are used as a binder, such as cyanoacrylate adhesive (in the case of ceramics) or bronze (in the case of metals). To add color to the prints, a dye may be added to the binder.

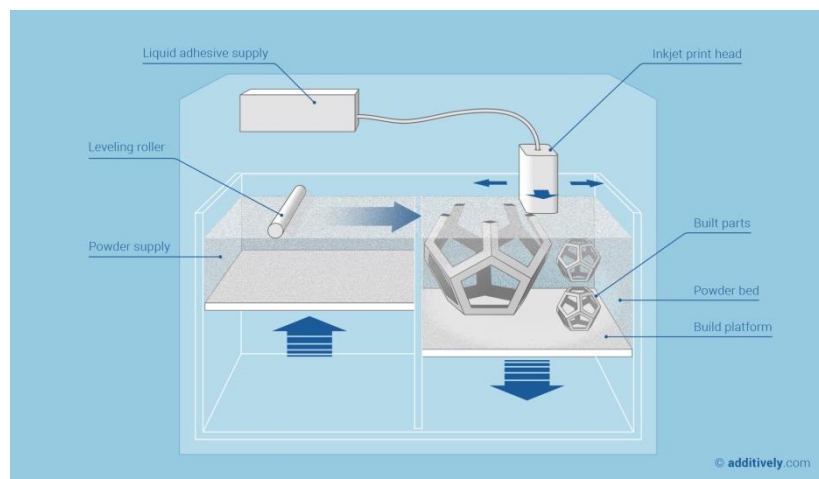


Figure 18 - Principle of printing technology BJ

Positive characteristics: color printing, durable prints, lack of support, the ability to use the material left after printing for a new print.

Minuses: low strength prints.

Application: ceramic-based printing is ideal for creating architectural models, sand casting molds, souvenirs, jewelry. Metal parts can be used as functional components - they are cheaper than metal parts SLM or DMLS, but their mechanical properties are worse.

Materials used: siliceous sand, gypsum, metals, plastics, sand mixtures, ceramics, cobalt-chromium, tungsten carbide.

### **Powder bed fusion**

MJF: Multi Jet Fusion, or Multi-Jet Smelting

SLS: Selective Laser Sintering, or Selective Laser Sintering

DMLS / SLM: Direct Metal Laser Sintering, or Direct Laser Sintering of Metals and Selective Laser Melting, or Selective Laser Smelting

EBM: Electron Beam Melting, or Electron Beam Melting

Printing by Powder Melting, or Powder Bed Fusion, occurs through the thermal treatment of the powdered material. Under thermal influence, metal / plastic powders sinter or melt layer by layer, forming prints. PBF methods differ from each other by the energy source used and the type of powder used.

Most PBF printers have a mechanism for smoothing fine layers of powder during printing. After printing is completed, unnecessary sand is removed and a solid printout remains.

Multi-jet fusion (MJF: Multi Jet Fusion) is essentially a combination of the SLS technology described above and 3D inkjet printing. The print head of the printer with nozzles similar to the nozzles of a 2D printer spreads the melting substance on a thin layer of powder plastic, which is filled up in a special container. At the edges of the layer of the model, nozzles are printed with a substance that impedes the sintering process (this creates a layer contour). Then, a powerful source of IR radiation passes over the container with the powder and sinters the areas covered with the melting substance, leaving the rest of the powder intact. The process is repeated until all layers are complete.

Positive characteristics: printing objects with complex geometry; lack of support; very high print strength and mechanical properties comparable to the

material itself (and sometimes better); a variety of post-processing methods to create objects with a smooth surface.

Minuses: rough surface and porosity of parts without post-processing, shrinkage or deformation of parts during processing.

Application: functional prototypes, printing of finished parts.

Used materials: nylon.

Technology SLS (Selective Laser Sintering) - selective, or selective, laser sintering allows you to create strong plastic parts by sintering thin layers of powder with a laser (most often carbon dioxide) layer by layer. The first layer of powder is poured onto the platform, and baked with a laser according to the design (the laser draws a cross section of the model along the powder). Then the platform is lowered to the thickness of one layer, a new layer of powder is poured on top, and again processed by a laser. The process continues until all the layers in the model are printed. Then the finished part is removed from the powder, cleaned, and, if necessary, completed to post-processing.

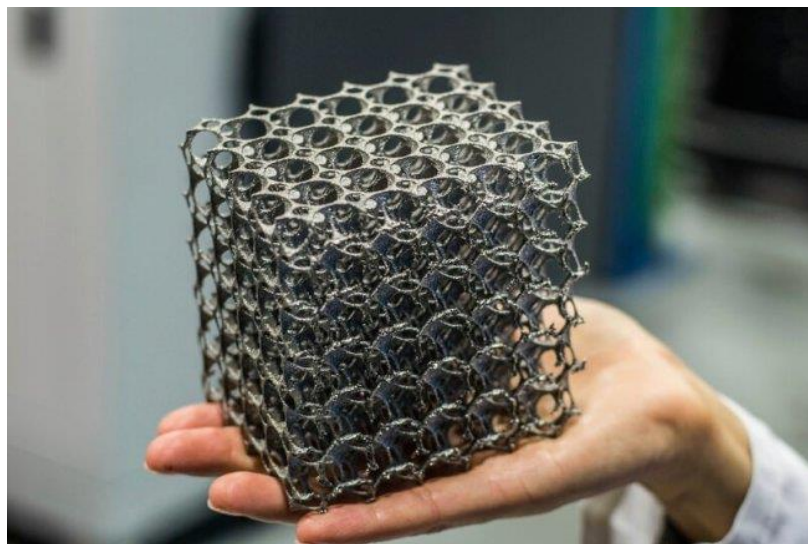


Figure 19 - Example of printing complex geometry

Positive characteristics: printing objects with complex geometry; lack of support; very high print strength and mechanical properties comparable to the

material itself (and sometimes better); a variety of post-processing methods to create objects with a smooth surface; variety of print materials available.

Minuses: the high cost of printers.

Application: functional prototypes, printing of finished parts.

Materials used: nylon, carbon fiber nylon, PEEK, TPU, aluminum (material consisting of nylon filled with aluminum dust).

SLM and DMLS printers print models on the same principle as SLS printers, only from metal powder. SLM assumes complete powder melting, while DMLS printers heat the powder almost to its melting point, and the powder particles are fused through a chemical reaction. DMLS printing uses alloys (nickel alloys, Ti64 and others)[10]. SLM printers can work with pure metals (for example, aluminum). SLM and DMLS models are printed with supports to prevent deformation of the printout from residual mechanical stress.

Positive characteristics: Printing objects with complex geometry; printing of hollow objects. Very high print strength and mechanical properties comparable to the material itself (and sometimes better). A variety of post-processing methods to create objects with a smooth surface. The variety of print materials available; high resolution prints; non-waste production (unused powder in the chamber can be used for printing other models); faster than the casting process; lack of welds.

Minuses: the high cost of printers, the availability of supports, parts less durable than cast counterparts.

Application: functional prototypes, printing of finished parts, printing of implants, aerospace industry, dentistry, medicine.

Materials used: aluminum, titanium, stainless steel, nickel alloys, cobalt-chromium alloys and gold.

EBM printers (Electron Beam Melting) are used to print metal objects. Printing is as follows. The working chamber uses metal powders and printers. The



whole process takes place in a vacuum environment. Electron beam printing does not require the creation of support structures for models due to the absence of residual mechanical stress caused by the temperature gradient between the cooled and hot layers. In addition, EBM uses less energy and can produce layers faster than SLM and DMLS, but the quality of these models will be worse: EBM printers have finer details and a smoother surface than SLM and DMLS printers.

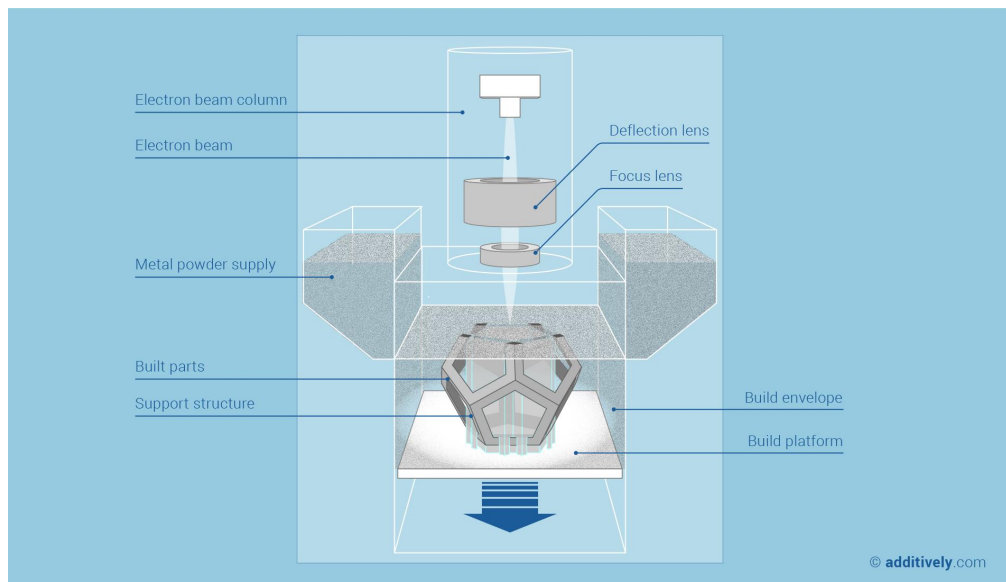


Figure 20 - EBM technology principle

Positive characteristics: high density and mechanical strength of objects; printing objects with complex geometry; printing hollow objects; lack of support; non-waste production (unused powder in the chamber can be used for printing other models); faster than the casting process; lack of welds; printing in a vacuum chamber allows you to work with materials sensitive to oxidation; high print speed.

Minuses: high cost of printers, lower print quality than SLM and DMLS printers.

Application: production of monolithic products, functional prototypes, printing of finished parts, printing of implants, aerospace industry, medicine.

Materials used: titanium, cobalt-chromium alloys.

## **Laser Laminating / Electron Beam Melting**

LENS: Laser Engineered Net Shape, or Melting by creating a shape with a laser

EBAM: Electron Beam Additive Manufacture, or Electron Beam Additive Manufacturing

The LENS and EBAM technologies combined in this group create models by melting the material during its distribution into the layer. These methods are most often used to melt metal powder or wire.

LENS printers are equipped with a laser head, a powder metering nozzle, and an inert gas tube (these three elements make up the print head) for layering models[11]. The laser beam focuses on a small point with one or more lenses and creates a melting bath on the platform. A nozzle throws metal powder into this melting bath, where it is baked. The platform moves along the X and Z axes to create a cross section of the model. When the layer is ready, the print head rises up to the level of one layer and continues printing. Inert gas is used to protect the melting bath from oxygen, which gives greater control over the properties of the printout and allows you to increase the strength of the interlayer bonding.

The basis for printing is either a thin metal plate or a finished part in which you want to add an element or repair.

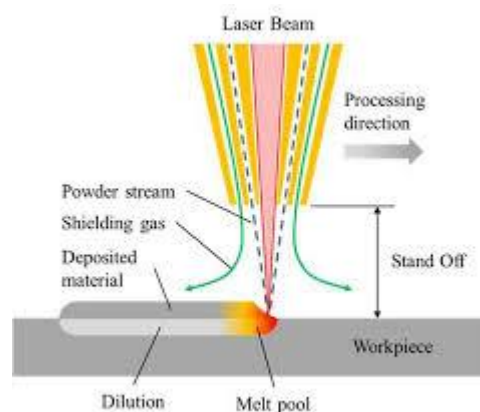


Figure 21 - LENS / EBAM printer operation principle

Positive characteristics: high density and mechanical strength of printouts, the ability to print directly on the finished object.

Minuses: the high cost of printers, the need for strong support.

Application: metal printing, repair of objects, adding elements to existing objects.

Materials used: titanium, stainless steel, aluminum, copper, tool steel.

**EBAM printers** use an electron beam to melt the material. This technology is similar to LENS: metal powder or wire is delivered to the platform by a nozzle, melted by a powerful electron beam and harden. Printers print the model layer by layer until the part is complete. Compared to LENS, the use of electron beams is considered more efficient; printing takes place in a vacuum.

Positive characteristics: high density and mechanical strength of objects, the ability to print directly on the finished object.

Minuses: the high cost of printers, the need for strong support.

Application: metal printing, repair of objects, adding elements to existing objects.

Materials used: titanium, stainless steel, aluminum, copper nickel, 4340 steel.

### **Lamination**

LOM: Production of Laminated Products, or Printing Objects by Lamination

Printing through lamination consists in layer-by-layer bonding of the material and using a laser or blade to create the contour of the object.

When printing LOM on a platform or finished object, a sheet of material is glued on with a heated roller. Laser cuts are made. The platform lowers and a fresh sheet of adhesive material is fed into the working chamber. The platform rises and the new layer adheres to the previous one. The process is repeated until the printing of the entire object is completed.

Positive characteristics: cheap printing materials, various post-processing options (grinding, drilling, painting), production of large models.

Minuses: The thickness of the layer is equal to the thickness of the material, while other printing methods give a layer thickness of several microns.

Application: rapid prototyping, creating layouts.

Used materials: paper, metal foil, plastic.