

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА ПО  
ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА

ДУСЕЕВ РАДМИР ИЛЬГИЗОВИЧ

**РАЗРАБОТКА 3D ПРИНТЕРА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ  
МАКЕТА ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА**

Выполнил:

Студент 5 курса заочной формы обучения

Направление подготовки (специальность):

«Технологические машины и оборудование»

Направленность (профиль) «Инжиниринг

технологического оборудования»

Руководитель:

доцент кафедры «ТМО»

Шафиков Р.Р

УФА – 2021

Введение .....	3
<b>1. Технологическая часть</b>	
1.1. Литературный обзор 3Dпечати .....	5
1.2 Характеристика материала для FDMпечати .....	10
1.3 Описание кинематика 3Dпринтера .....	12
<b>2.1 Конструкторский раздел.</b>	
2.1.1 Описание кинематических узлов принтера .....	16
2.2.1 Механизм подачи пластика.....	20
2.2.1 Описание электронных компонентов принтера .....	24
2.2.2 Разработка и установка ПО.....	26
<b>3.1 Технологический раздел.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1. Экономический раздел .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Реализация макета теплообменного аппарата .....</b>	<b>36</b>
<b>6.1 Техника безопасности</b>	
6.1.1 Техника безопасности при выполнении слесарных работ .....	40
6.1.2 Техника безопасности при работе на 3D принтере .....	41
<b>7.1 Технический паспорт 3D принтера .....</b>	<b>44</b>
Заключение .....	46
Список литературы.....	47

## Введение

С развитием компьютерных технологий, в частности, САПР систем, современная промышленность получила возможности проектирования прототипов различных аппаратов с целью подробного исследования технических характеристик будущих конструкций. Но на одном лишь создании САПР модели промышленность не останавливается одним из промежуточных этапов проектирования является создание промышленного прототипа, и у современных инженеров есть достаточно дешевый способ ее реализации это создание модели на 3d принтере.

В своей работе я хотел бы исследовать процесс разработки 3dпринтера с целью экономического обоснования для последующего создания прототипа теплообменного аппарата на этом принтере.

Актуальность работы продиктовано востребованностью в промышленности быстрого и не затратного способа производства прототипов технологических систем поскольку для создания прототипа классическим способом может потребоваться большое количество ресурсозатратных мероприятий, тогда как при проектировании на 3dпринтерах это может быть осуществлено достаточно быстро и при меньшем за действие цепочек производств, а также дальнейшая отладка и оптимизация представляется более удобной.

Так же хотелось бы коснуться немаловажного аспекта как перспективность 3dпечати поскольку вообще сама по себе если можно так выразиться отрасль достаточно молодая, но уже сейчас выглядит многообещающе, разрабатываются большой комплекс композитных материалов для печати которые призваны устранить главный ее недостаток — это послойное создание изделия которые напрямую влияют на прочностные характеристики. Так же идет, и постоянная модернизация самих конструкций принтеров ускоряется скорость печати которое напрямую влияет на качество. Технология стереолитографии как ее называли в начале развития выглядит достаточно привлекательно для малых производств ввиду своей доступности и именно ее экономическая составляющая обеспечит ей в будущем высокий индекс внедрения в различные отрасли производств.

Стоит отметить что 3d-печать сейчас находится в ранней стадии развития, сравнимую с эрой компьютеров в 70-80е годы XXвека. Но даже сейчас 3dпечать находят свое применение в реальном производстве, а не только в прототипировании, например компания LockheedMartinизготовила на принтере комплектующие для своего нового экспериментального самолета P-175 Polecat, и таких примеров множество.

Объектом исследования в дипломной работе является технология 3Dпечати для последующего его использования в технологической сфере.

К предмету исследования относится процесс создания действующего 3дпринтера для дальнейшей печати макета теплообменного аппарата.

Поскольку тема диплома конечной целью определяет создание макета теплообменного аппарата предлагаю кратко рассмотреть, что собой представляет данная технологическая конструкция. Теплообменник один из самых распространённых типов оборудования в производстве, в аппарате происходит теплообмен между двумя потоками при этом один из них охлаждается другой нагревается. Поэтому вне зависимости от того, что является целевым назначением аппарата: нагрев или охлаждение их называют теплообменными аппаратами.<sup>1</sup>

В заключении определим, что собой представляет цель моей работы. Во-первых, это возможность применения 3дпечати в техносфере с целью создания технологических моделей, во-вторых, экономическое обоснование выбранной мною технологической системы. Для достижения поставленных целей я опередил для себя следующие задачи это:

- анализ и изучение 3Дпечати ее особенности и преимущества.
- выбор оптимальной конструкции принтера
- разработка 3дпринтера из комплектующих как готовых, так и изготовленных мною самостоятельно
- изучение теплообменных аппаратових классификация с целью анализа и выбора конструкции для последующего изготовления макета
- экономически расчет затрат на осуществление данной работы и ее экономическая целесообразность.

## 1. Технологическая часть

---

<sup>1</sup>(А.И.Скобло, 2000)стр 568

## 1.1 Литературный обзор 3D печати

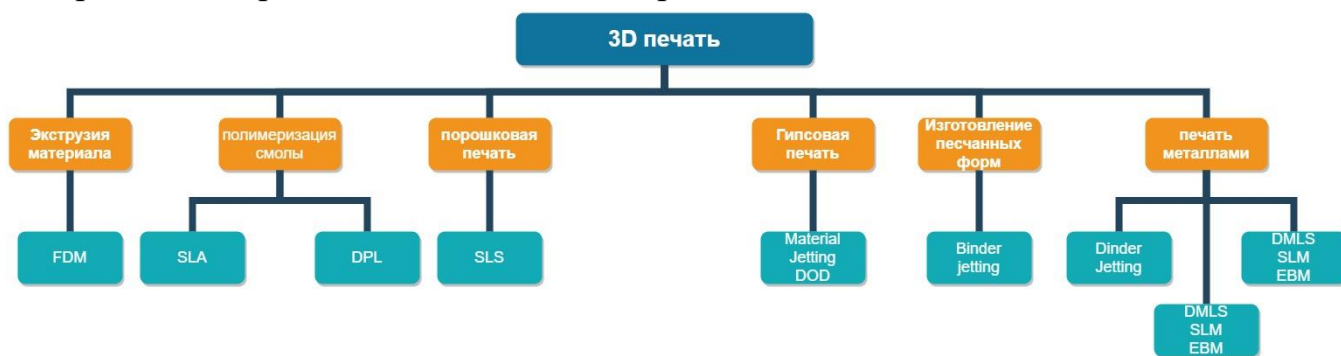
Технология аддитивного наслаивания материала путем наплавления восходит своими корнями к 50-м годам XX века когда в научном журнале *Astounding Science Fiction* Раймондом Ф. Джонсоном был описан концепт будущей 3D печати в ней он называл ее технология создания изделия путем напыления «молекулярного спрея». Но в течении долгого времени 3D печать оставалось концептом. Следующий виток развития технологии произошел в момент развития микроэлектроники и создания различных полимеров он пришелся на 70-е годы. В 1971 году Йоханнес Ф. Готвальд зарегистрировал патент струйной печати из металлического материала для создания прототипа съёмной металло конструкции, это по всей видимости является первым патентом описывающий 3d печать в современном ее представлении.

Первый образец оборудования для аддитивной печати был создан в Японии в 1980 году в институте промышленности города Нагой, принцип работы состоял в послойном наплавлении фото-отвердевающим полимере с последующим воздействием УФ излучения. Создатель данной технологии Хидео Кодома подал патент на свое устройство в 1981 году. Так же он выпустил несколько статей в местных научных журналах но реакции на его работу никакой не последовало, так же его работа не была встречена тепло его начальством и получение патентных прав на технологию было прекращено. В 90-е продолжилось развитие аддитивных способов производства материалов. Термин 3D печать впервые начал использоваться в 1993 году в Массачусетском технологическом институте (MIT) для описания процесса нанесения порошкового слоя с использованием струйных печатающих головок, в последующем технологию коммерциализировала компания *Soligen Technologies*.

Новый этап развития 3d печать получила уже в 2000-е в связи с истечением патента процесса печати методом наплавления (FDM). 2010-е стали первым десятилетием когда 3d печать начала входить в промышленный сектор производства в частности начали производить отдельные детали для авиации и в машиностроении. На данный момент (50% по данным 2018) наибольшую часть рынка занимает технология FDM, основная причина ее распространённости — это низкая себестоимость.

Именно в связи с тем, что технология FDM является наиболее обкатанной с точки зрения технологической, а также широкой проработанностью как теоретической базы, так возможностью в не заводских условиях создать действующий принтер, именно эти факторы и определили мой выбор в пользу этой технологии. Далее рассмотрим, что же собой представляет собой

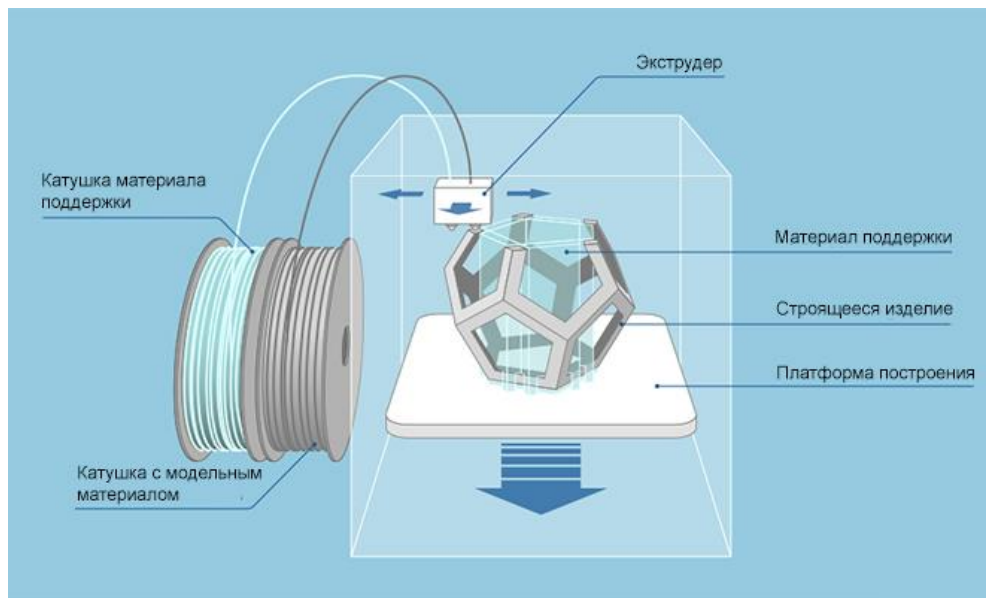
FDM технологии ее основные достоинства в сравнении с другими типами техпроцессов, проведем аналитическое сравнение.



FDM технология основанная на осаждении слоями расплавленного пластика. Технологический процесс состоит из следующих последовательных операций.

3D модель созданная в какой-либо CAD программе конвертируется в Објили STL формат и передается в программное обеспечение принтера в программе предусмотрено автоматическая генерация вспомогательных конструкций помогающая создать прочную конструкцию, также программа выдаёт количество требуемого материала для изготовления будущей модели также производится временной расчет на изготовление. Пластиковая нить, чаще всего это ABS пластик, подается из катушки в механизм подачи пластика далее он перемещается в печатающую головку экструдер в которой происходит нагрев и расплавление пластика, в свою очередь печатающая головка движется согласно форме будущей модели, координаты движения определяются программным обеспечением. Обычно печатающая головка движется в двух измерениях X, Y затем перемещается на небольшое расстояние по оси Z и начинает накладываться новый слой пластика. Формирование модели идет от низа к верху.

Рисунок 1 – иллюстрация технологического процесса FDM принтера)



Так же следует отметить что механизм подачи пластика бывает двух типов, встроенным в печатающую головку, называют eedirectэкструдер второй тип это Bowdenэкструдермеханизм подачи пластика вынесен отдельно от печатающей головки. У обоих решений есть как плюсы и минусы.

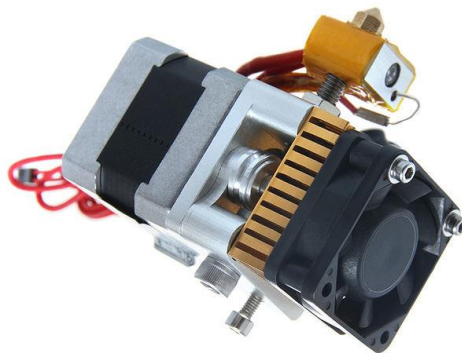
Плюсы Directэкструдеров:

- Печать пластиком с различными прочностными характеристиками на больших скоростях
- Уменьшение погрешности в модели за счет небольшого расстояния между термальной зоной и зоной подачи.
- комфортная замена расходного материала для печати.

Минусы:

- Вес печатающей головки за счет того, что механизм подачи находится в связке существенно увеличивается, в свою очередь это ограничивает в выборе формы конструкции принтера, также происходит увеличение инертности

Рисунок 2 –Тип экструдера-direct



Плюсы Bowdenэкструдеров

- Малые размеры в сравнении Directэкструдерами
- Малый вес каретки за счет отсутствия шагового двигателя (двигатель вынесен за пределы в основном крепится на раме принтера)

#### Минусы

- Требуется более производительный двигатель для подачи пластика на печатающую головку
- Ограниченный выбор материала для печати, т.к. пластику приходится проходить через трубку то пластик должен быть более гибким.

Рисунок 3 –Тип экструдера-bowden



Менее распространённый тип 3дпечати это процесс стереолитографии **SLA (stereolithography)** основанный на печати фотополимерными смолами.

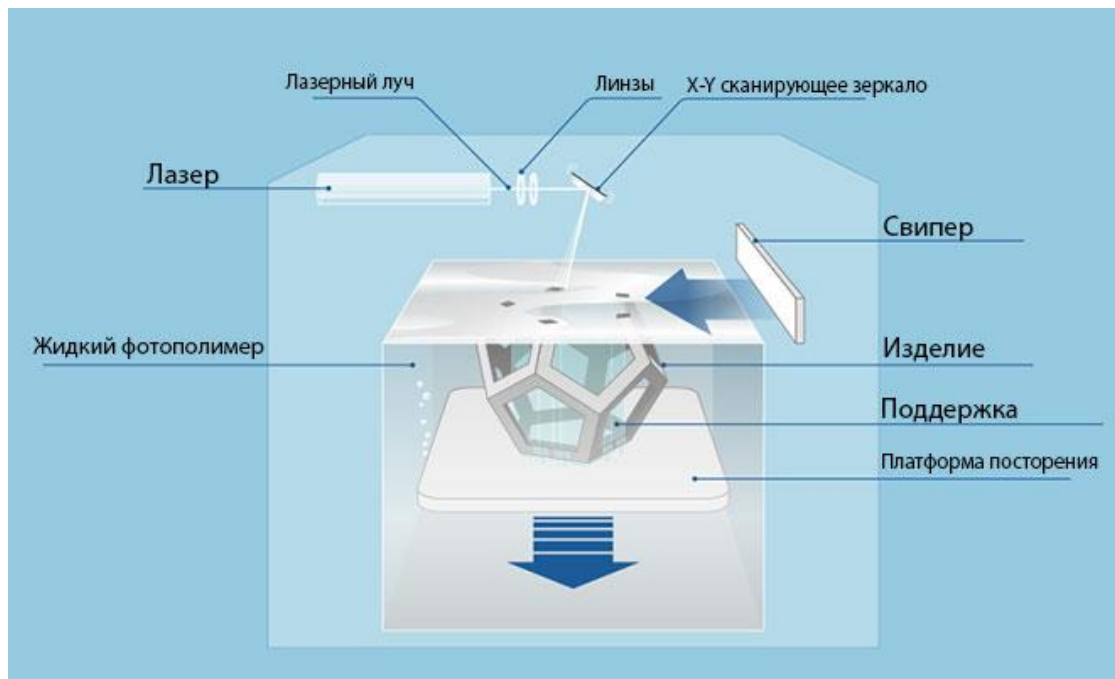
Техпроцесс основан на послойном наращивании пластика путем фото полимеризации. Технологическая схема состоит из: бассейна, наполненного смолой в жидком состоянии (фотополимер), платформы на которой идет построение формы и поршня за счет идет погружение платформы, лазера ультрафиолетового спектра и компьютера с установленным программным обеспечением.

Процесс печати заключается в отвердевании пластика под воздействием лазерного луча. За счет регулирования времени воздействия луча на фотополимер формируется толщина поперечного сечения модели. Изначально платформа погружается на глубину около 0.15 мм это будущей первый слой модели и так слой за слоем формируется конечная геометрия.

В финале происходит очистка объекта от ненужных элементов и облучение для окончательного затвердения формы.

Рисунок 4 –(иллюстрация технологического процесса SLA принтера)





В виду того, что SLA технология весьма сложная в работе область ее применения весьма ограничена. Но у данной технологии есть и свои существенные плюсы это:

- Высокое качество изготавливаемой поверхности сравнимую с литьем
- Возможность изготовить модель с тонкой стенкой мелкой детализацией
- Точность изготовленной модели не порядок выше, чем у других технологий конкурентов

Область применения:

- Научно-исследовательская работа. Ввиду того что модели сделанные по этой технологии обладают достаточной прозрачностью и прочностью то они могут быть использованы для исследования протекания газовых и гидродинамических процессов в различных средах
- Изготовление форм для литья. Как и упоминалось ранее SLA модели обладают достаточной гладкой поверхностью и имеют высокие прочностные характеристики для изготовления формовочного шаблона применяемый в литье.
- Медицина.SLA технология нашла свое применение в челюстно-лицевой хирургии. При помощи томографа получают объёмную модель костной ткани пациента затем по этой модели изготавливают имплантат для проблемного участка в реальном размере. Таким образом медицина получила в свое распоряжение инструмент построения имплантата неинвазивным способом.

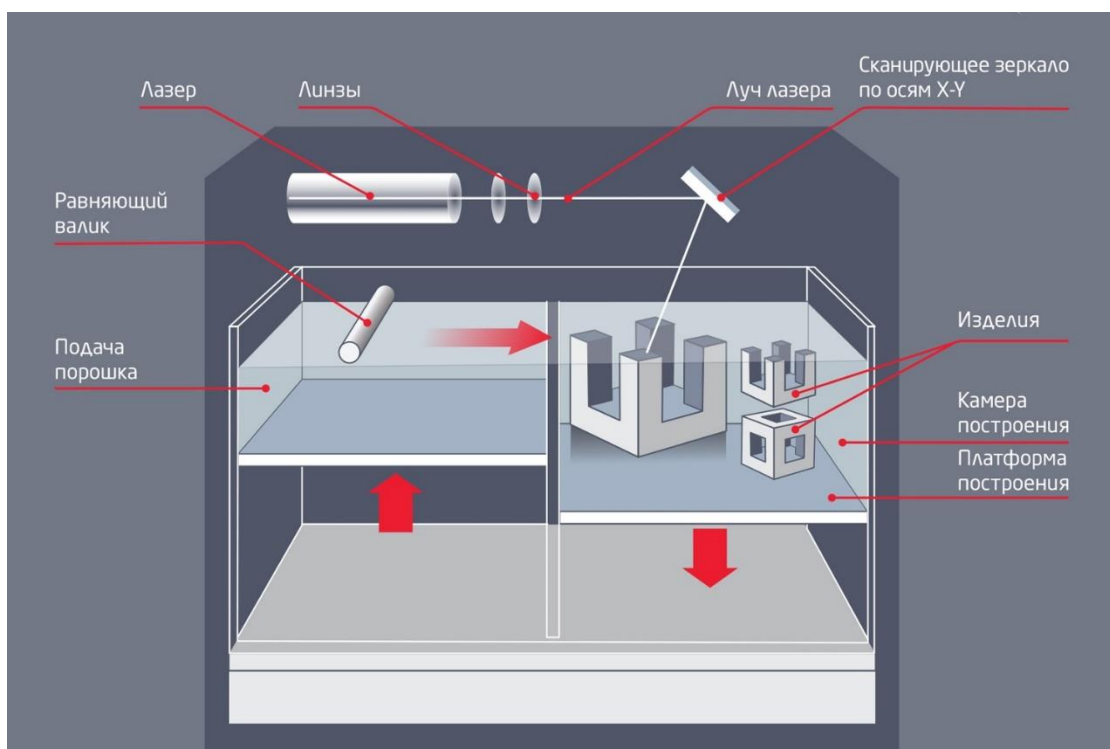
**SLS (Selective Laser Sintering)** -технология селективного лазерного спекания.

Техпроцесс заключается в спекании лазерным лучом пластиковых полимеров.

Процесс начинается с предварительного нагревания пластика для обеспечения оптимальной работы принтера, затем пластик подается в камеру построения которая распределяется на толщину первого слоя, лазерный луч направляется на участок определяемый управляющей программой построения 3d модели, под воздействием лазера идет спекание пластикового порошка и так слой за слоем идет изготовление модели.

Одним из существенных преимуществ данной технологии является отсутствие необходимости создавать опорные конструкции для модели со сложной геометрической формой в виду того, что в роли опоры выступают области не подвергшийся воздействию луча. Исходя из этого по этой технологии можно изготовить модели со сложными геометрическими характеристиками без риска деформации. Модели, созданные по этой технологии, могут конкурировать по качеству поверхности с классическими методами изготовления такими как литье. Существенный минус SLS-печати это трудозатраты при подготовке сырья и ее высокая токсичность. Ну и самый главный минус — это высокая стоимость оборудования и материалов и поэтому для массового потребителя данная технология недоступна.

Рисунок 5 –(иллюстрация технологического процесса SLS принтера)



На данный момент это все наиболее распространённые технологии, которые могли бы составить конкуренцию FDM и у всех у них есть существенный минус это высокая стоимость конечной продукции ввиду высокой стоимости реактивов и высокие требования к технической подготовке персонала.

## 1.2 Характеристика материала для FDM печати.

Золотыми стандартами при выборе материала для 3D печати на сегодняшний день являются PLA и ABS пластик, первый является наиболее распространенным. PLA пластик расшифровывается как полилактид, структурной единицей которого является мономер молочной кислоты  $C_3H_6O_3$ , биоразлагаемый алифатический полиэфир, сырьем для производства служат такие ресурсы как кукуруза и сахарный тростник. Главное преимущество PLA низкая температура плавления, имеет большую теплоемкость благодаря этому печать можно производить без предварительного нагрева стола. Основным минусом PLA является хрупкость и низкие механические свойства в сравнении с другими видами пластика

Вторым по популярности сырьем для FDM печати идет ABS пластик химическое название акрилонитрил бутадиен стирол, ударопрочная термопластичная смола, имеет ряд преимуществ в сравнении с PLA, высокие механические свойства кислотостойкость. Но вместе с тем главный его недостаток это деградация по воздействию УФ лучей, так же при его применении требуется использовать термостол для равномерной термоусадки.

Так же стоит отметить набирающий популярность PETG. Полиэтилентерефталат гликоль (ПЭТГ) является модификацией полиэтилентерефталата. Вообще сам по себе пластик уже давно используется в производстве тар для пищевых продуктов, но использовать ПЭТГ в FDM начали сравнительно недавно. Как и PLA пластик, PETG достаточно прост в использовании за счет высокой межслойной адгезии, продукция получаемая из этого сырья имеет достаточно хорошие прочностные характеристики.

Сравнение с ABS

- PETG прочнее ABS вместе с тем ABS тверже
- не имеет запах при работе с ним
- PETG лишен недостатка усадки и последующей деформации
- конечная продукция имеет более низкий вес.

Сравнение с PLA

- PETG превосходит PLA своими механическими свойствами
- Вес конечной продукции сравним с PLA.
- PETG требует использование нагревательного стола как и ABS.

Наименее распространенный пластик для печати на сегодняшний день это нейлон 12 или же мономераминаолауриновой кислоты. Причина его низкой популярности является это высокие требования технического оснащения, а именно высокая температура плавления свыше 250 С. Ввиду этого печатать на нем можно только в закрытой камере так же требует специальных настроек

оборудования, нейлон гигроскопичен и хранение сырья требует специальной подготовки.

Основные преимущества нейлона

- высокие прочностные свойства
- низкая вероятность деформации при печати
- Нейлон можно окрасить
- Стойкость к УФ и химическому воздействию.

Таблица 1 Технические характеристики пластика для FDM печати<sup>2</sup>

Свойства	PLA	ABS	PETG	Nelon1 2
Температура плавления С <sup>0</sup>	173-178	220	260	178
Твердость по Роквеллу	R 70-90	R100	R106	R112
Относительное удлинение при разрыве	3.8%	17%	150%	1.2%
Прочность на изгиб	55 МПа	68МПа	50-80 МПа	115МПа
Прочность на разрыв	57.8МПа	41 МПа	55 Мпа	71 МПа
Модуль упругости при растяжении	3.3ГПа	1.6Гпа	1.3ГПа	1.5ГПа
Модуль упругости при изгибе	2.3ГПа	1.8ГПа	2 ГПа	2ГПа
Температура стеклования С <sup>0</sup>	60-65	105	88	49
Плотность	1.23- 1.25г/см <sup>3</sup>	1.05 г/см <sup>3</sup>	1.25г/см <sup>3</sup>	1 г/см <sup>3</sup>
Точность печати	± 0.1%	± 0.1%	± 0.1%	± 0.1%
Размер мельчайших деталей	0.3 мм	0.5мм	0.3 мм	0.1 мм
Усадка при печати	нет	да	да	да
Влагопоглощение	0.5-50%	0.4%	0.1%	10%

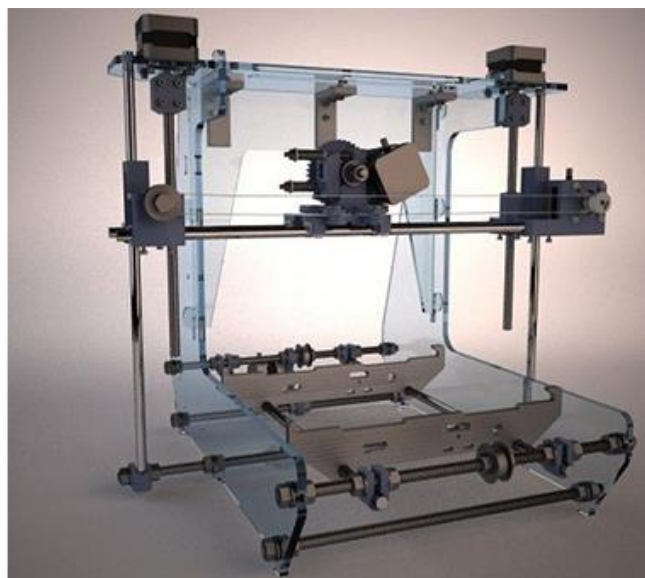
### 1.3 Описание кинематика 3D принтера

При проектировании принтера встал выбор конструкции принтера, который отвечал бы основным требованиям проекта, а именно дешевизна, достаточная надежность и простота изготовления. Поэтому первым делом была проанализирована существующая информация, в которой предлагались различные конструкции по сооружению 3D принтера. Далее я предлагаю ознакомиться с ними.

<sup>2</sup>URL: [https://atg3d.ru/services/3d/abs\\_pla](https://atg3d.ru/services/3d/abs_pla)

Первым и наиболее распространенным типом конструкции является система кинематики PrusaMendel. Принцип работы такого принтера достаточно прост. Горизонтальное движение экструдера обеспечивается движением по гладкому валу оси X, вертикальное движение происходит по приводному валу оси Z, стол на котором происходит наслоение материала по оси Y. Основным минусом конструкции является большое количество крепежных материалов. Избежать трудностей с крепежами можно использовав цельный каркас из оргстекла или другого тонкостенного материала, но при данном выборе предъявляются высокие требования изготовления каркаса, также при сборке нужно соблюдать высокие требования в параллельности и перпендикулярности осей, первый принтер построенный по этой системе был PrusaAir. Забегая вперед именно этот тип конструкции был выбран мною при создании моего проекта

Рисунок 6 – Принтеры системы PrusaMendel.



Технические характеристики Prusa Mendel

Характеристики	Значения
Габариты рабочей зоны	250x210x300мм
Используемое сырье	PLA, ABS нейлон и.д
Интерфейс подключения	USB, SD.
Скорость печати	40 мм/сек
Диаметр нити	1.75
Габариты оборудования	400x350x400
Операционная система	Windows XР и выше, Linux, macOS
Электропитание	220В

Вес оборудования	6 кг
------------------	------

Следующий тип кинематики носит название Delta. Данный тип кинематики довольно футуристичен в своем исполнении. Конструкция представляет собой своего рода вертикальный портал с закрепленным по центру экструдером. Система собой включает в себя три вертикальные направляющие по ним и происходят все передвижения осей. Основным преимуществом данной системы, можно выделить это малые габариты и высокая скорость печати. При изготовлении оборудования по такой кинематике возникают большие сложности в точности расчета работы двигателей и их настройка, и точность изготовления всех узлов. Поэтому данный тип исполнения в непромышленных условиях затруднителен и конечный продукт может получиться либо неработоспособным либо с большими изъянами так же затруднительно техническое обслуживание поскольку все узлы связаны между собой в один большой и замена одной его части влечет собой полный разбор всего оборудования.

Рисунок 7 – Система Delta



Технические характеристики принтера построенный по системе Delta на примере TEVO 3D

Характеристики	Значения
Габариты рабочей зоны	340x340x500мм
Используемое сырье	PLA, ABS нейлон и.д.
Интерфейс подключения	USB, SD.
Скорость печати	150 мм/сек
Диаметр нити	1.75

Габариты оборудования	400x340x500
Операционная система	WindowsXPивыше,Linux, macOS
Электропитание	220В
Вес оборудования	15 кг

Следующим по популярности схемой построения является картезианская система или же декартова.

Принцип работы такой схемы состоит в перемещении печатающей головки по осям X и Y и стола по оси Z. Основным преимуществом данной системы относится отсутствие качения стола и связанные с ним деформации конечного продукта. Недостатками системы относятся сложность изготовления и дороговизна.

Рисунок 8 –Картезианская система



Технические характеристики принтера построенный по картезианской системе на примере принтера CreativityEIF

Характеристики	Значения
Габариты рабочей зоны	300x300x350мм
Используемое сырье	PLA,ABSнейлон и.д.
Интерфейс подключения	USB,SD.
Скорость печати	100 мм/сек
Диаметр нити	1.75
Габариты оборудования	350x340x420
Операционная система	WindowsXPивыше,Linux, macOS

Электропитание	220В
Вес оборудования	8 кг

На данный момент это наиболее распространённые типы принтеров, так же имеется принтеры, которые совмещают в себе конструкции ЧПУ и фрезерных станков.

## 2.1 Конструкторский раздел.

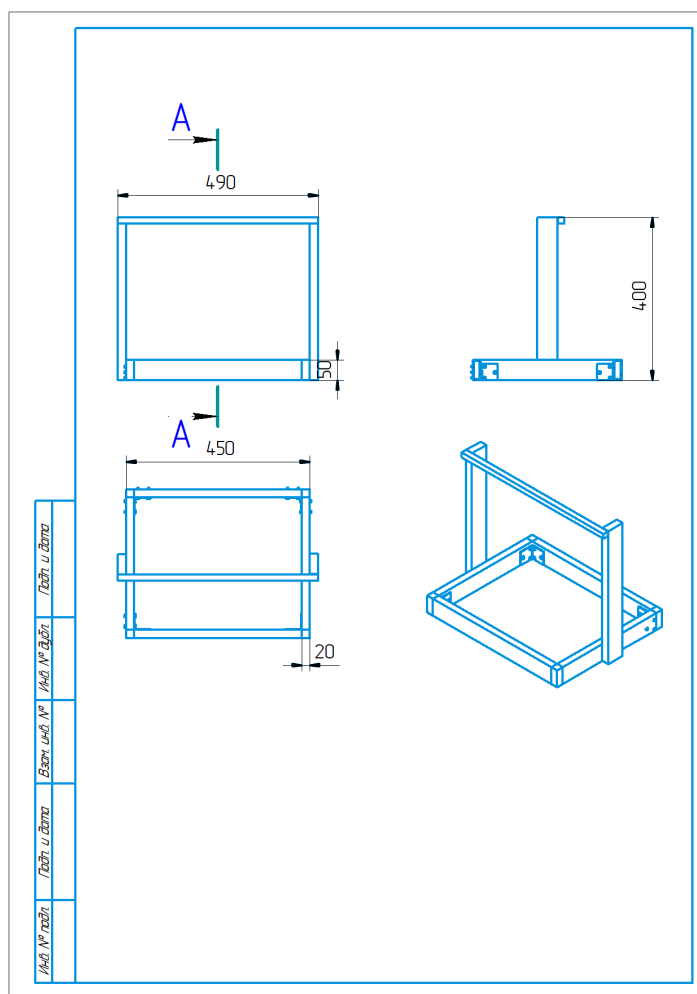
### 2.1.1 Описание кинематических узлов принтера

Конструкция представляет собой несущую раму выполненный из профилированного алюминия соединенные между собой уголковыми крепежами, с отверстиями под болты м4. Такой тип конструкции обеспечивает надежное крепление всех узлов оборудования. На горизонтальной части рамы выполненный в форме квадрата крепятся три пары кронштейнов из стали под шаговые двигатели. Так же в этой части конструкции делается оснастка под крепление гладких валов выполненных из стальных уголков.

Вертикальная часть рамы представляет собой два профиля алюминия одинаковой длины жестко закрепленных на стальные уголки к горизонтальной ее части, профили имеют аналогичный поперечный размер что и горизонтальный.

Рисунок 9—Чертеж рамной конструкции принтера

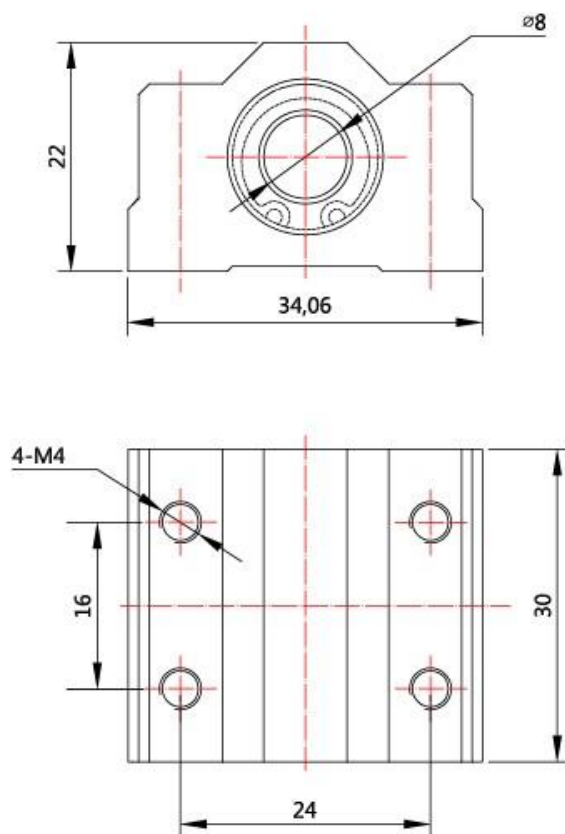




Рамная конструкция имеет вес 2.6 кг. На рамной конструкции производится жесткое крепление основных узлов 3d принтера.

В вертикальной части рамы производится крепление кронштейнов для гладких валов, в свою очередь гладкий вал обеспечивает свободное движение по оси Z, на гладкий вал производится установка линейного подшипника, линейный подшипник представляет собой цилиндрический вал с отверстием с шариковым напылением который вставлен в крепёжный корпус (рис 10).

Рисунок 10 –(линейный подшипник в корпусе)



На линейный подшипник оси Z производится крепление всех узлов оси X. Ось X представляет собой состоит из двух пластин толщиной 4 мм выполненных из пластика (ABS) на данных пластинах производится крепление кронштейнов с закрепленными на них валами. На левой пластине установлен шаговый двигатель Nema 17HS4401 для горизонтального движения каретки. В свою очередь на каретке производится установка хотенда (устройства для расплавления пластика для последующего послойного наплавления) передвижение каретки обеспечивается за счет приводного ремня, связанного с двигателем. Правая пластина крепится аналогичным образом что и левая с той лишь разницей на правой пластине оснастка представлена из двух кронштейнов и шкива скольжения диаметром 25 мм. На обеих пластинах имеются горизонтальные консоли с установленными на них ходовыми гайками, которые обеспечивают шаговое перемещение оси X. Общие габариты узла оси X имеют размеры 440 мм в ширину и 50 мм в поперечнике.

Рисунок 11 – технологическая оснастка оси X

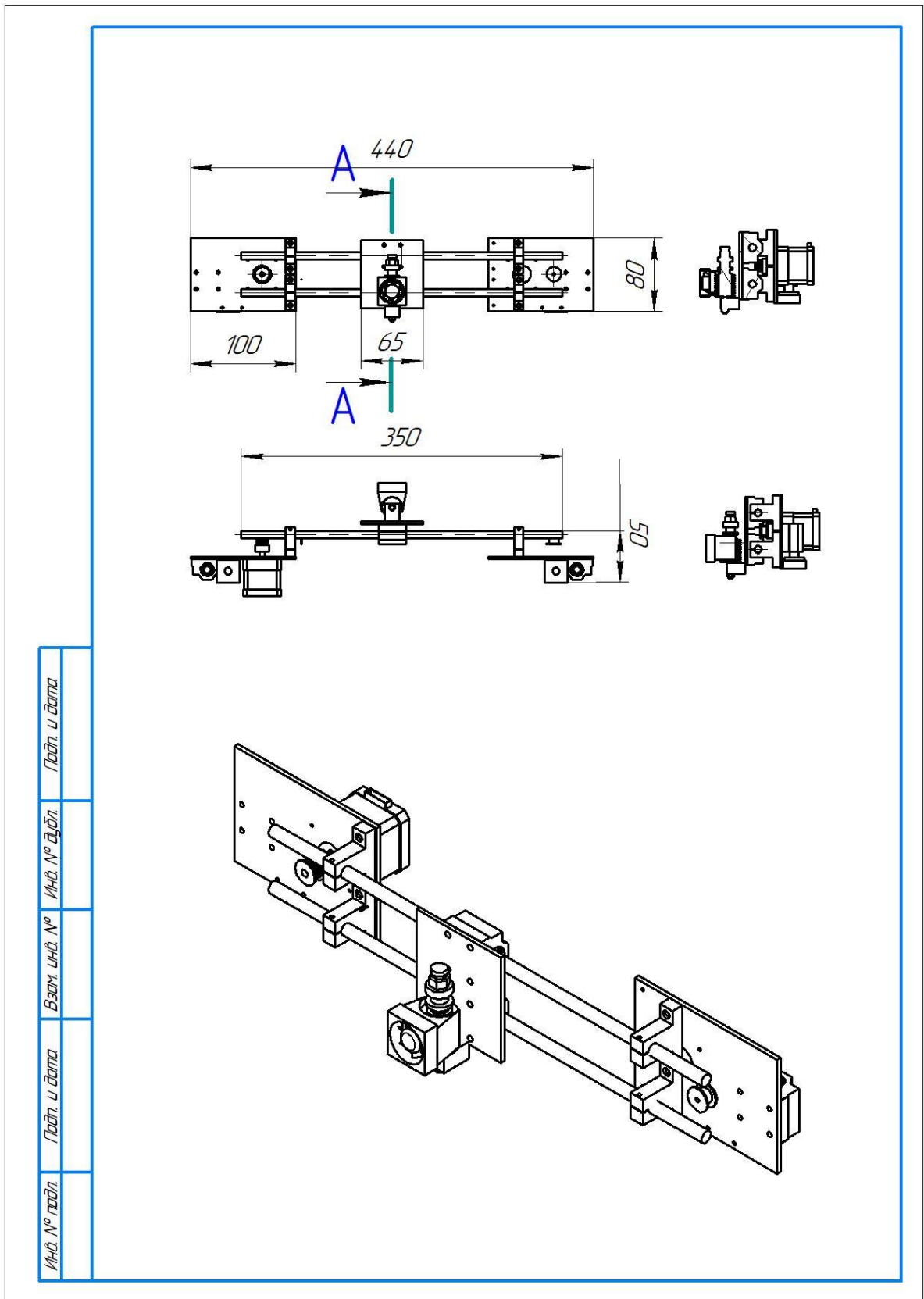
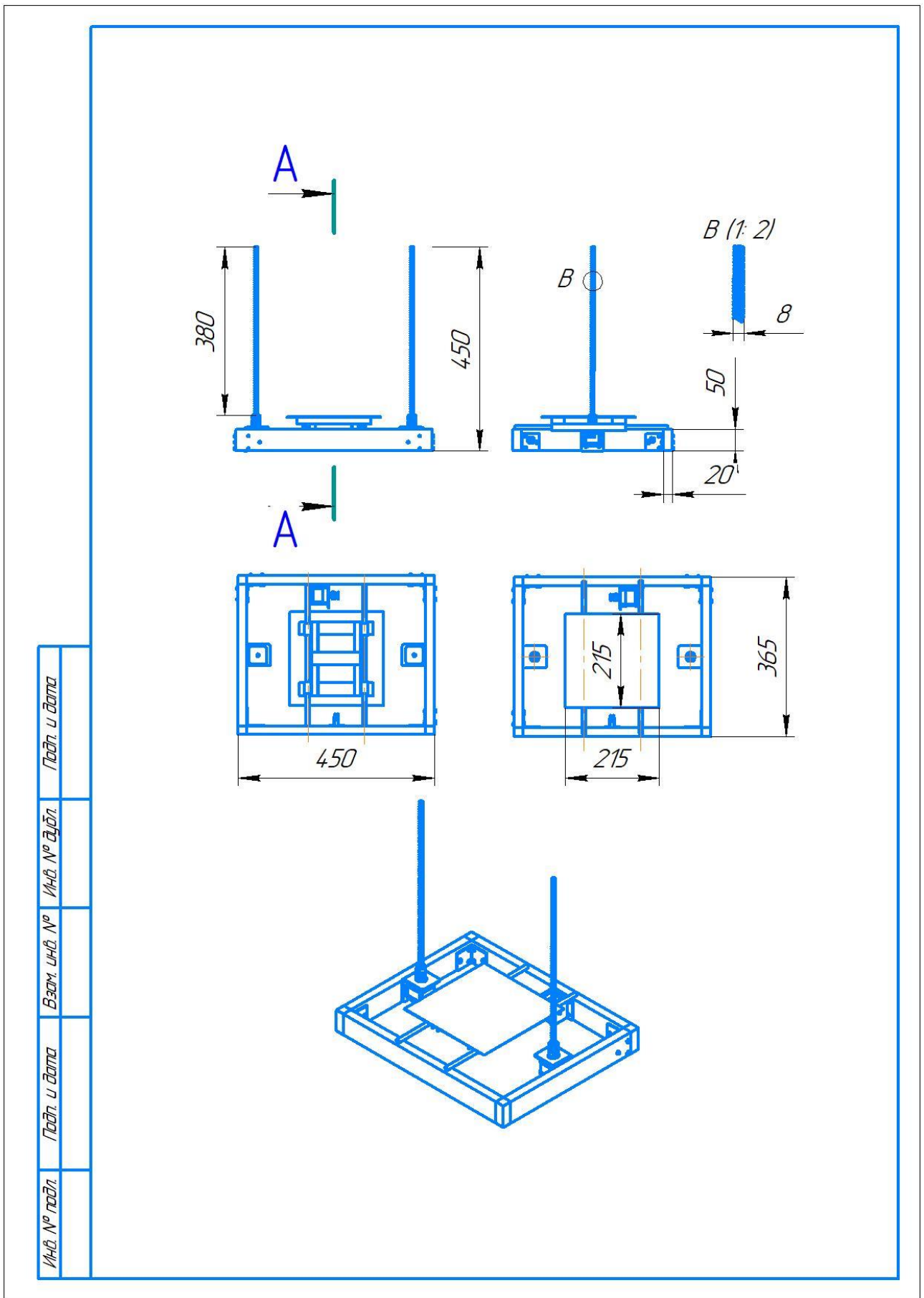


Рисунок 12 – технологическая оснастка оси Y



Инд. № подл.	Подп. и дата
Взам. инд. №	Инд. № подл.
Подп. и дата	

На основании рамы, как и отмечалось выше установлены гладкие валы, валы служат направляющими для стола на который производится экструзия

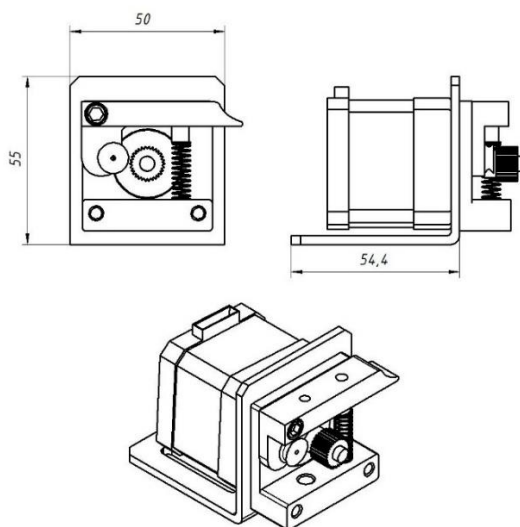
материала. Стол закреплен на линейные подшипники без корпуса, подшипники перемещаются вдоль оси гладкого вала. Перемещение стола обеспечивается шаговым двигателем связь стола и двигателя обеспечивается зубчатым ремнём, протянутым параллельно гладкому валу вдоль ее оси, параллельно двигателю на противоположной стороне установлен гладкий шкив с подшипником. Таким образом мы описали узел перемещения оси Y. Рис 12.

Для перемещения технологического узла оси X в основании рамы парно-параллельно установлены шаговые двигатели Nema 17 HS4401 с гибкими муфтами на валах на которых в свою очередь установлены приводные валы Ø 8ммс шагом 2 мм которые обеспечивают шаговое перемещение оси X.

### 2.2.1 Механизм подачи пластика

Экструдер- это механизм отвечающий за подачу пластика непосредственно в зону его использования (хотэнд), экструдер вынесен отдельным узлом и закреплен в высшей точке принтера, на данном принтере было использовано решение Bowdentubeextrusionsystem или по другому экструдер боуденовского типа. Механизм представляет собой шаговый двигатель установленный на кранштейн, к фронтальной части двигателя крепится экструдер марки Mk8, принцип действия которого стоит в прижимании филамента (пластикового прутка) между зубчатым колесом и шкивом, прижимание обеспечивается пружиной. В экструдере имеются два парно-параллельных отверстия для приема пластика в основании одного из отверстий с помощью переходника крепится пластиковая трубка, которая непосредственно уходит в хотэнд.

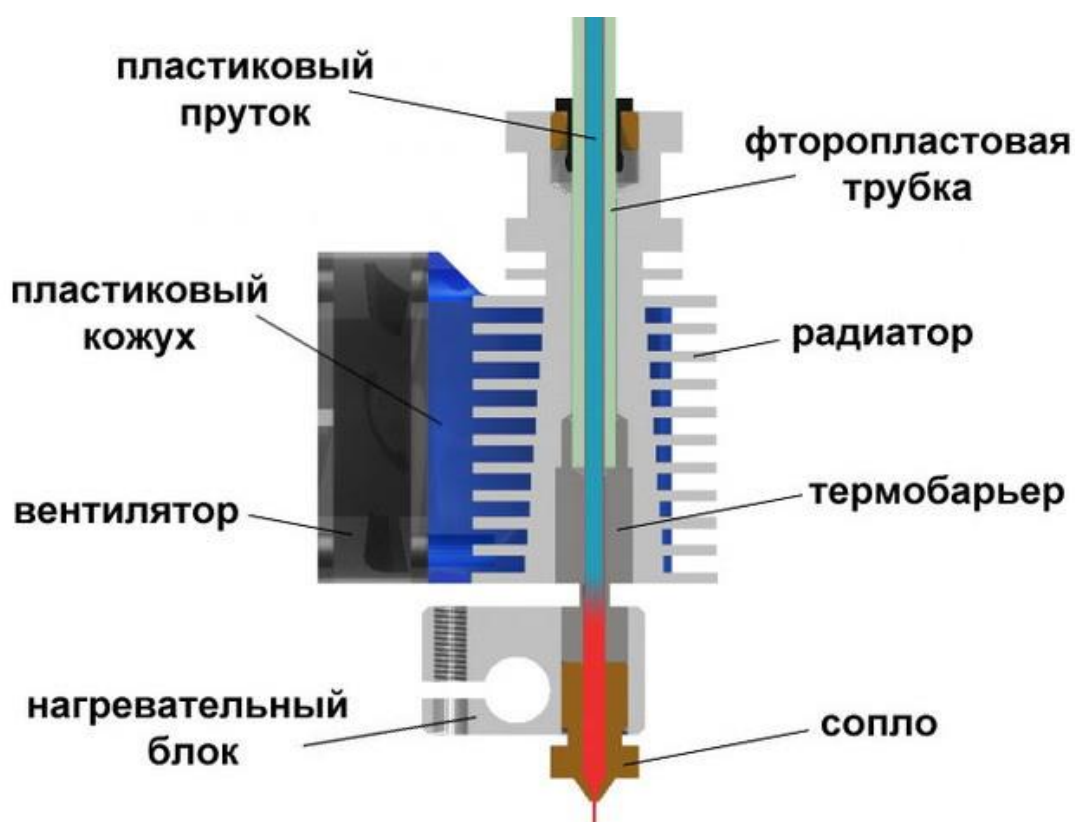
Рисунок 13 –Экструдер Mk 8



### 2.2.2. Хотэнд

Один из главных элементов принтера в которой идет не посредственное расплавление пластика для дальнейшей экструзии. Хотэнд стоит из нескольких составных частей выполненных из стали рис 13, в нашем случае главное отличие хотэнда это использование сопла диаметром 0.4 мм. На хотэнд в зону радиатора устанавливается куллер принудительного охлаждения, радиатор нужен для предотвращения распределения тепла из нагревательного блока на весь хотэнд, таким образом хотэнд имеет две термические зоны рис 15. Нагревательный блок стоит из термистора и керамического нагревателя с соответствующими посадочными отверстиями.

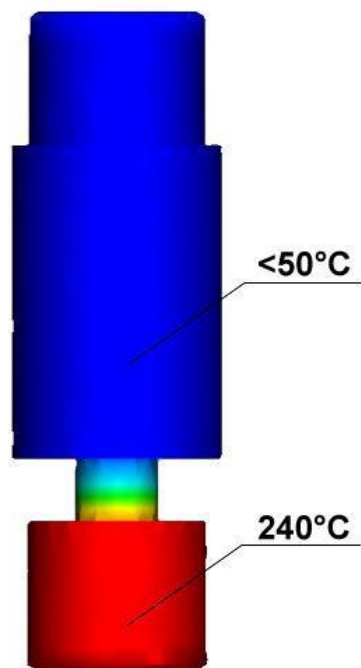
Рисунок 14—хотэндE3D-V6



Технические характеристики хотэндаE3DV6

Диаметр сопла	0.4мм
Мощность нагревательного блока	40 Вт
Термистор	100кОм
Вес	60 г
Материал теплового барьера	Нержавеющая сталь AISI 304
Материал радиатора	Дюралюминий 16Т
Диаметр используемого филамента	1.75мм

Рисунок 15– Термические зоны хотэнда



Венчает хотэндсопло выполненное из латуни диаметр отверстия 0.4 мм от качества сопла зависит качество печати. Внутренняя форма отверстия имеет ступенчатую форму. Сопло является расходной деталью и поэтому имеет винтовое крепление.

Рисунок 16– Сопло в разрезе

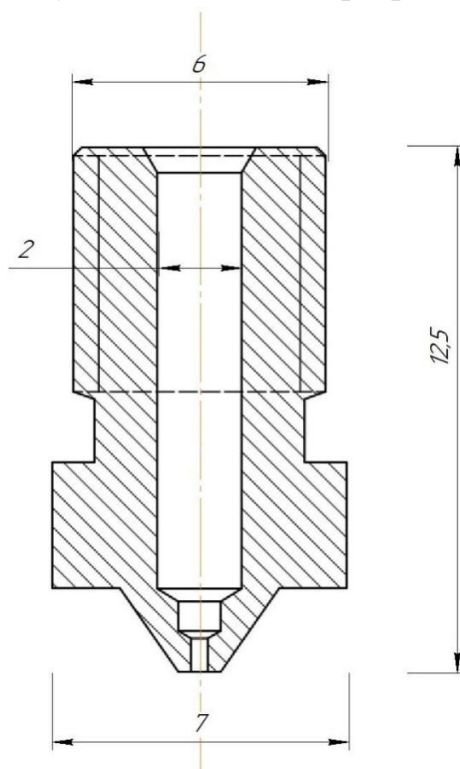
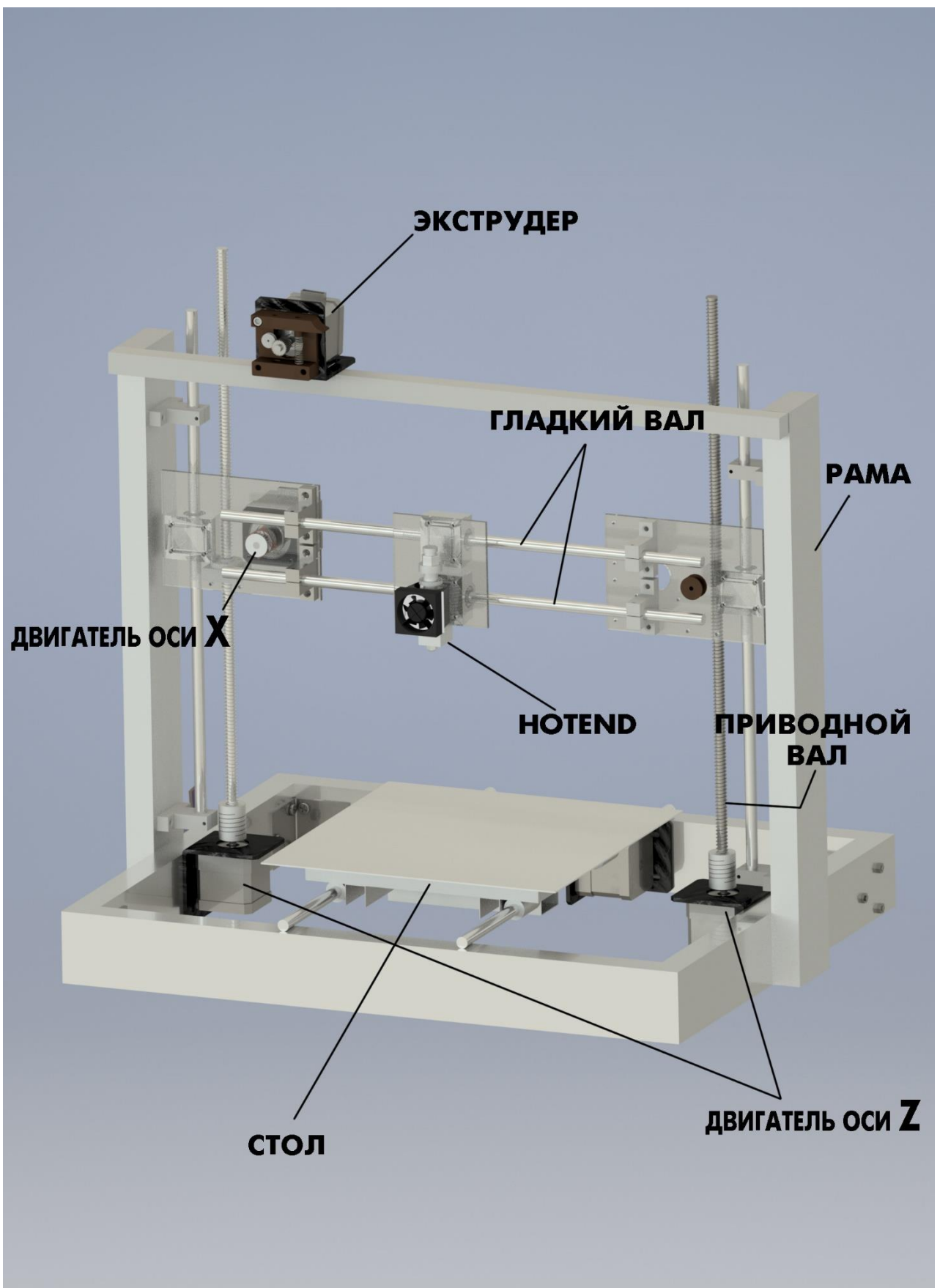


Рисунок 17 –конечный вид принтера без электронных компонентов



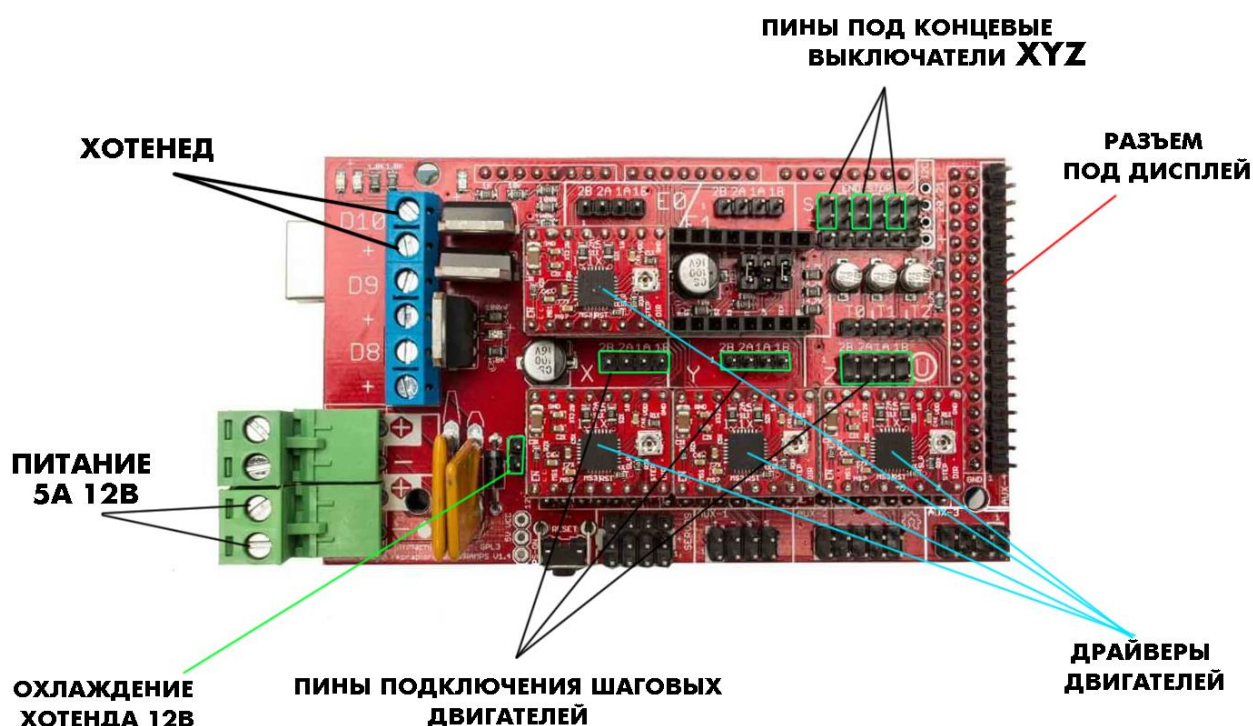
2.2.1 Описание электронных компонентов принтера



Если в пункте 2.1.1 мы описали механические узлы оборудования, то в данной главе мы перейдем к описанию электронных компонентов, которые обеспечивают согласованную работу установленных на принтере шаговых двигателей, нагревательных элементов, термисторов.

Основным элементом электронного узла принтера является плата RAMPS 1.4-RepRapArduinoMegaPololuShield, если рама в конструкции является платформой для построения кинематической схемы принтера, то RAMPS платформа на которой идет постройка всей электронной периферии оборудования. Плата имеет разъемы подключения драйвера двигателя, пины под установку питания шаговых двигателей, и концевые выключатели и разъем под LCD дисплей. Питание платы производится с помощью блока питания AC/DC 250 на 250Вт, на плате под провод питания имеется клеммы с зажимными винтами. Для регулирования микрошага двигателя на плате имеются разъемы для подключения перемычек (jumper). Противоположная стороны платы имеет 54 пина под подключение платы ArduinoMega 2560.

Рисунок 18 –Схема подключения узлов на RAMPS 1.4



Управление платой можно производить через SmartLCD Controller либо персональный компьютер подключенный через

USB.SmartLCDController представляет собой отдельный выносной элемент подключаемый через соответствующий разъём подключения, на контроллере имеется так же SD слот под microSD через который как правило передаётся G-код (описание 3d модели в кодовом виде), управление платой производится поворотным энкодером (клавиша для выбора соответствующей строки меню дисплея). Дисплей имеет 4 строки под информацию.

Рисунок 19 –SmartLCDController



ArduinoMega 2560-это программируемый контроллер задача которого программноеуправление электронными компонентами подключаемые к базовой плате RAMPS 1.4.Среда разработки, в которой программируется плата ArduinoIDE,язык программирования C++.Плата имеет 54 цифровых входа под подключение кRamps 1.4.Коммутация и питание происходит через USBподключение.

Таблица 5. Технические характеристики ArduinoMega 2560

Микроконтроллер	ATMega 2560
Рабочее напряжение	5В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12В
Входное напряжение (придельное)	6-20В
Цифровые входные/выходные	54

Выводы	
Аналоговые входные выводы	16
Постоянный ток через входные/выходные выводы	20мА
Флеш память	256 Кбайт
Оперативная память SRAM	8Кбайт
Тактовая частота	16МГц
Базовые размеры	101X53мм
Вес	37 г

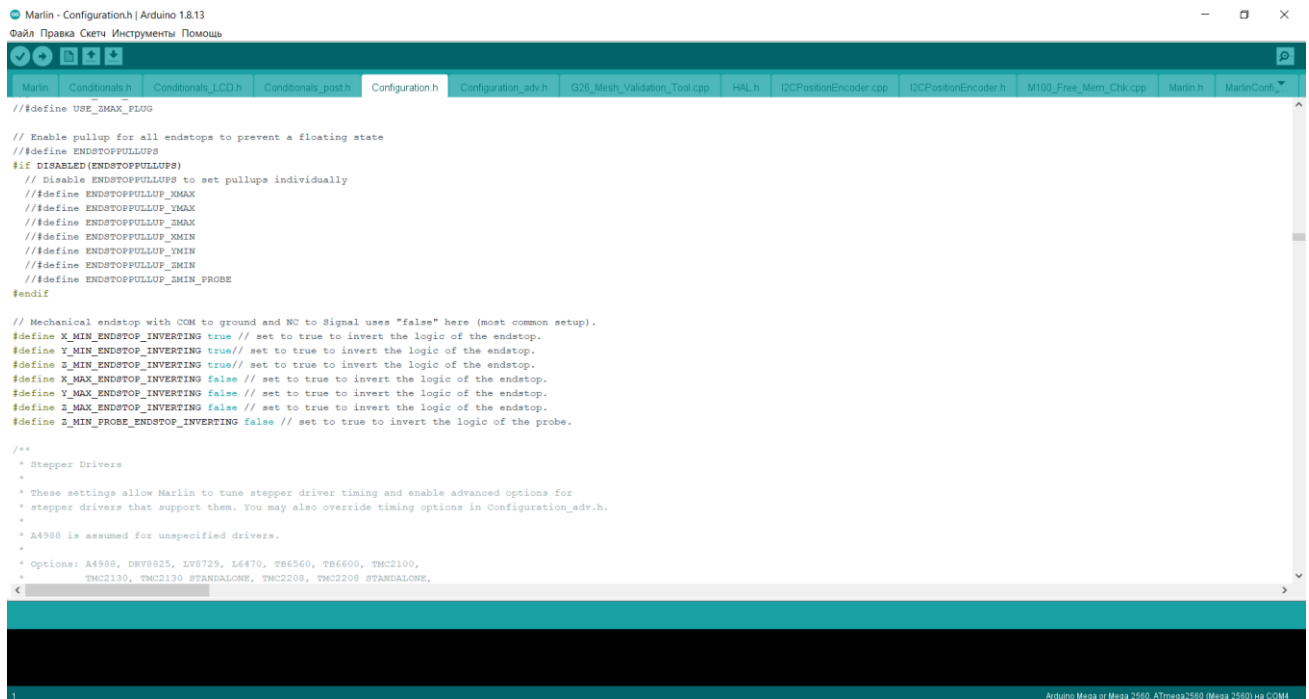
Рисунок 20 –Плата Arduino Mega 2560.



### 2.2.2 Разработка и установка ПО

Marlin 1.1 программная прошивка которая была использована в моем проекте. Marlin является открытым исходным кодом предназначен в основном для реализации проектов на основе FDM 3D принтеров, использующие Arduino платформу написана на языке C++. Прошивка запускает закодированные команды и наборы инструкции в формате G-кода, которые управляют всеми действиями оборудования в режиме реального времени, включая отправку координат движения шаговым двигателем через драйверы шагового двигателя, управление нагревательными элементами, концевыми выключателями.

Рисунок 21 –фрагмент кода Marlin 1.1 в среде ArduinoIDE



```
Marlin - Configuration.h | Arduino 1.8.13
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

//define USE_ZMAX_PLUG
// Enable pullup for all endstops to prevent a floating state
//define ENDSTOPPULLUPS
#if DISABLED(ENDSTOPPULLUPS)
// Disable ENDSTOPPULLUPS to set pullups individually
//define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
//define ENDSTOPPULLUP_YMAX
//define ENDSTOPPULLUP_XMAX
//define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
//define ENDSTOPPULLUP_YMIN
//define ENDSTOPPULLUP_XMIN_PROBE
#endif

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the probe.

/**
 * Stepper Drivers
 *
 * These settings allow Marlin to tune stepper driver timing and enable advanced options for
 * stepper drivers that support them. You may also override timing options in Configuration_adv.h.
 *
 * A4988 is assumed for unspecified drivers.
 *
 * Options: A4988, DRV8825, LV8729, L6470, TB6560, TB6600, TMC2100,
 *          TMC2130, TMC2130_STANDALONE, TMC2208, TMC2208_STANDALONE,

```

Непосредственное управление принтером происходит в программе Pronterface данная программа позволяет загружать модели для распечатки, модель загружается в виде G-кода с возможностью графического отображения, так же методом ввода можно управлять калибровать оси принтера для этого в программе есть соответствующие пункты в интерфейсе, так же имеется пункт ввода команд.

Рисунок 22 –интерфейс программы Pronterface



При программировании прошивки Marlinнойю были изменены следующие строки кода:

Temperature sensors available:

- \* 1 : 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup)
- \* 2 : 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (4.7k pullup)
- \* 3 : Mendel-parts thermistor (4.7k pullup)
- \* 4 : 10k thermistor !! do not use it for a hotend. It gives bad resolution at high temp
- \* 5 : 100K thermistor - ATC Semitec 104GT-2/104NT-4-R025H42G (Used in ParCan& J-Head) (4.7k pullup)

```
#define TEMP_SENSOR_0
```

5-

строка отвечает за выбор датчика термистора на установленном термисторе на 100 кОм поэтому выбираем пятый пункт.

```
// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
```

```
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
```

```
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
```

```
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
```

Данный код отвечает за логику работы концевых выключателей по умолчанию значение выставлено как false данная логика подходит для оптических выключателей у нас установлены механические поэтому выбираем false.

Настройка шаговых перемещений по осям. Один из важнейших пунктов настройки.

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT{ 80, 80, 1600, 94.69 }
```

Первые три цифры соответствуют осям XYZ соответственно.

Значения получаются по следующие формуле.

$$X = \frac{a \times b}{c \times d}$$

а значение количество шагов совершаемых двигателем за один оборот

б значение микрошага на один шаг (в нашем случае 16 т.к. установлены все переключки на плате)

с значение шага на приводном ремне у нас установлен ремень GT2 с шагом 2 мм

д значение количества зубов на шкиве (в нашем случае 20)

Итого получаем для оси XY

$$X, Y = \frac{200 \times 16}{2 \times 20} = 80$$

Для оси Z знаменатели только одно значение шаг приводного вала у нас он 2мм

$$X, Y = \frac{200 \times 16}{2} = 1600$$

Далее нужно раскомментировать пункт управления LCD дисплеем, данные строки отвечают за активацию дисплея (убираем двойные слэши//)

```
#define DISPLAY_CHARSET_HD44780 JAPANESE
```

```
#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER
```

### 3.1 Технологический раздел

Для изготовления рамы была выбран алюминиевый профиль марки Ад 31 с сечением 20X50. Алюминий АД31 – сплав металлов тройной системы Mg–Al–Si, относящийся к группе деформируемых авиалей. Его отличает повышенная пластичность, коррозионная стойкость и хорошие технологические свойства. Сплав АД31 превосходно прокатывается, штампуется, вытягивается и поддается другим видам механической обработки.

Химический состав в %Ад 31 Таблица 6

Сплав	Стандарт	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Ад31	ГОСТ 4784-97	0.20	0.5	0.1	0.1	0.5	0.1	0.2	0.15

Маршрутная карта последовательного процесса по изготовлению рамы

Таблица 7

№ Операции	Наименование операции	Оборудование, режущие приспособления
001	Заготовительная	Полотно по металлу 150мм, струбцины 2 шт,

		кern
002	Резка Алюминиевого профиля 20X50H2000ммна 4 части Длиной 450мм 2 шт. Длиной 325мм 2 шт.	Рулетка, полотнопо металлу, kern.
003	Механообработка Чистка образовавшихсякраев наждачной бумагой Dexter 180	Лист шлифовальный Dexter 180,100X130
004	Контроль Проверка размеров согласно чертежу	Рулетка
005	Разметка 1.Отверстие Ø 4 Н20	Метчик,молоток,струбцины Уголок.
006	Сверление 1.Сверление отверстия Ø 4 Н20	Шуруповёрт Р.І.Т Сверло на 4 мм Струбцины 2 шт
007	Механообработка 1.Чистка образовавшихся зазубрин Наждачной бумагой Dexter 180	Лист шлифовальный Dexter 180,100X130
008	Контроль Проверка размеров и положения отверстий согласно чертежу	Эл. Штангенциркуль Линейка,уголок

После изготовления рамы идет процесс сверления отверстий под установку кронштейнов и уголков, фиксирующих узлы оборудования.

Таблица 8

<b>№ Операции</b>	<b>Наименование операции</b>	<b>Оборудование, режущие приспособления</b>
009	Разметка отверстий Отверстий Ø 2.8 мм	Кern,линейка,уголок
010	Сверление отверстий под установку кронштейнов двигателей 1.Отверстия Ø 2.8 мм	ШуруповёртР.І.Т Сверло Ø 2.8 мм Метчик 3.5мм



	2.наризация резьбы	
011	Контроль	Линейка штангенциркуль
012	Чистка образовавшихся заусениц	Лист шлифовальный Dexter 180,100X130

Далее следует процесс изготовления каретки и пластин осей X.

Для изготовления каретки применялся алюминий той же марки что и для несущей рамы с тем лишь отличием что профиль был использован размером 15X10 и п образный 10X10. Пластины изготовлены из оргстекла толщиной стенки 4мм.

Маршрутная карта последовательного процесса по изготовлению каретки оси Y  
Таблица 9

<b>№ Операции</b>	<b>Наименование операции</b>	<b>Оборудование, режущие приспособления</b>
013	Подготовительная	Полотно по металлу 150мм, линейка ,керн.
014	Резка Алюминиевого профиля L=170мм	Полотно по металлу 150мм
015	Резка Алюминиевого профиля L=160мм	Полотно по металлу 150мм
016	Сверление 1.Сверление отверстия Ø 3H20	Шуруповёрт Р.І.Т Сверло на 2.5 мм Струбцины 2 шт
017	Чистка образовавшихся заусениц	Лист шлифовальный Dexter 180,100X130

Маршрутная карта последовательного процесса по изготовлению пластин под установку узлов осей X.

Таблица 10

Маршрутная карта последовательного процесса пластин осей X

<b>№ Операции</b>	<b>Наименование операции</b>	<b>Оборудование, режущие приспособления</b>
018	Резка шаблона из оргстекла размеры 10X80	Нихромовая нить
019	Подготовительная Клейка шаблона отверстий на оргстекло	Клей ПВА
020	Сверление 1.Сверление отверстий Ø2.8мм	Шуруповёрт Р.І.Т Сверло на Ø2.8мм

#### 4.1. Экономический раздел

В данном разделе будет произведен сметный расчет на производство одной единицы оборудования, целью которого будет экономическое обоснование выбранной темы.

Таблица 11 Финансовые затраты на производство единицы оборудования

Наименование	Количество шт	Цена за единицу	Итого
Алюминиевый профиль 20X50H2м	2	1075	2150
Крепежные уголки 40X40X40X2	4	7.60	30.4
Алюминиевый профиль 10X15	1	470	470
Алюминиевый профиль 10X10	1	450	450

Крепежные элементы Винты м 3	2 (пачка)	25	50
Гайки м 3	1(пачка)	18	18
Винты м 4	2 пачки	35	70
Шаговые двигатели Nema 17HS4401	1 Комплект (5 двигателей)	3000	3000
Arduino Mega 2560 +RAMPS 1.4+LCDэкран	1	4000	4000
Hotend E3D V 6	1	700	700
Линейный подшипник	4	160	640
Соединительная муфта 5X8	2	100	200
Вал гладкий 8мм,350мм	4	230	920
Приводной вал THSL-T8-2-500	2	550	1100
Зубчатый шкив GT-2,20 зубьев	2	60	120
Гайка для винта T8 шаг 2мм	2	80	160
Лента зубчатая GT2-6мм	3 метра	300	300
Механизм подачи филаментаMK8	1	340	340
Шкив на подшипнике под ремень GT-2	2	80	160

Итого: 14878 руб.

Данные затраты можно сократить минимум два раза при заказе комплектующих из-за рубежа но ввиду сжатых сроков было принято решение заказывать все у местных ритейлеров.

Но даже при таких затратах полученный принтер превосходит конкурентов от официальных производителей. Возьмем на примере ближайшего конкурента в ценовой категории принтер от фирмы DextrMG стоимость на данный момент (20 декабря 2020) 21000 рублей имея меньшую рабочую он обходится на 40% дороже.

При экономическом сравнении изготовления прототипов на 3Dпринтере и классическим способом мы можем обнаружить что первый способ многократно превосходит в выгоде второй, поскольку затраты на принтере ограничиваются закупкой расходного пластика.

Таблица 12 Сравнительная таблица затрат на производство единицы продукции (на примере производства макета теплообменного аппарата) на 3Dпринтере и классическим способом

Показатель	Принтер	Классический способ
Материальные затраты (закупка материала)	900 рублей 1 кг пластика (ABS)	1044 рубля 1 погонный метр цилиндрической заготовки а Ø60
Норм-часы На производство	16 часов 960 Вт/ч затраты на электроэнергию Итого: 960 Вт/ч Цена 1 квт 3.33 руб Итого: 3.16 руб	560руб норм-час Итого: 1 час Итоговая-цена:560 рублей
Итоговая сумма на производство одной единицы продукции	0.9 стоимость одного грамма, материала нам потребуется порядка 80 грамм: итого: $(80 \times 0.9) + 3.16 = 75.15$	Для производства одной единицы нам потребуется 170мм металлического круга Ø60 по цене 1044 за метр, итого получаем: 177.48 за 170 мм

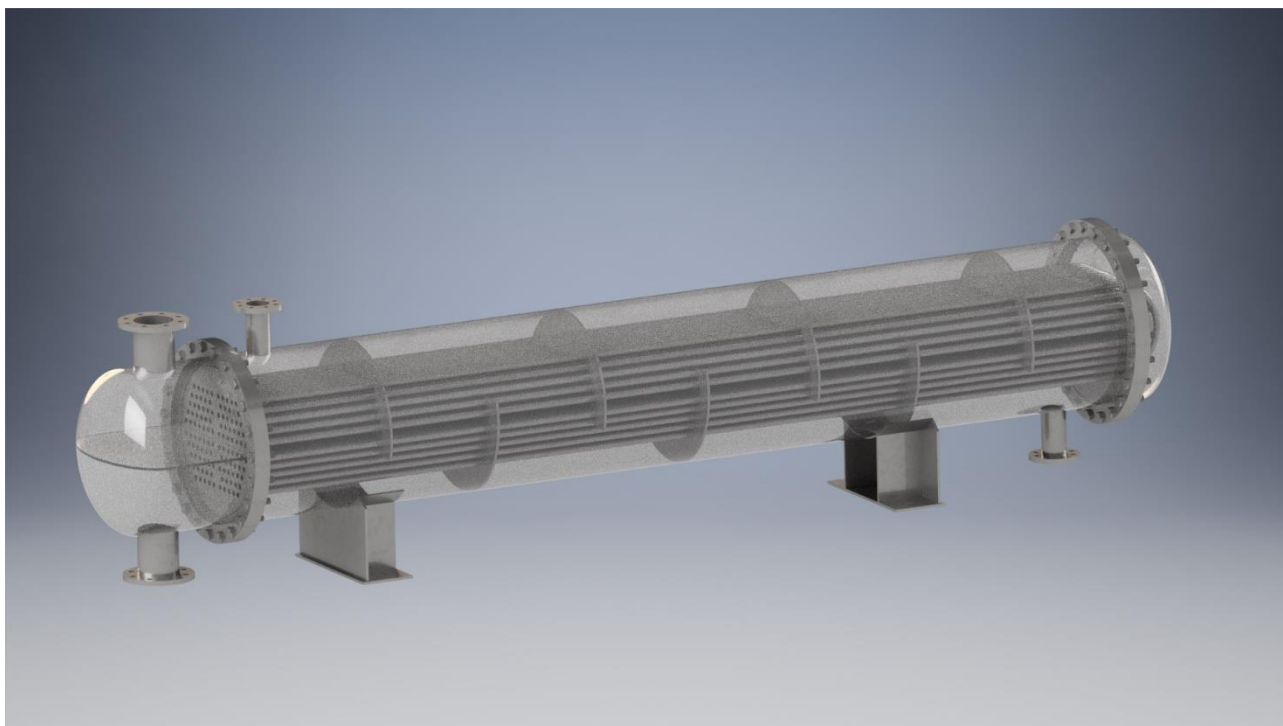
		Суммируем с затратами на производство: $177.48+560=737.48$ руб.
--	--	--

По данным таблицы мы можем сделать вывод что при использовании аддитивных технологий финансовые затраты сокращаются в десятки раз. Из этого мы можем сделать вывод что выбор технологии для производства прототипов был оправдан.

### 5.1 Реализация макета теплообменного аппарата

Вторая часть названия дипломного проекта звучит как реализация макета теплообменного аппарата. Это своего рода результирующий этап всей работы. В качестве макета был выбран кожухотрубный теплообменный аппарат. Чертежи и 3d модель были реализованы в программе Autodesk Inventor.

Рисунок 23 – 3D модель теплообменного аппарата



Теплообменник-Это техническое устройство в котором осуществляется теплообмен между двумя средами имеющим разные температуры.

Кожухотрубный вертикальный многоходовой теплообменник с неподвижными трубными решетками состоит из цилиндрического корпуса, который с двух сторон ограничен приваренными к нему трубными решетками с закрепленными в них греющими трубами. К корпусу прикреплены с помощью болтового соединения два днища. Для ввода и вывода теплоносителей корпус и днища имеют патрубки. Один поток теплоносителя (жидкость) направляют в трубные пространство и выходит через патрубок. Другой поток (пар), вводится в межтрубное пространство и выводится из корпуса теплообменника через патрубок; теплообмен между теплоносителями осуществляется через стенки труб.

Причина, по которой был выбран именно теплообменный аппарат стало то что данный тип оборудования распространен почти в любом типе производства, и возможность его реализации представляет большой интерес как технологическо-

ой точки зрения так и с точки зрения тестирования работоспособности собранного 3Dпринтера.

При реализации данного проекта пришлось решить несколько задач. Во-первых нужно было разработать чертежи и модель теплообменного аппарата, во-вторых, нужно было рассчитать наиболее оптимальный технологический режим работы принтера для качественной печати, подобрать соответствующую марку пластика с тем, чтобы получить на выходе герметичную оболочку кожуха.

Первая задача решалась в программе Autodesk Inventor, была выстроена высоко детализированная модель кожухотрубного аппарата с последующим построением чертежей с этой модели, вторая задача это расчет технологического режима была решена в программе Ultimaker Cura.

Рисунок 24 –Макет теплообменного аппарата в программе Curac изображенными слоями

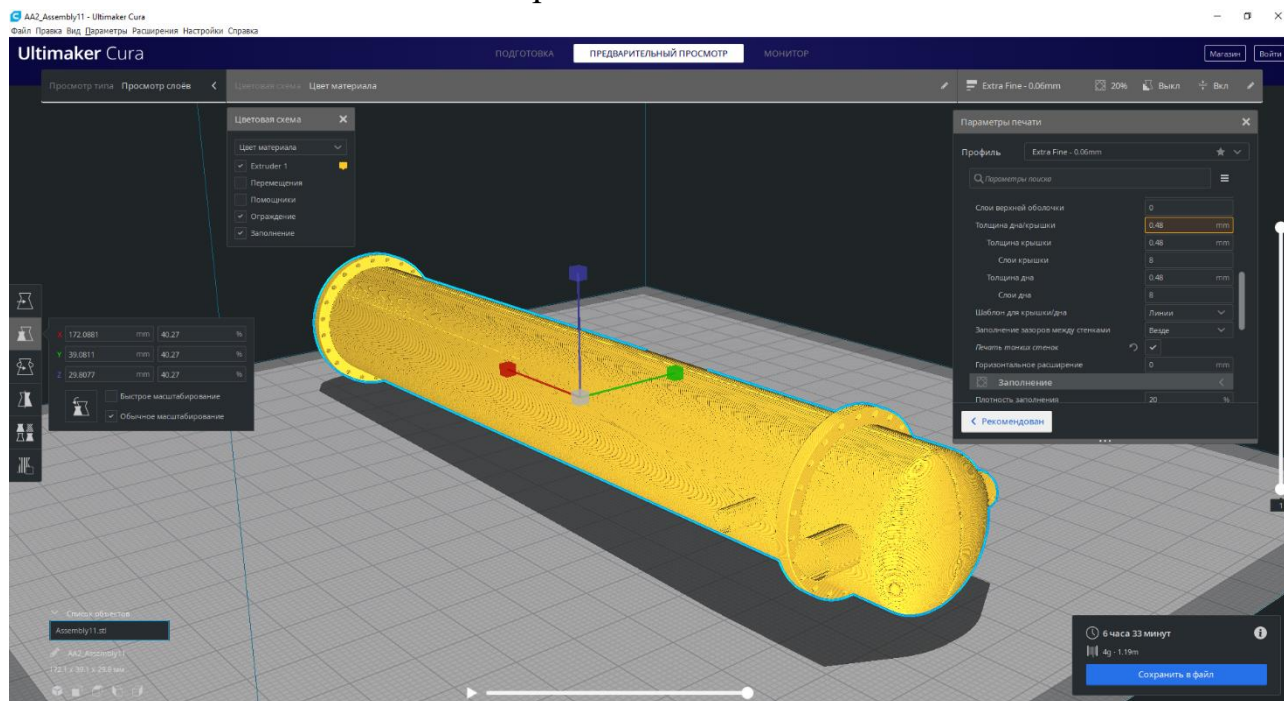


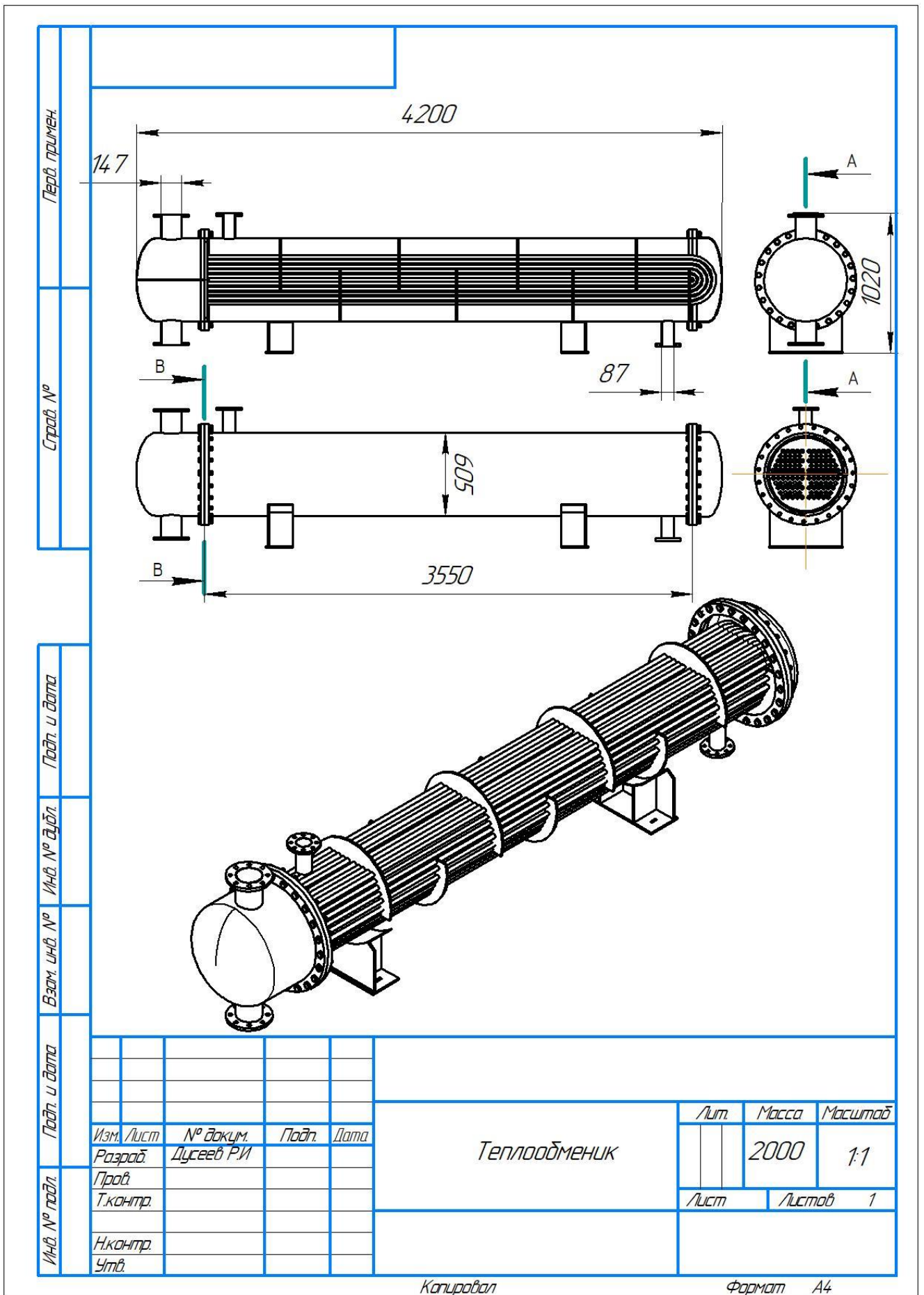
Таблица 13 Технологический режим печати макета

Характеристика	Значение(мм)
Высота слоя	0.4
Высота первого слоя	0.3
Ширина линии стенки	0.4
Ширина линии Дна/крышки	0.4
Ширина линии запыления	0.4
Шаблон заполнения	Треугольник
Толщина стенки	2
Толщина дна стенки	2.2
Печать тонких стенок	Да
Материал	PLA
Заполнение	100%
Толщина слоя заполнения	0.4
Скорость печати	50 мм/с

Температура сопла	190 С <sup>0</sup>
Генерация поддержек	да

Рисунок 25 –Чертеж теплообменного аппарата размеры 1:1





6.1 Техника безопасности

### 6.1.1 Техника безопасности при выполнении слесарных работ

Перед работой осмотреть все инструменты и убедиться в их исправности и при обнаружении каких-либо дефектов немедленно их устранить или же заменить эти инструменты вполне исправными. Пользование неисправными инструментами представляет опасность не только для работающего ими, но и для окружающих.

Пользоваться инструментом, соответствующим по размерам тем деталям, для которых он предназначен.

Применять молотки, имеющие выпуклую поверхность бойка, а не косую, или сбитую.

Не работать зубилом с косой или сбитой ударной частью. Пользоваться зубилом длиной не менее 150 мм во избежание ударов по руке.

Периодически зачищать заусенцы на молотках во избежание ранения лица.

Надевать предохранительные очки для предохранения глаз от осколков, а при обрубке и рубке изделий из твердого и хрупкого металла применять густые сетки в виде щитов и ширм для предупреждения ранения окружающих осколками металла.

Не отвлекаться разговорами во время рубки и не смотреть на молоток и затылок зубила, а сосредоточивать свое внимание на лезвии зубила.

Прочно закреплять верстак и тиски на нем, так как выполнение работ на расшатанном верстаке и в расшатанных тисках приводит к неточным ударам, ранению рук и более быстрой утомляемости работающего.

Не работать напильником и другими инструментами, имеющими заостренные концы, без рукояток во избежание ранения рук.

Пользоваться отверткой с лезвием такой толщины, чтобы отвертка могла свободно входить в прорезь головки винта.

Применять гаечные ключи со строго параллельными губками, без трещин и забоин. Раздвижные ключи, кроме того, не должны иметь большого зазора в подвижных частях.

Работу с электродрелью производить в резиновых перчатках и галошах или на изолированной поверхности (резиновый коврик, сухая деревянная решетка); при этом корпус электродрели должен быть заземлен специальным проводом.

При работе на сверлильном станке следует:

- а) обрабатываемую деталь укреплять в зажимном приспособлении станка;
- б) при сверлении отверстий предварительно накернивать центр и медленно подводить сверло к изделию;
- в) перед установкой детали на станок удалять заусенцы, которые могут повредить руки при установке и снятии детали;

- г) нельзя очищать сверло руками на ходу станка и нельзя применять тряпки, смоченные эмульсией, для его охлаждения; охлаждающую эмульсию подавать через кран и трубку;
- д) при заедании режущего инструмента (сверло, развертка) немедленно выключать станок и не останавливать вращающийся шпиндель рукой;
- е) не сдувать стружки из просверленных отверстий во избежание попадания их в глаза;
- ж) перед работой на станке застегнуть обшлага рукавов, заправить полы куртки, убрать волосы под головной убор и снять рукавицы.

### 6.1.2 Техника безопасности при работе на 3D принтере

1. Общие требования инструкции по технике безопасности при работе на 3 D – принтере

1.1. К самостоятельной работе с 3D–принтером допускаются лица, достигшие 18летнего возраста и изучившие настоящую инструкцию при работе на 3 D – принтере.

1.2. Во время работы на 3D–принтере на человека влияют следующие опасные и вредные факторы:

– испарения пластика;

– температура;

– шум.

1.3. При работе на 3D–принтере не допускается расположение рабочего места в помещениях без наличия естественной или искусственной вентиляции.

1.4. Для защиты пластика на катушке от прямых солнечных лучей должны предусматриваться солнцезащитные устройства (шторы, пленка с металлизированным покрытием, регулируемые жалюзи с вертикальными панелями и др.).

1.5. В помещении кабинета и на рабочем месте необходимо поддерживать чистоту и порядок, проводить систематическое проветривание.

1.6. Обо всех выявленных во время работы неисправностях оборудования необходимо доложить руководителю, в случае поломки необходимо остановить работу до устранения аварийных обстоятельств. При обнаружении возможной опасности предупредить окружающих и немедленно сообщить руководителю;

содержать в чистоте рабочее место и не загромождать его посторонними предметами.

## 2. Требования безопасности перед началом работы на 3 D –принтере

2.1. Осмотреть и убедиться в исправности оборудования, электропроводки. В случае обнаружения неисправностей к работе не приступать. Сообщить об этом и только после устранения неполадок и его разрешения приступить к работе.

2.2. Проверить наличие и надёжность защитного заземления оборудования.

2.3. Проверить состояние электрического шнура и вилки.

2.4. Проверить исправность выключателей и других органов управления 3D–принтером.

2.5. При выявлении любых неисправностей, принтер не включать и немедленно поставить в известность руководителя об этом.

2.6. Тщательно проветрить помещение с 3D–принтером, убедиться, что микроклимат в помещении находится в допустимых пределах: температура воздуха в холодный период года – 22–24°С, в теплый период года – 23–25° С, относительная влажность воздуха 40–60%.

## 3. Требования безопасности во время работы на 3 D –принтере

3.1. Включайте и выключайте 3D–принтер только выключателями, запрещается проводить отключение вытаскиванием вилки из розетки.

3.2. Запрещается снимать защитные устройства с оборудования и работать без них, а также трогать нагретый экструдер и столик.

3.3. Не допускать к 3D–принтеру посторонних лиц, которые не участвуют в работе.

3.4. Запрещается перемещать и переносить 3D–принтер во время печати.

3.5. Запрещается во время работы 3D-принтера пить рядом какие-либо напитки, принимать пищу.

3.6. Запрещается любое физическое вмешательство во время их работы 3D–принтера, за исключением экстренной остановки печати или аварийного выключения.

3.7. Запрещается оставлять включенное оборудование без присмотра.

3.8. Запрещается класть предметы на или в 3D–принтер.

3.9. Строго выполнять общие требования по электробезопасности и пожарной безопасности, требования данной инструкции по охране труда при работе на 3D–принтере.

3.10. Самостоятельно разбирать и проводить ремонт 3D–принтера категорически запрещается. Эти работы может выполнять только специалист.

3.11. Суммарное время непосредственной работы с 3D–принтером в течение рабочего дня должно быть не более 6 часов.

## 4. Требования безопасности после окончания работы с 3 D –принтером

- 4.1. Отключить 3D–принтер от электросети, для чего необходимо отключить тумблер на задней части, а потом вытащить штепсельную вилку из розетки.
- 4.2. Снять и протереть столик 3D–принтера, остывший до комнатной температуры, чистой влажной тканью, либо промыть проточной водой и вытереть насухо. Установить столик обратно.
- 4.3. Убрать рабочее место. Обрезки пластика и брак убрать в отдельный пакет для переработки.
- 4.4. Тщательно проветрить помещение с 3D–принтером.

## 7.1 Технический паспорт 3D принтера на базе Arduino2560

№	Превью	Наименование	Количество(шт.)
1-1		Плата Ramps 1.4	1
1-2		Arduino Mega2560	1
1-3		LCD-дисплей Rep Rap	1
2-4		Шаговый двигатель Nema17 S4401	5
2-5		Экструдер МК8	1
2-6		Hotend E3D V6	1
3-7		Гладкий вал Sk 8 L=350мм	6

3-8		Приводной вал Ø8мм L=350мм	2
4-9		Линейный Подшипник SC8UU	4
4-10		Линейный подшипник LM8UU	4
5-11		Ремень приводной S6мм Шаг 2мм	3 метра
5-12		Зубчатый шкив GT-6	2
5-13		Соединительная муфта Ø8мм	2
5-14		Шкив гладкий Ø8мм	2
7-15		Нагревательный Стол Mk2B	1

## Заключение

В результате выполнения ВКР был разработан аппарат для аддитивного проектирования технологических макетов в ходе выполнения данной работы были проанализированы имеющийся источники информации в области построения технологических машин, изучены принципы их работы. Так же немаловажным итогом стало изучение новых САПР программ, в которых производилось разработка чертежной документации. В итоге выполнения работы были проведены сметные расчеты на производство одной единицы оборудования, произвели сравнительный анализ различных способов прототипирования обосновали правильность выбора реализованной технологии.



## Список литературы

1. Скобло А.И Процессы и аппараты нефте-газо-переработки и нефтехимии. 3 изд. Москва: Недра, 2000.
2. Холмогоров В.И,Горьков Дмитрий Ю.В 3D-печать с нуля. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2020.
3. С.О.Никифоров, Б.Е. Мархадаев, Б.С.Никифоров, Е.С.Шолохов ТЕХНОЛОГИЯ 2D- И 3D-ПЕЧАТИ, 3D-ПРИНТЕРЫ // Вестник БНЦ СО РАН. 2018.
4. URL: <https://3d-diy.ru/blog/3d-printery/podklyuchenie-elektroniki-ramps-1-4-k-3d-printeru/> (дата обращения: 07.12.2020).
5. М.И.Бабидорич, Б.В.Павлюченко, О.А.Реутова 3D-МОДЕЛЬ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА // Молодежь третьего тысячелетия. 2019.
6. URL: <https://3dtool.ru/stati/sla-tekhnologiya-kak-rabotaet-3d-pechat-sla/> (дата обращения: 22.11.2020).
7. URL:<https://3dtool.ru/stati/fdm-tekhnologiya-kak-eto-rabotaet/>(дата обращения: 25.11.2020).
8. URL: [https://atg3d.ru/services/3d/abs\\_pla](https://atg3d.ru/services/3d/abs_pla) (дата обращения: 28.11.2020).
9. URL: <https://3dprinter.ua/kinematics-3d-printer/> (дата обращения: 30.11.2020).
- 10.David Shaw,PaulHoward,AidanM.DoyleIndustrial scale 3D printed catalytic converter for emissons control in a dual-fuel-duty engine // Chemical Engineering Science. 2019. №7.
- 11.Peng Wang,BinZou,ShoulingDing,Lei Li Effects of FDM-3D printing parametrs on mechanical properties and microstructure // CSAA. 2020. №1.
- 12.VigneshwaranShanmugama, OisikDasb, Karthik Babuc, UthayakumarMarimuthua, ArumugaprabuVeerassimmana, Deepak Joel Johnsond Fatigue behaviour of FDM-3D printed polymers, polymeric composites and architected cellular materials // International Journal of Fatigue .2020.
- 13.Devesh K.Yadav,RajeevSrivastava,Saty Dev Desigin&fabrication of ABS part by FDM for automobile application // International Journal of Fatigue . 2019.
- 14.Sudhir Kumar,Rupinder Singh ,Ajay Batish 3D printed tensile and flexural prototypes of thermoplastic matrix reinforced with multi-materials // Materials Today: Proceedings. 2020.

15. BeibitZharylkassyn, AsmaPerveen, DidierTalamona Effect of process parameters and materials on the dimensional accuracy // Materials Today:Proceedings. 2020.
16. Феникс-Группа компаний URL:  
[https://gkfenix.ru/produktsiya/metalloprokat/krugi-konstruktsionnye/40kh/?gclid=CjwKCAiArbv\\_BRA8EiwAYGs23EQiNtlcRX4AiPkWEs2UQ\\_gQUX9GUq7R8RgcO073LhjA0nL0yJaf-хоCqmgQAvD\\_BwE](https://gkfenix.ru/produktsiya/metalloprokat/krugi-konstruktsionnye/40kh/?gclid=CjwKCAiArbv_BRA8EiwAYGs23EQiNtlcRX4AiPkWEs2UQ_gQUX9GUq7R8RgcO073LhjA0nL0yJaf-хоCqmgQAvD_BwE)  
(дата обращения: 24.12.2020).
17. В.Ю.Радченко, Л.В.Зимницкая, М.А.Кравченко FDM ТЕХНОЛОГИИ // Известия СПбГТИ. 2016.