

ВВЕДЕНИЕ

Постепенно технологии 3D печати входят в нашу жизнь, открывая новые возможности в самых разных областях деятельности. 3D печать позволяет создать трехмерную модель какого-то изделия на компьютере и за считанное время, получить полноценный физический объект, соответствующий заданным параметрам. Преимущества использования современных 3D принтеров очевидны: снижение себестоимости изготовления продукции и сокращение сроков ее появления на рынке, моделирование элементов любой формы и сложности, быстрота и высокая точность изготовления, возможность использования разных материалов. В ближайшие годы снижение стоимости 3D принтеров должно открыть новые перспективы для реализации трехмерной печати.

Печать в 3D формате получает самое широкое распространение в различных отраслях, где начинают активно применяться трехмерные принтеры. В машиностроении 3D принтеры применяются для создания прототипов. В области промышленного производства для проектирования новой продукции всегда требуется создание моделей - прототипов будущей продукции. Для этих целей применяются такие традиционные способы, как механическая обработка и литьё. На изготовление прототипа обычно уходят недели или даже месяцы кропотливой работы. Это весьма дорогостоящий и трудоёмкий этап производства. Трёхмерные принтеры позволяют существенно ускорить весь процесс - можно получать готовые прототипы практически одним нажатием кнопки. В результате, вне зависимости от технических характеристик изделия его можно создать за считанные минуты или часы. Тем самым экономятся ресурсы и время. Особенно это актуально для машиностроения и многих других областей промышленного производства.

Благодаря использованию трехмерных принтеров сокращается время на конструкторские работы, гораздо более оперативно принимается решение о запуске изделия в серию. Созданный при помощи 3D печати макет помогает обнаружить недочёты в конструкции ещё на этапе разработки. Важно, что принтер даёт возможность изготовить столько макетов или отдельных деталей, сколько необходимо для проектирования, а не сколько представляется возможным вследствие каких-либо производственных ограничений [1].

Целью, данной выпускной квалификационной работы является, создание не дорогой, малогабаритной и простой в эксплуатации конструкции станка с ЧПУ для печати деталей в 3D формате.

Для крепления экструдера на макете станка необходимо было спроектировать приспособление.

Исходя из цели, выделяем следующие задачи:

- приобретение навыков проектирования технологического процесса
- овладение творческими навыками инженерной работы;

- изучение современных технологических процессов изготовления изделий и тенденции их развития;
- овладение самостоятельной защитой принимаемых решений;
- овладение теоретическими знаниями в области 3D моделирования.

1.1 Обзор характеристик 3D принтеров

В машиностроении создание штучных прототипов изделий является одной из наиболее сложной задачей. Она требует больших усилий и затрат, не только рабочей силы и времени, но и материальных.

На данный момент существует множество совершенно новых технологий изготовления прототипов сложной конструкции, такие как: отверждение на столе (SGC — Solid Ground Curing), послойное наложение термопластов (FDM — Fused Deposition Modeling), распыление (BPM — Ballistic Particle Manufacturing), лазерное спекание порошков (SLS — Selective Laser Sintering), склеивание (LOM — Laminated Object Modeling), многосопельное моделирование (MJM Multi Jet Modeling).

На сегодняшний день наибольшую заинтересованность имеет изготовление прототипов продукции с помощью FDM технологии. Прототипирование, выполняется по технологии FDM (Fused Deposition Modeling) послойного наложения на контур создаваемого изделия восковой или поликарбонатной нити. Проходя через механизм подачи, нить попадает в экструдер, где происходит её нагрев до полурасплавленного состояния. Благодаря этому слои сплавляются между собой, образуя монолитную поверхность. Этот быстрый и экономичный способ изготовления прототипов, реализованный на конструкции 3D принтеров.

Созданию 3D деталей уделяется большое внимание в развитии и совершенствовании технологии. Разнообразные формы, размеров и различного установочное оборудование делает эту технологию широко используемой в отраслях не только машиностроения, но и других. Многие отрасли промышленности очень часто пользуются услугой печати на 3D принтере, а в качестве используемого материала для печати может служить: бетонная смесь, металлический порошок, пластиковая ABS нить и многое другое.

Преимущества создания прототипов на 3D принтере:

- высокая скорость наращивания прототипов;
- возможность компьютерного регулирования скорости наращивания;
- возможность использования нескольких материалов для печати;
- высокая точность прототипирования;
- возможность создания моделей различной сложной формы;
- малые габариты принтера;
- безотходность используемого материала;
- доступное и дешёвое оборудование;
- простота в использовании.

При создании макета станка с ЧПУ для печати 3D деталей из ABS пластика были рассмотрены различные конфигурации 3D принтеров, которые отличаются по своей кинематике движений. Самая распространенная система принадлежит классической модели Prusa Mendel, представленная на рисунке 1.1

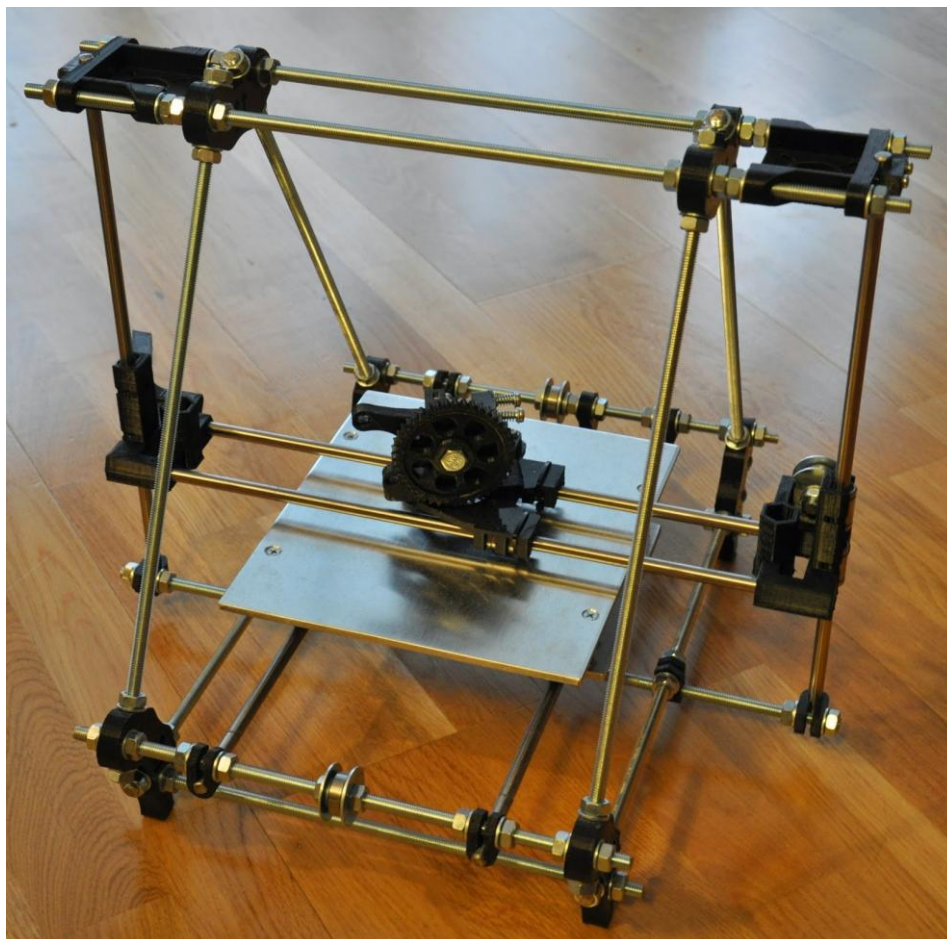


Рисунок 1.1 Система Prusa Mende

Данная схема движения имеет название XZ Head Y Bed. В ней экструдер движется по оси X в продольном направлении и по оси Z в вертикальном направлении, а стол движется по оси Y в продольном направлении. На первый взгляд, можно выделить простоту конструкции, но она состоит из большого количества крепёжных элементов. Их количество напрямую зависит к настройке и сборке макета. Главными недостатками такой схемы являются: погрешности в геометрии станка и требования к расположению его узлов. Калибровка данного принтера достаточно трудоёмкий процесс. Кроме этого точность передвижения узлов зависит от жесткости резьбовых шпилек, из которых состоит макет. Качество печати данного принтера не высокая. Для повышения качества печати в данной схеме можно воспользоваться заменой шпилек на цельные элементы [2].

Технические характеристики принтера Prusa i3 Hephestos – новинки от компании bq. 3D-принтер, созданного на основе RepRap Prusa Mendel [3] приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Технические характеристики Prusa i3 Hephestos.

Технические характеристики	Значения
Размер рабочей зоны (X)	21,5 см
Размер рабочей зоны (Y)	21 см
Размер рабочей зоны (Z)	18 см
Используемый материал	PLA, HIPS, FilaFlex и другие
Минимальная толщина слоя нити	60 мкм
Максимальная толщина слоя нити	300 мкм
Минимальная скорость печати	40-60 мм/с
Максимальная скорость печати	80-100 мм/с
Диаметр нити	1.75 мм
Интерфейсы	USB тип B, SD
Операционная система	Windows XP и старше, Mac OS X и старше, Linux
Программное обеспечение	Cura Software, Slic3r, Repetier, Kisslicer
Требования к электропитанию	220/12 В 100 В
Габаритные размеры принтера	460 x 383 x 430 мм
Удельный вес принтера	9,7 кг

Рассмотрим 3D - принтер, основанный на системе Prusa Air представлена рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 Система Prusa Air

Данная система схожа с предыдущей, но отличается тем, что каркас является цельным элементом и составных частей гораздо меньше. Это означает, что собрать и настроить принтер проще. Качество печати данной конфигурации выше, чем у предыдущей системы. Легче добиться параллельности и перпендикулярности осей. К положительным качествам данной системы относится его компактность, но есть и недостатки, к ним относятся: трудность в замене узловых частей, из-за неудобного расположения их на конструкции, неудобное крепление Энд стопа оси Z, крепление стола с ремнем крайне неудобно, из-за этого возникают трудности в закреплении ремня[2].

Технические характеристики принтера Aurora Z605S Rep rap Prusa i3 – новинки от компании Aurora. 3D-принтер, созданного на основе RepRap Prusa Air [4] приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2- Технические характеристики Aurora Z605S Rep rap Prusa i3.

Технические характеристики	Значения
Точность позиционирования	Z 0.004 мм, XY 0.012 мм
Точность печати	0.1
Скорость печати	100 мм / с
Максимальные габаритные размеры напечатанной детали	190 x 190 x 180 мм
Многокрасочная печать	Один цвет
Диаметр экструдера	0,4 мм (возможность настройки 0,3 мм / 0,2 мм)
Рекомендуемая температура экструдера	210 градусов (максимальное значение 260 градусов)
Температура нагрева пластины	60-100 градусов
Лучшая температура окружающего воздуха	≥ 25 градусов
Требования к питанию	220 V, 240 W, 50 Hz, 0.89 A
Подключение	SD-карта или USB
Формат файла печати	STL
Совместимость	Windows XP, Windows, Vista, Windows 7, Linux
Вес устройства	7.5 кг
Размер оборудования	430 x 405 x 370 мм
Тип используемого материала	ABS и PLA
Программное обеспечение управления	Cura, Repetier-host
Характеристики материала	1,75 мм в диаметре

Рассмотрим систему под названием Makerbot Cupcake CNC. Главным отличием данной системы является то, что стол принтера перемещается по осям X в продольном направлении и по оси Y в поперечном направлении, а экструдер совершает перемещения только по оси Z в вертикальном направлении. Данная кинематика движения используется на небольших фрезерных станках. Эта система используется только тогда, когда вес заготовки меньше веса инструмента. Система Makerbot Cupcake CNC представлена рисунке 1.3.

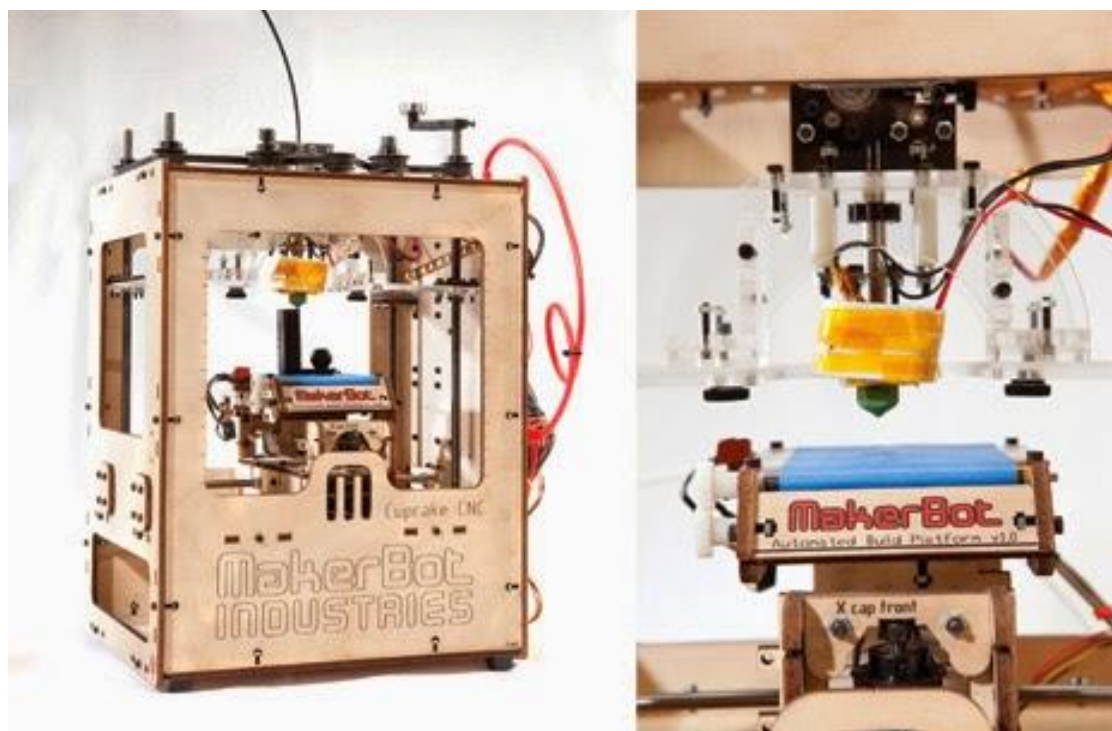


Рисунок 1.3 Система Makerbot CupCake CNC.

Достоинства такой системы заключается в удобном расположении всех рабочих узлов принтера. Требуемая мощность двигателей меньше чем у предыдущих систем, а значит и нагрузка на них меньше. Закрытый корпус не только позволяет защитить механизмы принтера, но и придаёт ему более эстетичный вид, по сравнению с другими системами. Из недостатков можно отметить то, что перемещение происходит только за счёт стола, тем самым возникают инерционные силы, стремящиеся сместить поверхность печати. Большие габаритные размеры принтера, от которых зависит размер напечатанной детали. Большой закрытый корпус препятствует процессу замены подложки на рабочей платформе принтера [2]. Технические характеристики принтера Makerbot Replicator [5], созданного на основе системы Makerbot CupCake CNC приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3- Технические характеристики Makerbot Replicator.

Технические характеристики	Значения
Размеры рабочей зоны	25,2 x 19,9 x 15,0 см
Разрешение слоя	100 микрон
Материал	PLA - материал, диаметром 1,75 мм
Диаметр сопла	0,4 мм
Тип файла для печати	MAKERBOT
Пакет программ	Программное обеспечение MakerBot Desktop
Поддерживаемая операционная система	Windows (7 и последующих версий), Mac OS X (10.7 и последующих версий), Linux (Ubuntu 12.04 и последующих версий, Fedora 19 и последующих версий)
Габаритные размеры принтера	52,8 x 44,1 x 41,0 см
Масса принтера	16,0 кг
Рабочая температура окружающей среды	15–32 °C
Потребляемое напряжение, мощность	100–240 В переменного тока; 0,76–0,43 А; 50/60 Гц; 100 Вт
Связь	USB
Точность позиционирования по осям X и Y	11 микрон
Точность позиционирования по оси Z	2,5 микрон

Наибольшим интересом из всех существующих систем компоновок принтеров располагает Delta – система. В этой системе особенная кинематика движений, непривычная для человека. В основе данной системы располагаются три направляющие, за счёт которых и происходят все перемещения. Стол в Delta – системе неподвижен, а экструдер перемещается по всем трём плоскостям X в продольном направлении, Y в поперечном направлении, Z в вертикальном направлении. Родоначальником всех подобных принтеров является Rostock, представленный на рисунке 1.4.

Главное преимущество этой системы является то, что экструдер может перемещаться по всем осям на высоких скоростях, при достаточно мощных двигателях. Экструдер обладает малой инерцией при перемещении, что уменьшает нагрузку на узлы станка и повышает точность печати. Так же из достоинств можно выделить компактность принтера и лёгкость в эксплуатации. Из минусов отметим, что для движения по любой из осей необходимо задействовать все три двигателя одновременно. При этом возникает возможность накопления суммарной ошибки в точности позиционирования, которая кроме этого зависит и от наличия люфтов в шарнирных соединениях[2].

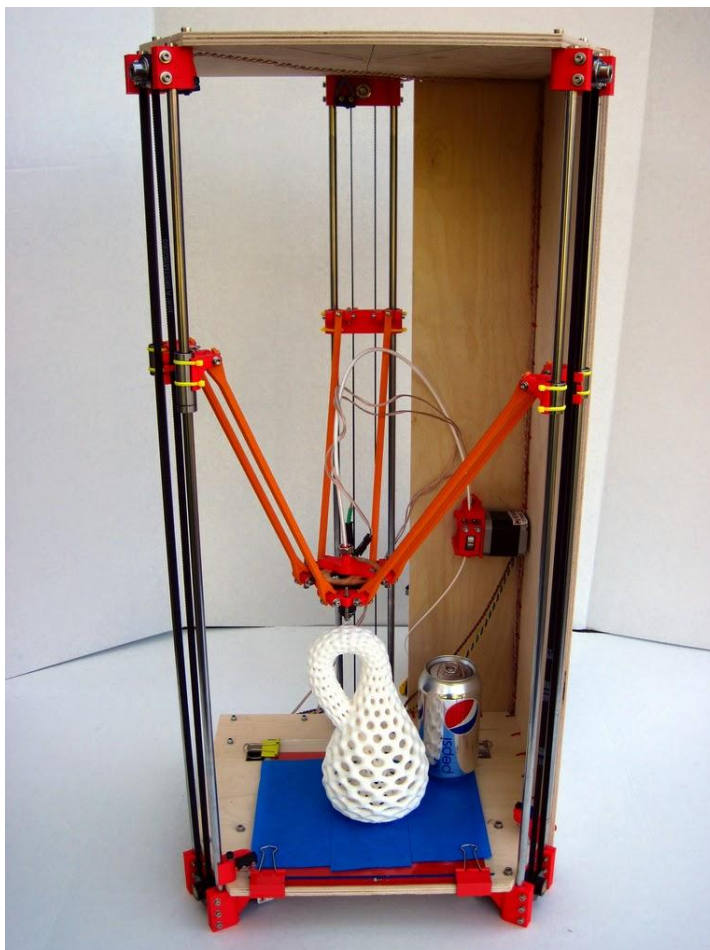


Рисунок 1.4 Система Delta

Технические характеристики принтера PRISM Home - бытовой FDM - принтер с компоновкой типа «Delta - робот». [6] приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4- Технические характеристики PRISM Home.

Технические характеристики	Значения
Технология печати	Моделирование методом наплавления (FDM/FFF)
Количество печатающих головок	1
Диаметр сопла, мм	0,3
Область построения, мм	300x300x600
Толщина слоя, мм	0,03-0,3
Скорость печати	300 мм/сек
Платформа	с подогревом
Интерфейсы	USB, Card Reader
Используемые материалы	ABS-пластик, PLA-пластик, PVA-пластик, HIPS
Диаметр нити, мм	1,75
Размеры, мм	430x550x1000

Продолжение таблицы 1.4 - Технические характеристики PRISM Home

Вес, кг	25
Рабочая программа	Repetier Host, Slic3r (открытый код)
Операционная система	Windows
Поддерживаемый формат файлов	stl, obj
Интерфейс	USB, SD-карта
Питание	220 V

Рассмотрим систему компоновки XY Head Z Bed представленную на рисунке 1.5.

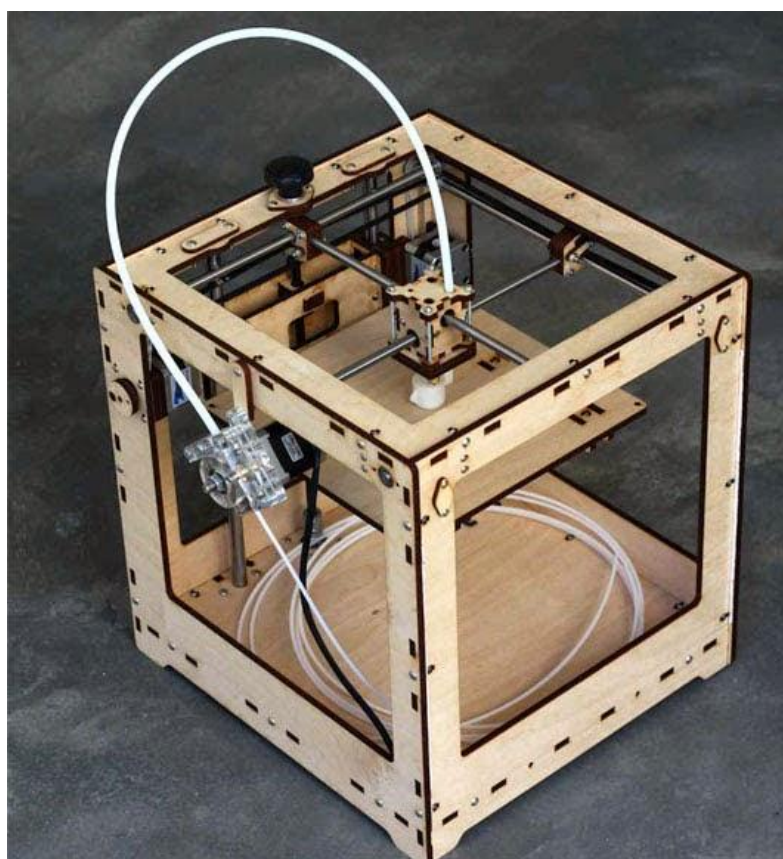


Рисунок 1.5 Система XY Head Z Bed

Самая распространенная система кинематики, применяемая в современных принтерах - это XY Head Z Bed - система. Стол в данной системе перемещается по оси Z в вертикальном направлении, а экструдер по осям X в продольном направлении и Y в поперечном направлении. Двигатель оси Y при помощи двух зубчатых ремней двигает каретку оси X с размещенным на ней двигателем, который так же двигает экструдер. К недостаткам данной системы можно отнести, что приходится постоянно перемещать двигатель оси X, а это дополнительная масса к нагрузке. Необходимость использования трех отдельных зубчатых ремней, которые должны быть хорошо натянуты. К достоинствам данной системы можно

отнести её компактность и отсутствие инерции, которая возникает у других систем, при перемещении стола по осям [2]. Технические характеристики принтера Ultimaker 2 [7], созданного по системе XY Head Z Bed приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5- Технические характеристики Ultimaker 2.

Технические характеристики	Значения
Технология печати	FDM\FFF
Материал печати	PLA, ABS, LAYWOOD, LAYBRICK, Nylon, Flexible
Толщина нити, мм	3
Количество экструдеров	1
Диаметр сопла, мм	0,4 /Возможно от 0,15 до 0,7мм
Разрешение печати	0.02 мм
Производительность	До 30 см ³ в час
Точность позиционирования	XY - 0.0125 мм (12,5 микрон) Z - 0.005 мм (5 микрон)
Область печати, мм	210x 210 x 200
Программное обеспечение	Cura
Поддерживаемые форматы файлов	stl, obj
Операционные системы	Windows, Mac OSX, Linux
Интерфейс подключения	wi-fi, usb, ethernet
Размер принтера, мм	338x358x389
Вес принтера, кг	11
Электропитание, В	110-240
Вес принтера, кг	16

Из рассмотренных систем кинематических движений 3D принтеров и технических характеристик аналогов этих систем, выбираем Delta - компоновку. Данная система обладает компактностью, удобным расположением узлов принтера. Одним из наиболее важных критерий выбора является высокая скорость печатания, в отличие от других систем, она реализуется, благодаря своей Delta расположением и кинематикой движений. В данной системе есть возможность модернизации и улучшения отдельных технических характеристик.

2.1 Конструкторская часть

2.1.1 Назначение макета станка

На сегодняшний день все большее применение находит создание прототипов с помощью 3D принтеров. Это простая процедура, надежная технология, не отнимающая большого количества времени. 3D принтеры бывают разной компоновки, разных габаритных размеров и предназначений. Стоимость 3D принтеров зависит от его характеристик, но не является слишком дорогостоящей. Печатание деталей имеет свои преимущества перед другими технологиями создания прототипов, но так же не лишён и недостатков. Главными преимуществами 3D печати являются скорость создания деталей и стоимость её изготовления.

Для осуществления процесса создания прототипов с помощью 3D принтера требовалось сконструировать специальный рабочий макет станка.

Данный макет предназначен для печати деталей небольших габаритов из ABS пластика. Конструкция макета станка позволяет размещать на столе станка, детали размерами 190x190x120 мм и массой до 0,5 кг.

2.1.2 Описание геометрии и технологических решений станка дельта – компоновки.

Дельта - компоновка означает, что в основании станка закреплены 3 вертикальные направляющие, обеспечивающие перемещение экструдера в трёх плоскостях X, Y, Z.

Для проектирования станка необходимо в первую очередь определить его габаритные размеры. Для дельта - компоновки форму стола выбираем круглую, так как в отличие от квадратной и треугольной форм, используемая площадь печати будет больше. Из условий габаритных размеров напечатанных деталей, радиус нагревательного стола должен немного превышать 95 мм. Выбираем стол диаметром 110 мм.

Далее следует определить длину между центрами тяг. Она должна обеспечивать свободное перемещение экструдера по столу, а так же свободное крепление направляющих и его узловых элементов. Принимаем значение длины между центрами тяг равным 270 мм, которые образуют равносторонний треугольник. Схема расчёта длины между центрами тяг представлена на рисунке 2.1

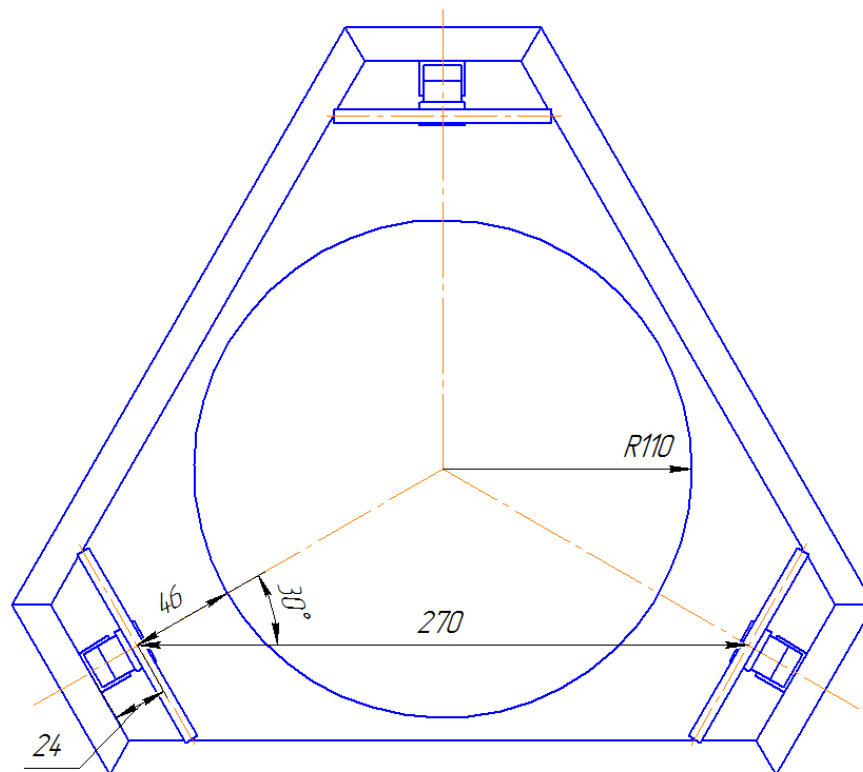


Рисунок 2.1 Схема расчёта длины между центрами тяг

Необходимо определиться с длиной тяг станка. Максимальная длина тяг рассчитывается исходя из условий:

- максимального угла наклона, образующегося между тягами и поверхностью стола, принимаем значение угла равным 45 градусам. При значении угла наклона более 45 градусов, длина тяг увеличивается, а значит увеличивается и высота станка. При меньшем значении угла шарниры крепления испытывают большие нагрузки, что может привести к перекосу каретки;

- длины от центра тяг до центра экструдерной головки, установленной на максимальном удалении от направляющей до края нагревательного стола;

- максимального радиуса каретки экструдера.

Длину тяги станка принимаем равной 28 мм.

Схема расчёта длины тяг представлена на рисунке 2.2

Определяем высоту направляющих станка; здесь необходимо учитывать:

- высоту нижнего основания станка, служащего для закрепления в ней электронной аппаратуры;

- длину направляющих тяг;

- максимальную высоту от стола до экструдера;

- высоту экструдера.

Назначаем высоту направляющих станка равной 665 мм.

Схема расчёта высоты направляющих представлена на рисунке 2.2

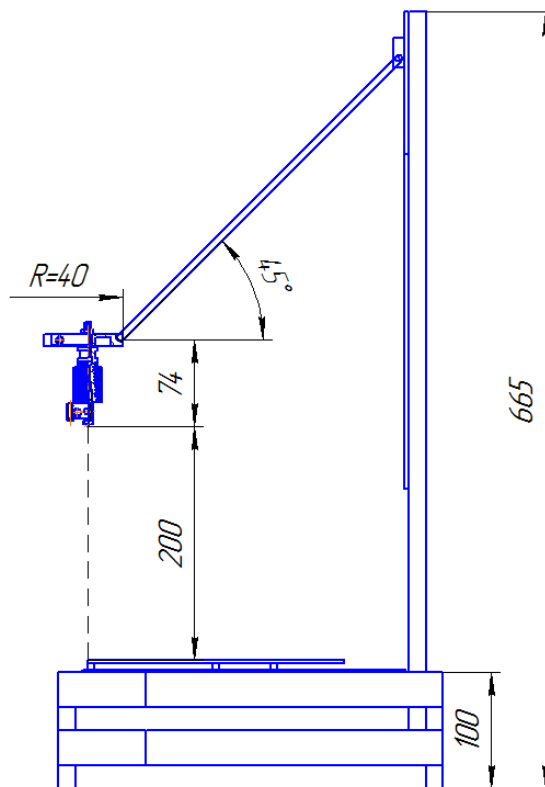


Рисунок 2.2 Схема расчёта длины трос и высоты направляющих.

В качестве материала для изготовления каркаса станка был выбран алюминиевый профиль. Для надёжности, неподвижности и плотного стыкового совмещения каркаса станка был выбран профиль 30×15 мм, образующий треугольник в две плоскости. Плоскости параллельны и закреплены на направляющих. На каркасе основания закреплены профильные платформы, одна из которых служит за закрепления на ней электронной аппаратуры, а другая для закрепления нагревательного стола. Нагревательный стол подвергается нагреву с высокими температурами, а значит, его нужно приподнять над алюминиевой платформой на некоторое расстояние. Выбираем резиновые подкладки, которые выдерживают максимальную температуру нагрева 490 градусов. Они приподнимают стол на 6 мм от платформы.

Выбор подвижных направляющих станка осуществляется из требований к направляющим, они должны обеспечивать: жёсткость перемещения в продольном направлении, параллельность и недопустимость перекоса при перемещении, должны быть износостойкими просты в демонтаже. Выбираем телескопические направляющие.

Ремни, предназначенные для передачи поступательных движений от двигателей к подвижным направляющим, располагаем по бокам направляющих, не загромождая конструкцию.

Верхняя платформа станка должна располагаться так, чтобы не препятствовать тросам совершать перемещения вдоль своих траекторий. Расстояние от нижней до верхней платформы принимаем равным 350 мм.

Механизм подачи нити в большинстве случаев прикреплён к экструдеру, тем самым увеличивая вес, который нужно перемещать во всех трёх направлениях, а так же создаёт большую инерцию, негативно влияющую на механизмы и узлы перемещения экструдера. В данном макете станка этот механизм мы разместили на верхней платформе, тем самым значительно снизили вес перемещаемого узла и как следствие уменьшили инерциальную нагрузку.

Вследствие переноса механизма подачи нити от экструдера возникает проблема жесткости подачи нити от механизма подачи до самого экструдера. Она решается с помощью «рубашки», закреплённой между этими узлами. Основой «рубашки» является пружина диаметром 4 мм. Однако пружина слишком жёсткая и может смещать каретку. Эта проблема решается благодаря скручиванию пружины.

На верхней платформе станка размещается не только механизм подачи нити, но и сама катушка с ABS нитью. Она расположена так чтобы можно было с лёгкостью её извлекать и заменять другой. При этом процесс подачи нити не затруднён.

Особенностью данного макета станка является применение неодимовых магнитов. Они служат скрепляющим элементом для шарнирной передачи между кареткой экструдера и тягами. Целью их установки является уменьшение погрешности позиционирования узлов станка. Они обладают достаточной магнитной силой чтобы, препятствовать разрыву узлов при инерциально-силовых нагрузках.

Каретка экструдера имеет ряд преимуществ: небольшие размеры, при достаточной жёсткости детали, доступность и простота при креплении на ней элементов.

Треугольная форма конструкции, отличается от других форм своей компактностью, и высоким коэффициентом задействованной в работе поверхности станка. Она так же позволяет удобно расположить электронную аппаратуру, не прибегая к увеличению габаритных размеров корпуса.

Применение П - образных направляющих соответствует требованиям жёсткости конструкции. Конструкция станка не требует дополнительных планок жёсткости, она проста и не возникают затруднения в демонтаже узлов станка.

В целом можно отметить, что конструкция станка с ЧПУ для печати 3D - деталей из ABS пластика является хорошо скомпонованной и имеет ряд преимуществ перечисленных выше. В этой конструкции, к сожалению, не исключены недостатки, такие как возникновение погрешности базирования и закрепления при сборке конструкции, из-за большого количества составных частей конструкции, и сложностью регулировки положения экструдера относительно плоскости стола.

2.1.3 Описание конструкции

В условиях лаборатории кафедры ТМС ЮТИ ТПУ был спроектирован макет принтера для создания 3D деталей из ABS пластика.

Перед проектированием были рассмотрены аналоги. В качестве основного взят станок с Delta - компоновкой, обеспечивающий перемещение экструдера в X, Y, Z плоскостях. Для закрепления экструдера на подвижных тягах станка необходимо установить каретку экструдера с шарнирной передачей.

Для перемещения, исключения перекоса и заклинивания движения экструдера в вертикальном направлении необходимо наличие трёх шаговых приводов. С целью облегчения узла перемещения, механизм подачи нити был перемещён на верхнее основание станка. Стол станка неподвижен и закреплён на нижнем основании станка. Вся электронная аппаратура размещена так же в нижнем основании станка

Одним из основных требований станка является возможность транспортирования одним человеком. Поэтому масса станка должна быть не более 16 кг. В качестве материала для изготовления несущей системы был выбран алюминиевый профиль, применяемый при изготовлении навесного оборудования. Этот материал легко поддается механической обработке и имеет широкое распространение. Общий вид макета станка представлен на рисунке 2.3.

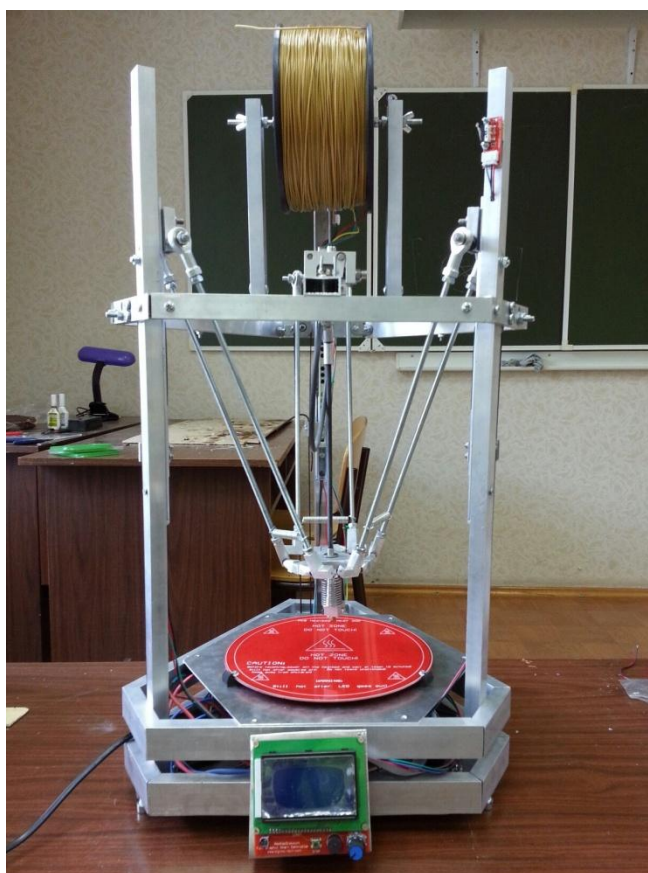


Рисунок 2.3 Общий вид макета станка

Станок состоит из двух основных частей, таких как основание, и подвижная часть станка. Основание служит для установки и закрепления подвижной части, а так же служит корпусом для закрепления и установки всей электронной аппаратуры. Внешний вид размещения электронной аппаратуры представлен на рисунке 2.4.

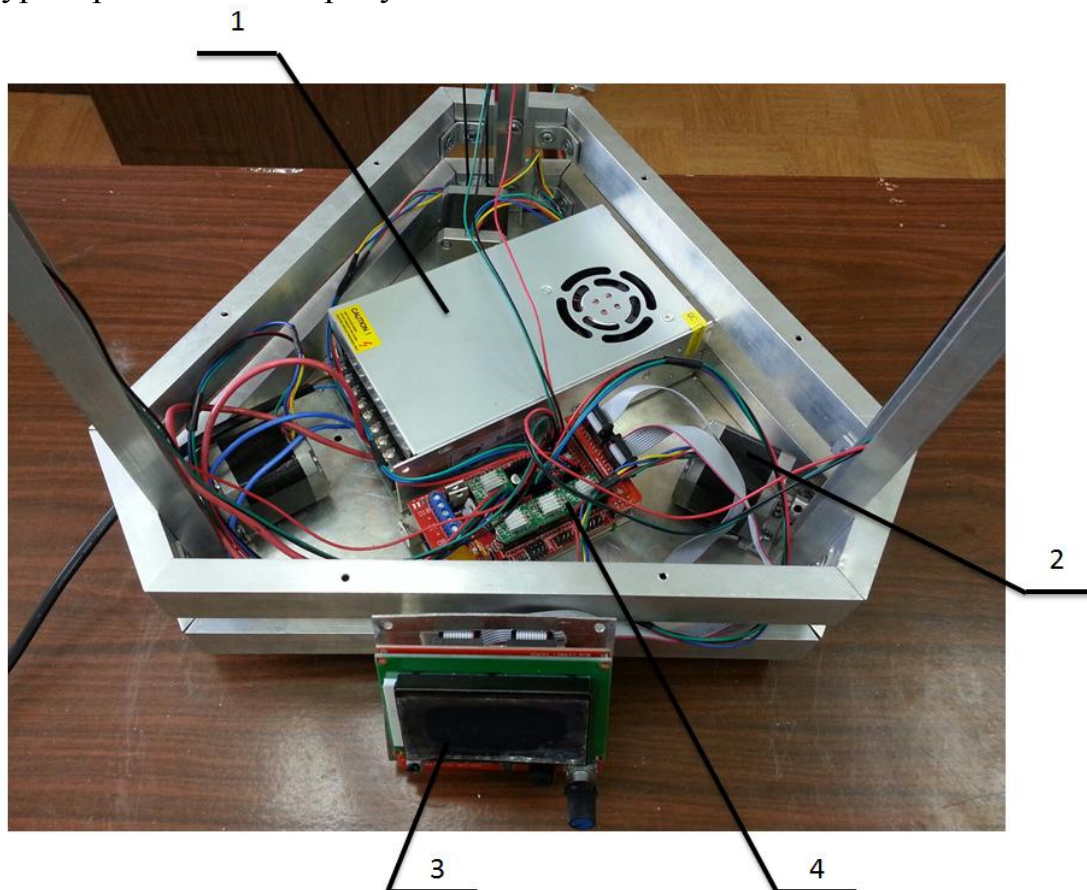


Рисунок 2.4 Внешний вид размещения электронной аппаратуры. 1 – блок питания, 2 – шаговые двигатели, 3 - LCD дисплей с SD картой, 4 - электронная плата.

В свою очередь подвижная часть макета станка состоит из подвижных направляющих 5, тяг 6, экструдера 7, шести шарнирных передач 8, а так же шести шарнирных передач 9, основой которых являются неодимовые магниты, закреплённые на противоположном конце тяг. Движение тяг во всех трёх направлениях передаётся от направляющих через шарниры. Три подвижные направляющие закреплены на корпусе станка с помощью винтов и служат механизмом перемещения в вертикальном направлении. Перемещение направляющим передаётся шаговыми двигателями 2 через рубчатый ремень 10. В качестве приводов были выбраны шаговые двигатели мощностью 7 Вт. Натяжение ременной передачи обеспечивается перемещением шкивом 11 по оси Z.

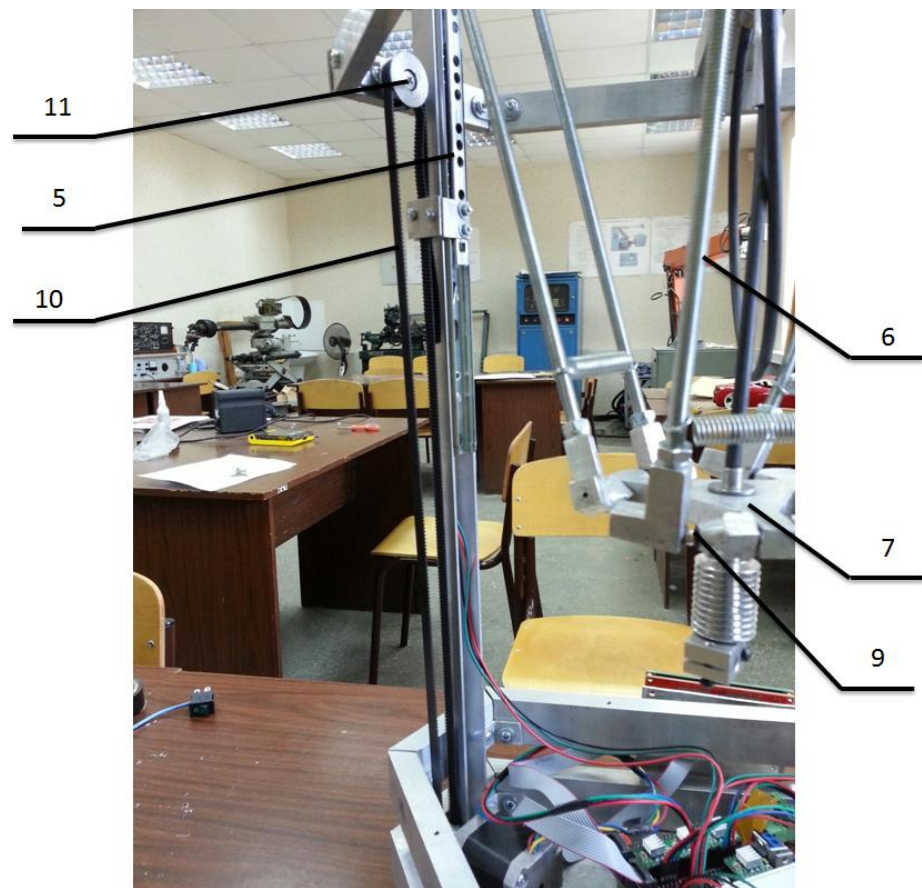


Рисунок 2.5 Внешний вид подвижной части станка у основания

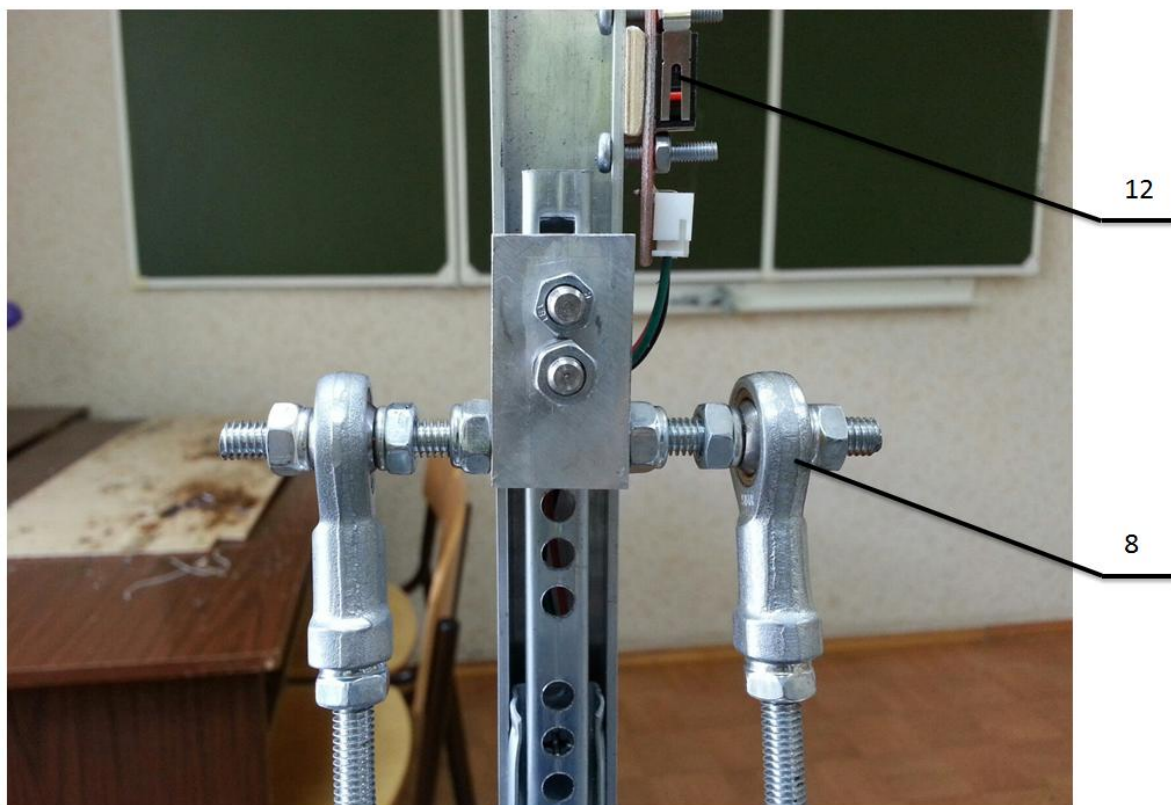


Рисунок 2.6 Внешний вид подвижной части станка вверх.

В верхней части станка расположены концевые выключатели 12 для ориентировки положения подвижных направляющих между собой.

Экструдер состоит из корпуса экструдера 13, экструдера 14, радиатора 15, штуцера 16 и каретки экструдера 17 и предназначен для печати изделий. Экструдер закреплён на каретке, которая с помощью шарниров на основе неодимовых магнитов передаёт движение от тяг во всех трёх направлениях.

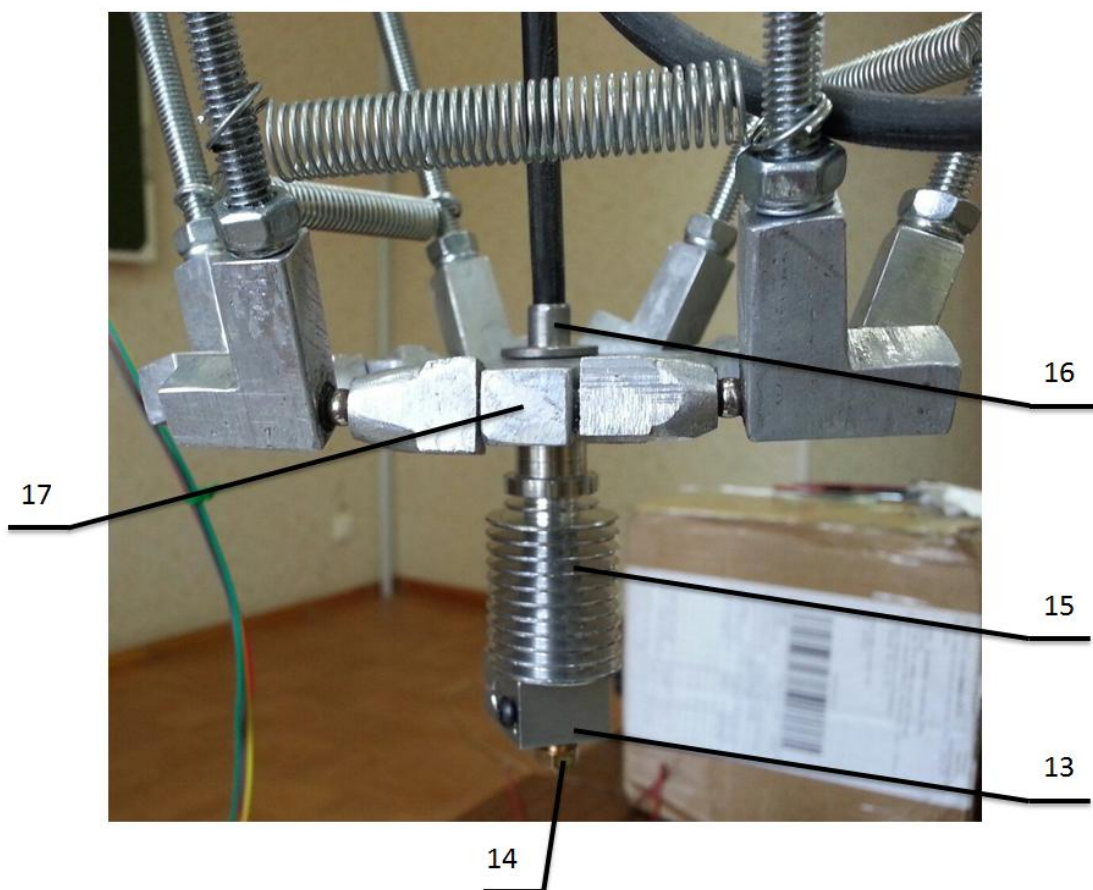


Рисунок 2.7 Вид экструдера.

Для крепления экструдера на макет станка с ЧПУ для 3D печати деталей необходимо было спроектировать приспособление, позволяющего не только закрепить экструдер, но и обеспечить его связь с тягами через шарниры.

На первом этапе были рассмотрены аналоги конструкций для крепления подобных деталей. Наиболее рационально крепить лазер на каретку с Delta - формой. Это дает наилучшее центрирование и крепление экструдера на макете станка.

Был принят вариант базирования по отверстию, ширина которого должна быть чуть больше базирующей поверхности штуцера. Конструкция приспособления цельная, тем самым исключается ошибка погрешности базирования.

Так же рассматривалось несколько вариантов материалов изготовления приспособления. В связи с тем, что основным требованием, предъявляемым

к приспособлению, является вес конструкции, и отсутствовали требования по прочности, то в качестве основного материала был принят алюминиевый сплав.

В качестве основной заготовки был принят листовой прокат шины сортаментом 10x80x1000 мм с алюминиевым сплавом АД31Т. Данный сплав удовлетворял всем условиям, предъявляемым к приспособлению.

Основными требованиями, предъявляемыми к плите, являются шероховатость базовой плоскости, отверстия на 10 мм под установку радиатора, а так же перпендикулярность и соосность расположения резьбовых отверстий под крепление шарниров.

Базирование приспособления на макете станка обеспечивается благодаря шести шарнирам на основе неодимовых магнитов, которые благодаря своим магнитным свойствам стягивают между собой приспособление и тяги.

2.1.4 Расчет усилия зажима

Для надежного закрепления радиатора в каретке экструдера необходимо рассчитать усилие зажима. Расчет усилия момента на штуцере производим по формуле (2.1).

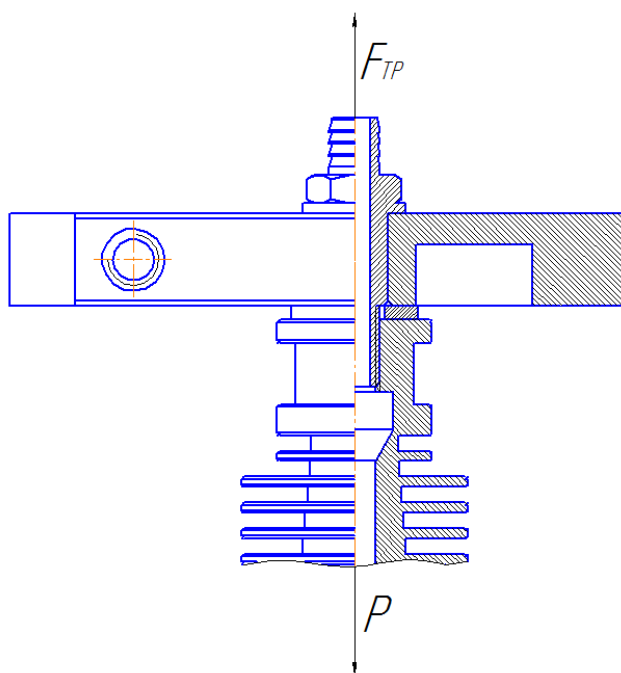


Рисунок 2.6 Силы, действующие на каретку.

$$M_1 = P \cdot l, \tag{2.1}$$

Где P – сила, приложенная к гаечному ключу;

L – расчетная длина ключа (рукоятки).

$$M_1 = 0,6 \cdot 72 = 43,2 \text{ Н}.$$

Расчет усилия зажима вычисляется по формуле (2.2).

$$W = \frac{P \cdot l}{r_{cp} \cdot \operatorname{tg}(\lambda \cdot \rho')}, H. \quad (2.2)$$

где W – осевая сила (сила зажима);

λ – угол подъема винтовой линии;

$\rho' = \arctg(f/\cos\alpha)$ (f – коэффициент трения, α – угол профиля резьбы);

r_{cp} – средний радиус резьбы.

$$W = \frac{0,6 \cdot 72}{4,675 \cdot \operatorname{tg}(6,27 \cdot 0,4)} = 211 H$$

Из расчетов видно, что усилия зажима составляет 211 Н, что позволяет надежно закрепить радиато в каретке экструдера, и при это не будет происходить отвинчивания [8].

2.1.5 Расчёт пружины сжатия

Поджим ролика в механизме подачи нити осуществляется с помощью пружины и винта. Рассчитаем пружину сжатия.

Таблица 2.1- Расчёт пружины сжатия

Материал	Проволока по ГОСТ 9389
Вариант оформления опорных витков	Неподжатые, нешлифованные
Диаметр проволоки (прутка) d , мм	0,75
Наружный диаметр $D1$, мм	4
Длина пружины без нагрузки $L0$, мм	5
Рабочее число витков n	3
Контрольная (предварительна) длина $L1$, мм	4
Контрольная (рабочая) длина $L2$, мм	3,5
Количество пружин в партии, шт	1
Внутренний диаметр $D2^*$, мм	2,5
Полное число витков $n1$	5
Длина при соприкосновении витков $L3$, мм	3,375
Предварительная нагрузка $F1$, Н	30,14
Рабочая нагрузка $F2$, Н	45,21
Максимальная нагрузка $F3$, Н	48,98
Жёсткость пружины c , Н/мм	30,14
Шаг t , мм	1,3
Ход пружины при предварительном сжатии $S1$, мм	1
Максимальный рабочий ход пружины $S2$, мм	1,5

2.1.6 Расчёт радиатора охлаждения

В состав экструдера входит радиатор охлаждения, рассчитаем его тепловое сопротивление.

Температур окружающей среды 20°C, допустим перегрев на 80°C, т.е. нагреве тепловыделяющего элемента до 100°C.

Тепловое сопротивление радиатора рассчитывается по формуле(2.3)

$$Q = \frac{50}{\sqrt{S}}, \text{ } ^\circ\text{C/Вт} \quad (2.3)$$

где:

S – площадь поверхности теплоотвода, выраженная в квадратных сантиметрах.

Для данного радиатора $S=43,56 \text{ см}^2$.

Радиатор площадью 43,56 см², из расчета по формуле 14, имеет тепловое сопротивление $Q = 7,57 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$. При допустимом перегреве 80°C получаем мощность рассеяния $80/7,57 = 10,57 \text{ Вт}$.

2.2. Аналитическая часть

2.2.1. Служебное назначение и технические характеристики детали (изделия).

По заданию необходимо спроектировать технологический процесс механической обработки детали. Была выбрана деталь «Каретка экструдера» Данная деталь входит в состав спроектированного 3D принтера и предназначена для закрепления экструдера на нем. Экструдер – печатающая головка 3D принтера, предназначен для расплавления и подачи ABS пластика при печати. Каретка является цельным изделием. Каретка через шарнирное соединение, перемещает экструдер в заданную позицию. Экструдер вместе с печью, расплавляет ABS пластик и наносит его слой на поверхность стола. Материал изготовления изделия – алюминиевая шина марки АД31Т. Химический состав алюминия (ГОСТ 4784-97) приведённый в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Химический состав в % сплава алюминия марки АД31Т

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примеси
до 04	0,3- 0,5	до 0,2	до 0,05	до 0,16	97,55- 99,25	до 0,09	0,44- 0,9	до 0,25	Прочие, каждая 0,04; Всего 0,16

Механические свойства (ГОСТ4784-97) в соответствии с техническими требованиями представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Механические свойства сплава алюминия АД31Т

Т испытания	σ_B (МПа)	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	δ_5 (%)	ψ (%)	Твёрдость НВ 10^{-1} (МПа)
20	240	200	17	70	80
100	210	180	17	70	
200	160	150	16	65	
250	120	100	16	65	

σ_B – предел прочности при растяжении;

$\sigma_{0,2}$ – предел текучести условный;

δ_5 – относительное удлинение материала после разрыва;

ψ – относительное сужение сечения.

Алюминий АД31 – это деформируемый давлением сплав, обладающий высокой пластичностью и коррозионной стойкостью. Сплав имеет хорошую свариваемость, хорошую теплопроводность и электропроводность. Из-за особенностей его свойств, сплав применяют для деталей, произведённых формовкой, глубокой вытяжкой, рассчитанных на работу под небольшой нагрузкой, даже в агрессивной коррозионной среде. Также из него производят твёрдые шины в электротехнике.

Технологические свойства сплава АД31Т: хорошо деформируются в как в горячем, так и в холодном состояниях. Имеет высокую пластичность при температуре обработки давлением 450–500 °С.

К ответственным поверхностям изделия относятся:

- Поверхность установки радиатора Ø16H14 Ra=3,2 мкм с отклонением от перпендикулярности 0,1 мм и отклонением от плоскостности 0,05 мм;
- Отверстие Ø10H7/g6 и Ra=0,8мкм;
- Отверстие Ø8H7/h6 и Ra=0,8мкм;
- 3 отверстия M5×0,8-6H Ra = 6,3 мкм с отклонением от перпендикулярности к оси 0,1 мм и отклонением от параллельности к поверхности 0,1мм.

1.2. Программа выпуска детали. Определение типа производства.

Деталь каретка экструдера имеет объём выпуска 5000 шт. в год.

Предварительно определяем, что тип производства мелкосерийный [9]. Годовая программа выпуска сборочных единиц представлена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Годовая программа выпуска сборочной единицы

Наименование изделия	Количество деталей на программу, шт.	Количество деталей на запасные части, шт.	Число деталей, шт.	Масса, кг.	
				Деталь	На годовую программу
корпус	5000	200	5200	0,150	780

Для мелкосерийного и среднесерийного производства рассчитываем размер партии запуска по учебному пособию [10]:

$$n = N \cdot a / F, \quad (2.4)$$

где: F - число рабочих дней в году;

a = 3, 6, 12, 24 - периодичность запуска в днях;

N - годовая программа выпуска изделий, шт.

$$n = 5200 \cdot 6 / 247 = 127 \text{ шт.}$$

2.2.2 Анализ типового технологического процесса.

Типовой технологический процесс изготовления каретки экструдера разработан для мелкосерийного производства и представлен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Типовой технологический процесс

№ Опер.	Наименование операции	Оборудование, приспособления, режущий и измерительный инструмент
005	Заготовительная	Ленточно - отрезной НДА-250, ленточная пила, зубья Т5К10, тиски с призматическими губками, упор.
010	Разметка 1. разметить отверстие Ø10Н14 2. разметить отверстие Ø8Н14 3. кернить разметку 4. разметить контур корпуса.	Верстак, тиски, кёрн, молоток, шаблон.
015	Сверлильная 1. сверлить отверстие Ø10Н14 2. сверлить отверстие Ø8Н14	Станок 2М55, сверло Ø6 ГОСТ 19265, сверло Ø8 ГОСТ 19265, тиски.

Продолжение таблицы 2.5 - Типовой технологический процесс

020	Слесарная 1. удалить заусенцы, притупить острые кромки в отверстиях Ø10H14; Ø8H14.	Верстак, тиски, шабер.
025	Фрезерная 1. фрезеровать 6 плоскостей согласно эскизу (с переустановкой)	Станок 6P82Г (ГФ, СГФ), болты, планки, прижимы.
030	Слесарная 1. удалить заусенцы, притупить острые кромки после фрезеровки.	Верстак, тиски, шабер.
035	Разметка 1. разметить 6 отверстий Ø5H14	Верстак, тиски, кёрн, молоток, ШЦ-II-250-0.1 (0-250 мм) ГОСТ 166-89.
040	Сверлильная 1. сверлить 3 отверстия Ø5H14 (с переустановкой)	Станок 2М55, сверло Ø5 ГОСТ 19265.
045	Слесарная 1. удалить заусенцы, притупить острые кромки в отверстиях. 2. нарезать резьбу М5×0,8-6Н	Верстак, тиски, шабер, метчик М5 х 0,8 ГОСТ 1604-71
050	Фрезерная 1. Фрезеровать колодец согласно эскизу.	Станок СФ40, болты, планки, прижимы.
055	Слесарная 1. удалить заусенцы, притупить острые кромки после фрезеровки.	Верстак, тиски, шабер.
060	Контрольная 1. проверить деталь согласно требованиям чертежа и техпроцесса 2 оформить приемку деталей	Плита
065	Консервация 1 поверхности деталей покрыть тонким слоем машинного масла 2 уложить детали в тару	Участок

Заготовкой является шина, полученная в процессе проката. Прокат отличается повышенной плотностью и прочностью, при небольшой его толщине. В технологическом процессе базы выбраны рационально, соблюдены правила базирования и принципы базирования.

Так как технологический процесс разрабатывался для типа мелкосерийного производства, то при изготовлении корпуса применяется универсальное оборудование. При обработке используется универсальная и стандартная оснастка. Данный технологический процесс требует доработок и изменений для типа мелкосерийного производства.

Пути улучшения технологического процесса:

- применение специального приспособления, позволит сократить основное время обработки, за счёт сокращения установов;
- применение станков с ЧПУ, позволит сократить основное время обработки, за счёт сокращения времени переходов, а так же повысить точность изготавливаемой детали;
- отказ от операции разметки.
- отказаться от применения двух фрезерных станков 6Р82Г и СФ40, а заменить его станком с ЧПУ.

2.3 Технологическая часть

2.3.1. Анализ технологичности объекта производства

В конструкторской документации достаточно видов детали, разрезов детали и сечений детали, что бы разобраться, что это за изделие. Имеются все размеры и допуски. Требования к шероховатости, расположение формы и положения расставлены корректно. В технических требованиях содержится всё что необходимо. Чертёж содержит необходимую информацию о материале и массе детали. Так же техническая документация дает сведения о способе получения заготовки.

2.3.2. Качественная оценка технологичности

Деталь технологична по следующим критериям: имеет хорошие базовые поверхности для установки, возможность применения высокопроизводительные режимы обработки. Конструкция детали позволяет вести обработку плоскостей на проход. Взаимное расположение поверхностей детали не вызывает трудности при подводе режущего инструмента. Отверстия не ступенчатые и сквозные. Оси отверстий перпендикулярны к поверхностям обработки. Все размеры контролируются с помощью универсального мерительного инструмента. Алюминий АД31Т обладает хорошей технологичностью. Получаемая заготовка рациональна.

Не технологичным является то, что оси детали располагаются под углом 120 градусов. Затруднительность вызывает обработка колодца. Изготовление детали из проката вызывает повышенный расход металла и большой объем механической обработки. На внутренней и внешней поверхности изделия имеются радиусы скруглений, получаемые инструментом, что является затруднительным. Много слесарных операций.

2.3.3 Количественная оценка технологичности

Количественная оценка технологичности рассчитывается по учебному пособию. [11]

Коэффициент использования материала находим по формуле (2.5).

$$КИМ = \frac{m_{\partial}}{m_3} \quad (2.5)$$

где:

$КИМ$ – коэффициент использования материала;

m_{∂} – масса детали, кг;

m_3 – масса заготовки, кг.

$$КИМ = \frac{150}{250} = 0,6 \leq 0,7$$

Условие не выполняется, деталь по этому показателю не технологична.

Коэффициент унификации конструктивных элементов вычисляется по формуле (2.6):

$$K_{y\partial} = \frac{Q_{y\partial}}{Q_9} \quad (2.6)$$

где: $K_{y\partial}$ – коэффициент унификации конструктивных элементов;

$Q_{y\partial}$ – количество унифицированных элементов, шт;

Q_9 – количество элементов всего в изделии, шт.

$$K_{y\partial} = \frac{1}{6} = 0,17 \leq 0,6$$

По этому показателю деталь технологична, так как $K_{y\partial}$ меньше 0,6.

Коэффициент точности обработки находим по формуле (2.7).

$$K_{m.o.} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} = 1 - \frac{1}{12,8} = 0,92 \geq 0,5, \quad (2.7)$$

где: $K_{m.o.}$ – коэффициент точности обработки;

A_{cp} – средний квалитет точности, мкм.

Средний квалитет точности находим по формуле (2.8).

$$A_{cp} = \Pi_1 + 2\Pi_2 + 3\Pi_3 + \dots + 14\Pi_{14} / \Pi_{\Sigma}, \quad (2.8)$$

$\Pi_1 \dots 14\Pi_{14}$ – количество размеров с квалитетом, шт;

Π_{Σ} – число поверхностей детали, шт.

По этому показателю деталь технологична, так как коэффициент точности обработки больше 0,5.

Коэффициент шероховатости находим по формуле (2.9).

$$K_{шp} = \frac{1}{B_{cp}}, \quad (2.9)$$

где: $K_{шp}$ – коэффициент шероховатости;

B_{cp} – средняя шероховатость поверхностей.

Средняя шероховатость поверхностей находится по формуле (2.10).

$$B_{cp} = \frac{\sum_{i=1} Ra_i \cdot nRa_i}{n_{\Sigma}} = \frac{(6,3 \cdot 17) + (3,2 \cdot 9) + (0,8 \cdot 2)}{28} = 4,9 \quad (2.10)$$

$\sum Ra_i$ – заданная шероховатость, мкм;

nRa_i – количество поверхностей имеющих шероховатость, шт;

n_{Σ} – суммарное количество поверхностей, шт.

$$K_{ур} = \frac{1}{4,9} = 0,2 \leq 0,32$$

По этому показателю деталь технологична, так как средний коэффициент шероховатости меньше 0,32.

В ходе анализа количественной оценки технологичности выяснилось, что все показатели соответствует требованиям технологичности. Это означает, что по количественной и качественной оценкам деталь является технологична.

2.3.4 Выбор заготовки и метода ее изготовления

Необходимо выбрать способ получения заготовки для изготовления корпуса экструдера из алюминиевого сплава АД31Т в среднесерийном типе производства. Рассмотрим два варианта получения заготовки исходя из анализа конструкции детали: сортовой прокат обычной точности и сортовой прокат высокой точности.

Сортовой прокат обычной точности ГОСТ15176-89

Материал – алюминиевый сплав АД31Т;

Масса детали – 0,15 кг.

Назначение припусков и допусков:

- На длину 1000 (10±5) мм;
- На высоту 10(1±0,35) мм;
- На ширину 80 (3±2) мм.

Допуски на размер проката:

$$1000^{+5,0}_{-5,0}; 10^{+0,35}_{-0,35}; 80^{+1,0}_{-1,0}$$

Масса заготовки определяется по формуле (2.12).

$$Q = V \cdot \gamma, кг \quad (2.12)$$

где:

V – объём заготовки, $м^3$ определяется по формуле (2.13).

γ – плотность, $кг/м^3$. 2710

$$V = A1 \cdot B1 \cdot S1 \quad (2.13)$$

где:

$A1 \cdot B1 \cdot S1$ – длина, ширина и толщина заготовки с учётом припусков, $м$.

$$V = 1 \cdot 0,1 \cdot 0,01 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$Q = 0,001 \cdot 2710 = 2,71, \text{ кг}$$

Рассчитываем технологическую себестоимость детали определяем по формуле (2.14).

$$S_T = \frac{m_d}{m_z} [C_{заг} + C_{ci} (1 - КИМ)], \text{ руб.} \quad (2.14)$$

где:

S_T – технологическая себестоимость детали, включающая стоимость заготовки и механической обработки, руб.;

m_d – масса детали, кг;

КИМ – коэффициент использования материала;

$C_{заг}$ – стоимость 1 кг заготовки, руб.;

$C_c = 118 \text{ руб.}$ – стоимость срезания 1 кг стружки при механической обработке в среднем по машиностроению по состоянию на 01.01.16 года по данным «МЕТТРАНСТЕРМИНАЛ».

C_{ci} – стоимость стружки на изготовление одной детали определяем по формуле (2.15).

$$C_{ci} = C_c \cdot Q : m, \text{ руб.} \quad (2.15)$$

где:

m – количество деталей, изготавливаемых из заготовки.

$$C_{ci} = 118 \cdot 2,71 : 14 = 22,84 \text{ руб}$$

$$C_{заг} = a_i \cdot Q_i \cdot m_{bi}, \text{ руб.} \quad (2.16)$$

где:

a_i – коэффициент относительной 1 кг заготовки, изготовленной выбранным способом;

Q_i – масса заготовки, кг.;

m_{bi} – стоимость одного килограмма заготовки, изготовленной базовым способом, руб.;

$a_i = 1,000$ по таблице А.1 из источника [10];

$m_{bi} = 195 \text{ руб.}$ по данным [11].

$$Q_i = \frac{Q_d}{КИМ} \quad (2.17)$$

где:

Q_d – масса детали по рабочему чертежу, кг.;

КИМ – коэффициент использования материала для выбранного метода получения заготовки.

$$Q_i = \frac{0,150}{0,6} = 0,25 \text{ кг.}$$

$$C_{заг} = 1,000 \cdot 0,25 \cdot 195 = 48,75 \text{ руб.}$$

$$S_T = \frac{0,150}{0,25} [48,75 + 22,84 \cdot (1 - 0,6)] = 34,73 \text{ руб.}$$

Сортовой прокат высокой точности ГОСТ15176-89

Материал – алюминиевый сплав АД31Т;

Масса детали – 0,15 кг.

Назначение припусков и допусков:

- На длину 1000 (8±4) мм;
- На высоту 10(1±0,25) мм;
- На ширину 80 (2±0,5) мм.

Допуски на размер проката:

$$1000^{+4,0}_{-4,0}; 10^{+0,25}_{-0,25}; 80^{+0,5}_{-0,5}$$

Масса заготовки:

$$Q = V \cdot \gamma, \text{ кг}$$

где:

V – объём заготовки, м^3 ;

γ – плотность, $\text{кг} / \text{м}^3$. 2710

$$V = A1 \cdot B1 \cdot S1$$

где:

$A1 \cdot B1 \cdot S1$ – длина, ширина и толщина заготовки с учётом припусков, м .

$$V = 1 \cdot 0,1 \cdot 0,01 = 0,001 \text{ м}^3$$

$$Q = 0,001 \cdot 2710 = 2,71, \text{ кг}$$

Рассчитываем технологическую себестоимость детали:

$$S_T = \frac{m_d}{m_z} [C_{\text{заг}} + C_{\text{сн}} (1 - \text{КИМ})], \text{ руб.}$$

где:

S_T – технологическая себестоимость детали, включающая стоимость заготовки и механической обработки, руб.;

m_d – масса детали, кг;

КИМ – коэффициент использования материала;

$C_{\text{заг}}$ – стоимость 1 кг заготовки, руб.;

$C_c = 118 \text{ руб.}$ – стоимость срезания 1 кг стружки при механической обработке в среднем по машиностроению по состоянию на 01.01.16 года по данным «Меттранстерминал».

$C_{\text{сн}}$ – стоимость стружки на изготовление одной детали.

$$C_{\text{сн}} = C_c \cdot Q : m, \text{ руб.}$$

где:

m – количество деталей, изготавливаемых из заготовки.

$$C_{\text{сн}} = 118 \cdot 2,71 : 14 = 22,84 \text{ руб}$$

$$C_{\text{заг}} = a_i \cdot Q_i \cdot m_{bi}, \text{ руб.}$$

где:

a_i – коэффициент относительной 1 кг заготовки, изготовленной выбранным способом;

Q_i – масса заготовки, кг.;

m_{bi} – стоимость одного килограмма заготовки, изготовленной базовым способом, руб.;

$a_i = 1,000$ по таблице А.1 из источника [10];

$m_{bi} = 225$ руб. по данным [11].

$$Q_i = \frac{Q_d}{КИМ}$$

где:

Q_d – масса детали по рабочему чертежу, кг.;

КИМ – коэффициент использования материала для выбранного метода получения заготовки.

$$Q_i = \frac{0,150}{0,6} = 0,25 \text{ кг.}$$

$$C_{заг} = 1,000 \cdot 0,25 \cdot 225 = 56,25 \text{ руб.}$$

$$S_T = \frac{0,150}{0,25} [56,25 + 22,84 \cdot (1 - 0,6)] = 39,23 \text{ руб.}$$

2.3.5 Оценка экономической эффективности заготовки

Сделав расчеты по обоим методам получения заготовки, можно сделать вывод, что заготовка полученная методом сортовой прокат обычной точности экономически выгоднее сортовой прокат высокой точности.

Определение экономического эффекта:

$$\mathcal{E} = S_T^I - S_T^{II} \cdot N, \quad (2.18)$$

$$\mathcal{E} = (S_T^2 - S_T^1) \cdot N, \quad (2.19)$$

где N – годовой объём выпуска.

S_T^1 – себестоимость детали 1,

S_T^2 – себестоимость детали 2.

$$\mathcal{E} = (39,23 - 34,73) \cdot 5200 = 23400 \text{ руб.}$$

Окончательно принимаем первый метод получения заготовки как базовый.

2.4. Технологический маршрута обработки

Таблица 2.6 - Разработанный технологический маршрут

№ Опер.	Наименование операции	Оборудование, приспособления, режущий и измерительный инструмент
005	Отрезная - Отрезать заготовку в размер $90 \pm 0,5$ мм.	Jet HVBS-712K 414459T, зубья - быстрорежущая сталь М42, СОЖ.
010	Слесарная - Удалить заусенцы, притупить острые кромки после отрезки.	Верстак, тиски, напильник.
015	Вертикально-фрезерная с ЧПУ - Фрезеровать плоскость по радиусам, выдерживая размеры $R=22,7 \pm 0,2$ мм, $R=15 \pm 0,2$ мм, $R=7,2 \pm 0,2$ мм, $h=3 \pm 0,1$ мм, $\varnothing=16H14$ мм; - Фрезеровать плоскость, выдерживая размеры $\varnothing 16H14$ мм, $h=5 \pm 0,1$ мм; - Сверлить отв. $\varnothing 9,8H14$ мм; - Сверлить отв. $\varnothing 7,8H14$ мм; - Развернуть отв. $\varnothing 10U9$ мм; - Развернуть отв. $\varnothing 8U9$ мм; - Развернуть отв. $\varnothing 10H7$ мм; - Развернуть отв. $\varnothing 8H7$ мм; - Зенкеровать фаску, выдерживая размер $0,5 \times 45^\circ$ мм.	Вертикально - фрезерный станок с ЧПУ, специальное приспособление, СОЖ.
020	Слесарная - Удалить заусенцы, притупить острые кромки после фрезеровки.	Верстак, тиски, напильник.
025	Вертикально-фрезерная - Фрезеровать контур, выдерживая размеры $R=46 \pm 0,2$ мм, $R=20 \pm 0,2$ мм, $R=1$ мм и $h=9 \pm 0,1$ мм; - Фрезеровать поверхность выдерживая размеры $R=46 \pm 0,2$ мм, $R=20 \pm 0,2$ мм, $R=1$ мм и $h=9 \pm 0,2$ мм; - Фрезеровать фаску, выдерживая размеры $0,5 \times 45^\circ$ мм с обеих сторон.	Вертикально - фрезерный станок с ЧПУ, специальное приспособление, СОЖ.

Продолжение таблицы 2.6 - Разработанный технологический маршрут

030	Слесарная Удалить заусенцы, притупить острые кромки после фрезеровки.	Верстак, тиски, напильник.
035	Сверлильная Позиция 1 - Сверлить сквозное отв. Ø5Н14мм на глубину 10±0,2мм; - Зенкеровать фаску, выдерживая размеры 1×45°мм; - Нарезать резьбу в отв. М5×0,8-6Н. Позиции 2 и 3 аналогичны позиции 1 Позиция 4 - Зенкеровать фаску, выдерживая размеры 1×45°мм; Позиции 5 и 6 аналогичны позиции 4.	1. Универсальный вертикально-сверлильный станок 2Н125, специальное приспособление, тиски, СОЖ.
040	Слесарная - Удалить заусенцы, притупить острые кромки в отверстиях; - Маркировать индекс изделий № детали шрифтом ГОСТ 2.314-63.	Верстак, тиски, напильник, маркер.
045	Контрольная - Проверить деталь согласно требованиям чертежа и техпроцесса; - Оформить приёмку деталей.	Плита.
050	Консервация - Поверхности деталей покрыть тонким слоем АМС-3 ГОСТ 2712—52ГОСТ 20799-75; - Уложить в тару.	Участок.

2.5. Выбор баз

В операции 005 отрезной заготовка базируется по трём плоскостям в тисках и упоре.

На все линейные размеры измерительная и технологическая базы совпадают, поэтому погрешность базирования равна нулю, $\epsilon_{\text{б}}=0\text{мм}$.

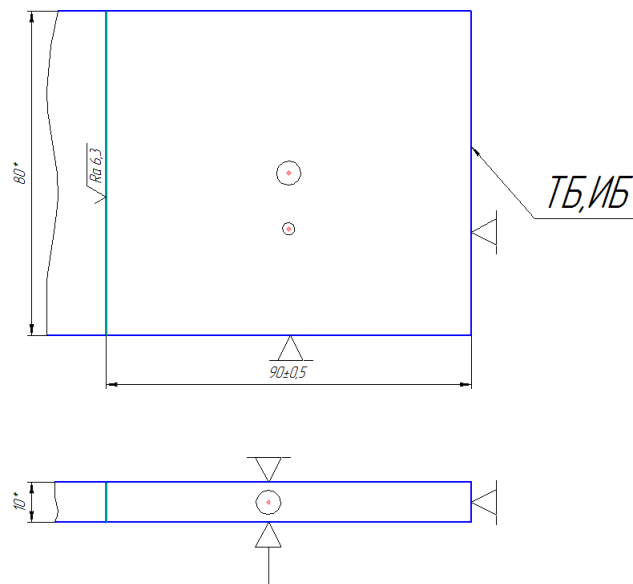


Рисунок 2.7 Схема установки заготовки для 005 операции

В операции 015 вертикально – фрезерной заготовка базируется в специальном приспособлении по трём упорам и трём прижимам.

На все линейные размеры измерительная и технологическая базы совпадают, поэтому погрешность базирования равна нулю, $\varepsilon_6=0$ мм.

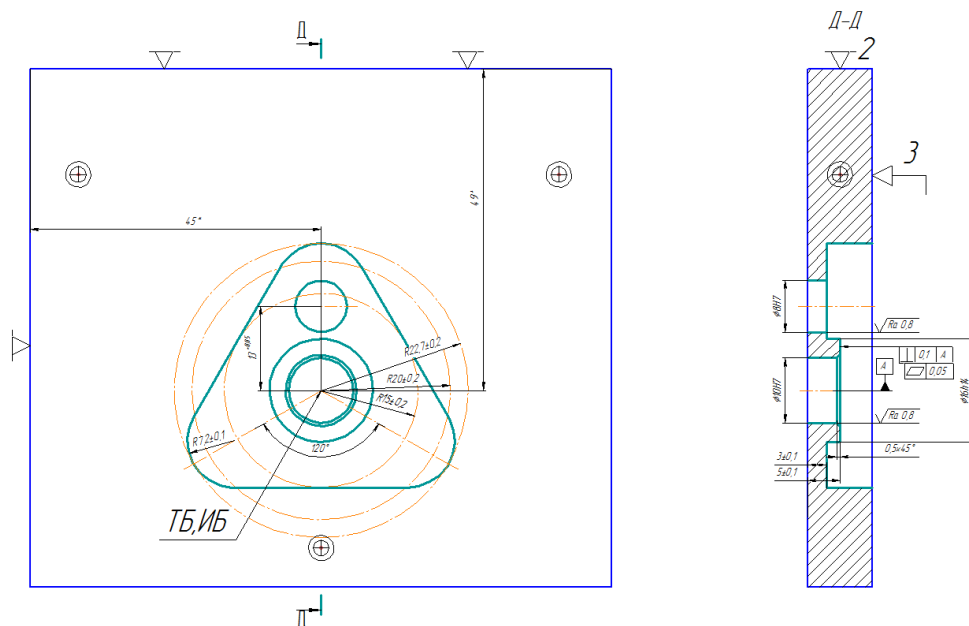


Рисунок 2.8 Схема установки заготовки для 015 операции

В операции 025 вертикально – фрезерной заготовка базируется по плоскости и двум пальцам в специальном приспособлении.

На все линейные размеры измерительная и технологическая базы совпадают, поэтому погрешность базирования равна нулю, $\varepsilon_6=0$ мм.

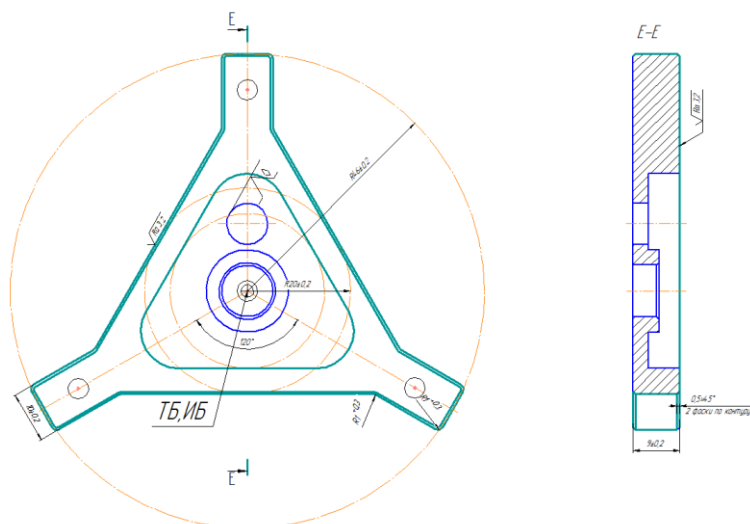


Рисунок 2.9 Схема установки заготовки для 025 операции

В операции 035 сверлильной в позициях 1- 6 - заготовка базируется по плоскости и двум пальцам в специальном приспособлении.

На все линейные размеры измерительная и технологическая базы совпадают, поэтому погрешность базирования равна нулю, $\varepsilon_6=0\text{мм}$.

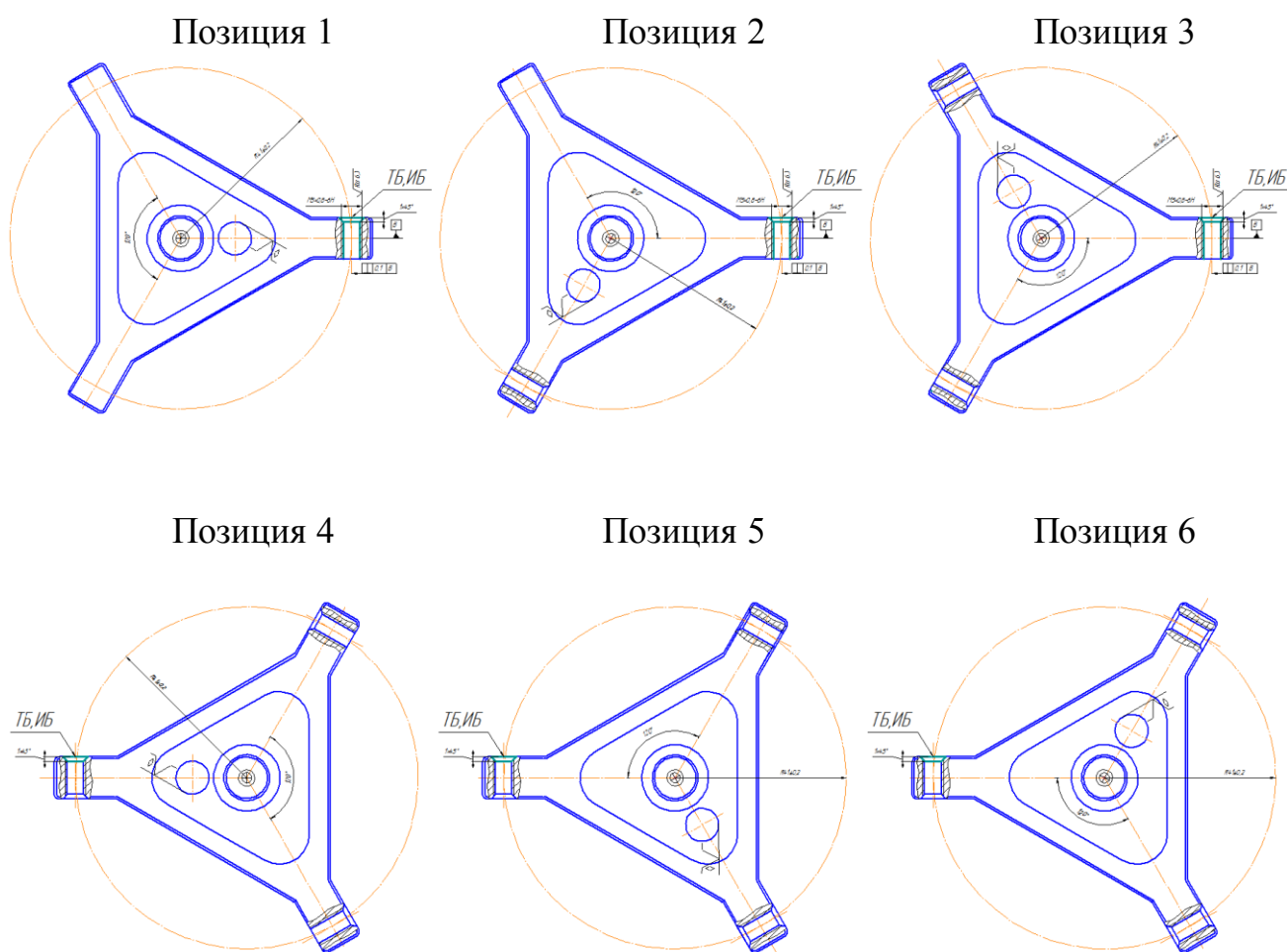


Рисунок 2.10 Схема установки заготовки для 030 операции

2.6. Выбор средств технологического оснащения

2.6.1 Выбор технологического оборудования

Технологическое оборудование выбираем в соответствии с технологическим маршрутом и серийностью производства.

Для операции 005 выбираем ленточнопильный станок по металлу модели Jet HVBS-712K 414459T, технические характеристики приведены в таблице 2.7. Выбираем модели станка исходя их размеров заготовки.

Таблица 2.7 - Технические характеристики Jet HVBS-712K

Основные параметры	Jet HVBS-712K 414459T
Длина пильной ленты, мм.	2362
Мощность, Вт.	1400
Напряжение, В.	380
Скорость движения ленты, м/мин.	72
Объём бака для СОЖ, л.	8
Число скоростей	4
Мах диаметр заготовки 45°, мм.	110
Мах размер прямоугольной заготовки 90°/45°, мм.	180x180;65x300/180x110
Угол поворота тисков, град.	0-45
Диаметр шкивов, мм.	300
Мощность насоса подачи СОЖ, кВт.	0.1
Вес, кг.	145
Габариты, мм.	1260x520x970

Для операции 015 и 025 выбираем обрабатывающий центр DMC 635 V ecoline, технические характеристики приведены в таблице 5.1.2. Выбор данной модели станка обусловлено выбором операции, размерам оборудования под размер заготовки, соответствует по точности, число мест для инструментов в магазине хватает для выполнения данных операций.

Таблица 2.8 - Технические характеристики DMC 635 V ecoline.

Рабочая зона		
Ход (X / Y / Z)	мм	635 / 510 / 460
Рабочий шпиндель		
Диапазон скорости вращения, макс..	об/мин	12.000
Мощность привода (40 / 100 % ED)	кВт	13 / 9

Продолжение таблицы 2.8 - Технические характеристики DMC 635 V ecoline.

Крутящий момент (40 / 100 % ED)	Нм	83 / 57
Ускоренный ход (X / Y / Z)	м/мин	30
Усилие подачи, макс.	кН	5
Скорость подачи	м/мин	24
Точность позиционирования		
ISO 230-2 (системы прямого/непрямого измерения перемещений)	мм	0,016 / 0,006
ISO 230-2 для осей В- и С- (система прямого измерения перемещений)	Угол, с	—
Рмакс. JIS B6330-1980 (системы прямого/непрямого измерения перемещений)	мм	0,008 / 0,004
ОСИ В- / С-		
Диапазон наклона оси В	град	—
Зажим		—
Ускоренный ход	град/мин	—
Инструментальный магазин / устройство смены инструмента		
Число инструментов		30
Вес инструментов, макс.	кг	6
Длина инструмента, макс.	мм	300
Диаметр инструмента, макс.	мм	ø 80
Диаметр инструмента при свободных соседних местах, макс.	мм	ø 130
Время крепления инструмента	с	5
Инструментальный магазин на 16 позиций: время смены инструмента поз. 1–2 / поз. 1-9	с	—
Инструментальный магазин на 30/32 позиции: время смены инструмента	с	—
Исполнение стола		
Поверхность зажима с Т - образными пазами	мм	790 × 560
Высота загрузки (верхний край стола)	мм	720

Продолжение таблицы 2.8 - Технические характеристики DMC 635 V ecoline.

Нагрузка стола (суммарный вес)	кг	600
Системы управления		
DMG MORI SLIMline® с Operate 4.5 на SIEMENS 840D solutionline		
DMG MORI SLIMline® с HEIDENHAIN TNC 620		

Для операций 035 выбираем универсальный вертикально-сверлильный станок 2H125, технические характеристики приведены в таблице 2.9. Выбор данной модели станка обусловлено выбором операции, размерам оборудования под размер заготовки, соответствует по точности.

Таблица 2.9 - Технические характеристики универсального вертикально-сверлильного станка 2H125

Класс точности	Н
Наибольший диаметр сверления в стали 45 ГОСТ 1050-74, мм.	25
Размеры конуса шпинделя по ГОСТ 25557-82 Морзе 3	Морзе 3
Расстояние от оси шпинделя до направляющих колонны, мм	250
Наибольший ход шпинделя, мм	200
Расстояние от торца шпинделя, мм: до стола до плиты	60-700 690-1060
Наибольшее (установочное) перемещение сверлильной головки, мм	170
Перемещение шпинделя за один оборот штурвала, мм	122.46
Рабочая поверхность стола, мм.	400×450
Наибольший ход стола, мм	270
Установочный размер Т - образных пазов в столе по ГОСТ 1574-75: - центрального - крайних	14Н9 14Н11
Расстояние между двумя Т-образными пазами по ГОСТ 6569-75, мм	80
Количество скоростей	12

Продолжение таблицы 2.9 - Технические характеристики универсального вертикально-сверлильного станка 2Н125

Пределы частоты вращения шпинделя, 1/мин	45-2000
Количество подач	9
Пределы подач, мм/об	0.1-1.6
Наибольшее количество нарезаемых отверстий в час	60
Габаритные размеры, мм: - высота - ширина - длина	2350 785 915
Масса станка, кг	880

2.6.2. Выбор технологической оснастки.

Таблица 2.10 - Технологическая оснастка

Операция	Наименование операции	Рабочий инструмент, вспомогательная оснастка, мерительный инструмент, приспособления, средства защиты
005	Отрезная	Инструмент: - Биметаллическое ленточное полотно М42, 20 х 0.9 х 2362мм, 5/8 ТРІ, ГОСТ Р53924-2010. Измерительный инструмент: - штангенциркуль ШЦ-II-125-0,05 ГОСТ 166. Средства защиты: - костюм хлопчатобумажный ГОСТ 12.4.109.
010	Слесарная	Инструмент: - напильник 2820–0026 ГОСТ 1465–80. Оснастка: - слесарный верстак ГОСТ 16371–93; - тиски слесарные с ручным приводом ГОСТ 4045–75. Средства защиты: - очки защитные открытые ЗП1–80–У; - костюм хлопчатобумажный ГОСТ 12.4.109.

Продолжение таблицы 2.10 - Технологическая оснастка

015	Вертикально-фрезерная с ЧПУ	Инструмент: - сверло CoroDrill® Delta-C R850-0580-30-A1A; - сверло CoroDrill® Delta-C R850-0780-30-A1A; - развёртка CoroReamer™ 435.T-0597-A1-XF H10F; - развёртка CoroReamer™ 435.B-0600-A1-XF H10F; - развёртка CoroReamer™ 435.B-0797-A1-XF H10F; - развёртка CoroReamer™ 435.B-0800-A1-XF H10F; - концевая фреза CoroMill®Plura R215.86-03000-AC05G 1620 для обработки фасок; - концевая фреза CoroMill®Plura R216.34-06045-AC13N; - переходник от ISO 7388-1 к Coromant Capto® C3-390.140-30 030 - 8 шт.; - переходник от Coromant Capto® к цанговому патрону ER 8C3-391.14-20 045 - 8 шт.; - цанга ER 393.14-16 0600 - 8 шт.; Измерительный инструмент: - штангенглубиномер ШГ-630-0,05 ГОСТ 162; - калибр 10H7 ГОСТ 24853–81; - калибр 8H7 ГОСТ 24853–81. - шаблон фасонный сложного профиля ГОСТ 2534-77. Средства защиты: - очки защитные открытые ЗП1–80–У; - костюм хлопчатобумажный ГОСТ 12.4.109.
020	Слесарная	Инструмент: - многоцелевая шлифмашина DREMEL® 200 Series (200-5); - Dremel Шлифовальный камень из карбида кремния 4,8 мм (84922) ГОСТ 21445-84; - напильник 2820–0026 ГОСТ 1465–80. Оснастка: - слесарный верстак ГОСТ 16371–93; - тиски слесарные с ручным приводом

Продолжение таблицы 2.10 - Технологическая оснастка

		ГОСТ 4045–75. Средства защиты: - очки защитные открытые ЗП1–80–У; - костюм хлопчатобумажный ГОСТ 12.4.109.
025	Вертикально–фрезерная с ЧПУ	Инструмент: - концевая фреза CoroMill®Plura R216.34-06045-AC13N; - торцевая фреза CoroMill®345-040C4-13L; - фреза угловая двухсторонняя 2292–0004 ГОСТ Р 50181–92; - переходник от ISO 7388-1 к Coromant Capto® C3-390.140-30 030 - 3 шт.;; - переходник от Coromant Capto® к цанговому патрону ER 8C3-391.14-20 045; - цанга ER 393.14-16 0600 - оправка Cx-391.10 Sandvik Coromant C3-391.10-16 020; Измерительный инструмент: - штангенциркуль ШЦЦ–1–125–0,01 ГОСТ 166-89; - угломер типа 1–2 ГОСТ 5378–88; - шаблон фасонный сложного профиля ГОСТ 2534-77; - микрометр МК 50-1 ГОСТ 6507-90. Средства защиты: - очки защитные открытые ЗП1–80–У; - костюм хлопчатобумажный ГОСТ 12.4.109.
030	Слесарная	Инструмент: - напильник 2820–0026 ГОСТ 1465–80. Оснастка: - слесарный верстак ГОСТ 16371–93; - тиски слесарные с ручным приводом ГОСТ 4045–75. Средства защиты: - очки защитные открытые ЗП1–80–У; - костюм хлопчатобумажный ГОСТ 12.4.109.

Продолжение таблицы 2.10 - Технологическая оснастка

035	Сверлильная	Инструмент: - сверло CoroDrill® Delta-C R850-0500-30-A1A - концевая фреза CoroMill® Plura R215.86-03000-AC05G 1620 для обработки фасок; - Фреза для нарезания резьбы CoroMill® Plura R217.13-041080AC11N; - оправка 6222–086 ГОСТ 26541–85; - патрон 930-Сх-Р Sandvik Coromant. - калибр резьбовой М5×0,8-6Н ГОСТ 2016-86 - Индикатор ИЧ 50 ГОСТ 577-68. Средства защиты: - очки защитные открытые ЗП1–80–У; - костюм хлопчатобумажный ГОСТ 12.4.109.
040	Слесарная	Инструмент: - напильник 2820–0026 ГОСТ 1465–80. Оснастка: - слесарный верстак ГОСТ 16371–93; - тиски слесарные с ручным приводом ГОСТ 4045–75. Средства защиты: - очки защитные открытые ЗП1–80–У; - костюм хлопчатобумажный ГОСТ 12.4.109.
045	Контрольная	Оснастка: - плита 1-1-250x250 ГОСТ 10905-86 Измерительный инструмент: - калибр резьбовой М5×0,8-6Н ГОСТ 2016-86 - Индикатор ИЧ 50 ГОСТ 577-68. - штангенциркуль ШЦЦ–1–125–0,01 ГОСТ 166-89; - угломер типа 1–2 ГОСТ 5378–88; - 2 шаблона фасонного сложного профиля ГОСТ 2534-77; - микрометр МК 50-1 ГОСТ 6507-90. - калибр 10Н7 ГОСТ 24853–81; - калибр 8Н7 ГОСТ 24853–81.

Продолжение таблицы 2.10 - Технологическая оснастка

050	Консервация	Оснастка: - АМС-3 ГОСТ 2712—52ГОСТ 20799-75; - Тара производственная ГОСТ 14861-86; Средства защиты: - Перчатки резиновые, технические ГОСТ 20010-93; - костюм хлопчатобумажный ГОСТ 12.4.109.
-----	-------------	--

СОЖ фирмы RATAK 6210 R применяется на 005, 015, 025, 035 операциях обработки каретки экструдера. Для остальных операций СОЖ не требуется.

2.7 Расчёт припусков

Определяем припуски по таблице [12]. Расчет припусков для отверстий Ø 10H7мм и Ø 8H7мм приведены в таблицах 2.11 и 2.12.

Таблица 2.11 - Расчет припусков для отверстия Ø 10H7

Технологический переход обработки поверхности	Элементы припуска, мкм				Мин. припуск 2Z _{min} , мкм	Расчётный размер,	Допуск TD, мм	Предельные размеры, мм		Предельные значения припусков, мкм	
	Rz	h	□ □	□				min	max	2Z _{min}	2Z _{max}
IT14	25	40	150	0	2x0	9,512	0,36	9,15	9,51	10	1550
IT9	3,2	20	6	0	2x21 5	9,942	0,036	9,906	9,942	432	756
IT7	1,6	20	1	0	2x29	10	0,015	9,985	10	58	79
	Z _{max} = 2385 мкм										
	Z _{min} = 500 мкм										
	Z _{max} - Z _{min} = 1885 мкм										
	Td _{заг} = 1900 мкм										
	Td _{дет} = 15 мкм										
	Td _{заг} - Td _{дет} = 1885 мкм										

Таблица 2.12 - Расчет припусков для отверстия Ø 8H7мм

Технологический переход обработки поверхности	Элементы припуска, мкм				Мин. припуск 2Z _{min} , мкм	Расчётный размер,	Допуск TD, мм	Предельные размеры, мм		Предельные значения припусков, мкм	
	Rz	h	☐	☐				min	max	2Z _{min}	2Z _{max}
IT14	25	40	150	0	2x0	7,512	0,36	7,15	7,51	10	1550
IT9	3,2	20	6	0	2x21 5	7,942	0,036	7,906	7,942	432	756
IT7	1,6	20	1	0	2x29	8	0,015	7,985	8	58	79
	Z _{max} = 2385 мкм										
	Z _{min} = 500 мкм										
	Z _{max} - Z _{min} = 1885 мкм										
	Td _{заг} = 1900 мкм										
	Td _{дет} = 15 мкм										
	Td _{заг} - Td _{дет} = 1885 мкм										

2.8 Расчет режимов резания

Режимы резания для обработки плиты назначаются по общемашиностроительным нормативам режимов резания [11]. Для инструментов фирмы Sandvik Coromant режимы назначаются по данным, приведённым в каталоге Sandvik Coromant.

Расчет основного технологического времени для фрезерования торцевой фрезой рассчитывается по формуле (2.20).

$$T_o = \frac{l_o + l_{вр} + l_{пер}}{S_M} \cdot i, \quad (2.20)$$

где l_o – длина обрабатываемой поверхности, мм;

$l_{вр}$ – длина врезания, мм;

$l_{пер}$ – длина перебега, мм;

S_M – минутная подача, мм/мин.

$$l_{вр} = \sqrt{t \cdot (D_\phi - t)} + (0,5 - 3) \text{ мм}, \quad (2.21)$$

где D_ϕ – диаметр фрезы, мм;

t – глубина резания, мм.

$$l_{\text{пер}} = (2 - 5), \text{ мм.}$$

Расчет длины врезания концевой фрезой рассчитывается по формуле (2.22).

$$l_{\text{вп}} = 0,5 \cdot D_{\phi} + (0,5 - 1) \text{ мм}; \quad (2.22)$$

$$l_{\text{пер}} = 2 \text{ мм.}$$

Расчет основного технологического времени для сверления, развертывания рассчитывается по формуле (2.23).

$$T_o = \frac{l_o + l_{\text{вп}} + l_{\text{пер}}}{S_M \cdot n}, \quad (2.23)$$

где n – частота вращения шпинделя, об/мин.

$$l_{\text{вп}} = 0,5 \cdot D_{\text{св}} - l_n \cdot \text{ctg} + (0,5 - 1) \text{ мм}; \quad (2.24)$$

где $D_{\text{св}}$ – диаметр сверла, мм;

$l_{\text{пер}}$ – длина перемычки, мм;

ϕ – главный угол в плане инструмента

Для развертывания

$$l_o = \frac{D - d}{2 \cdot \text{tg} \phi}, \quad (2.25)$$

$$l_{\text{вп}} = (2 - 5) \text{ мм},$$

$$l_{\text{пер}} = 0.$$

Расчет основного технологического времени для фрезерования дисковыми двухугольными симметричными фрезами по формуле (2.26).

$$T_o = \frac{l_o + l_{\text{вп}} + l_{\text{пер}}}{S_M} \cdot i, \quad (2.26)$$

$$l_{\text{вп}} = \sqrt{h \cdot (D_{\phi} - h)} + (1 - 2), \quad (2.27)$$

где h – высота скосов, мм.

Назначение режимов резания обработки каретки экструдера представлены в таблицах 2.13.

Таблица 2.13 – Режимы резания

№ операции	Инструмент	Режимы резания
005 Отрезная	Ленточная пила с зубьями из быстрорежущей стали М42.	1) $t=80$ мм, $V=45$ м/мин, $B=10$ мм, $S_M=186$ м/мин, $T_o=0,47$ мин
015 Вертикально–фрезерная	Сверло CoroDrill® Delta-C R850-0580-30-A1A	Глубина резания $t=5$ мм. Подача $S_Z=0,202$ мм/об. Скорость резания $V=117$ м/мин.

Продолжение таблицы 2.13 – Режимы резания

015 Вертикально–фрезерная		Число оборотов шпинделя $n=3800$ об/мин. Сила резания $P_z=204$ Н. Мощность резания $N=0,893$ кВт. Крутящий момент $M_{кр}=0,783$ Н·м Основное время $T_o= 00:00,371$с.
	Сверло CoroDrill® Delta-C R850-0780-30-A1A	Глубина резания $t=3,9$ мм. Подача $S_z=0,262$ мм/об. Скорость резания $V=96$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n=3920$ об/мин. Сила резания $P_z=324$ Н. Мощность резания $N=1,42$ кВт. Крутящий момент $M_{кр}=1,65$ Н·м Основное время $T_o= 00:00,389$с.
	Развёртка CoroReamer™ 435.T-0597-A1-XF H10F	Глубина резания $t=0,075$ мм. Подача $S_z=0,153$ мм/об. Скорость резания $V=12$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n=384$ об/мин. Сила резания $P_z=77$ Н. Мощность резания $N=0,567$ кВт. Крутящий момент $M_{кр}=0,905$ Н·м Основное время $T_o= 00:00,406$с.
	Развёртка CoroReamer™ 435.B-0600-A1-XF H10F	Глубина резания $t=0,075$мм. Подача $S_z=0,149$ мм/об.

Продолжение таблицы 2.13 – Режимы резания

015 Вертикально–фрезерная		Скорость резания $V=12$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n=481$ об/мин. Сила резания $P_z= 89$Н. Мощность резания $N=0,537$ кВт. Крутящий момент $M_{кр}=1,2$ Н·м Основное время $T_o= 00:00,406$с.
	Развёртка CoroReamer™ 435.B-0797-A1-XF H10F	Глубина резания $t=0,05$ мм. Подача $S_z=0,100$ мм/об. Скорость резания $V=6$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n=456$ об/мин. Сила резания $P_z=65$ Н. Мощность резания $N=0,415$ кВт. Крутящий момент $M_{кр}=0,978$ Н·м Основное время $T_o= 00:00,406$с.
	Развёртка CoroReamer™ 435.B-0800-A1-XF H10F	Глубина резания $t=0,05$мм. Подача $S_z=0,100$ мм/об. Скорость резания $V=6$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n=239$ об/мин. Сила резания $P_z=65$ Н. Мощность резания $N=0,465$ кВт. Крутящий момент $M_{кр}=1,32$ Н·м Основное время $T_o= 00:00,406$с.
	Концевая фреза CoroMill®Plura R216.34- 06045-AC13N	Глубина резания $t=3$ мм. Подача $S_z=0,141$ мм/об. Скорость резания $V=64$ м/мин.

Продолжение таблицы 2.13 – Режимы резания

015 Вертикально–фрезерная		Число оборотов шпинделя $n = 3400$ об/мин. Мощность резания $N = 2,39$ кВт. Крутящий момент $M_{кр} = 1,7$ Н·м Основное время $T_o = 00:48,502$с.
	Концевая фреза CoroMill®Plura R215.86-03000-AC05G 1620 для обработки фасок	Глубина резания $t = 0,5$ мм. Подача $S_z = 0,170$ мм/об. Скорость резания $V = 81,5$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n = 2360$ об/мин. Сила резания $P_z = 115$ Н. Мощность резания $N = 0,893$ кВт. Крутящий момент $M_{кр} = 0,783$ Н·м Основное время $T_o = 00:00,040$с.
025 Вертикально–фрезерная	Концевая фреза CoroMill®Plura R216.34-06045-AC13N	Глубина резания $t = 3$ мм. Подача $S_z = 0,141$ мм/об. Скорость резания $V = 64$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n = 3400$ об/мин. Мощность резания $N = 2,39$ кВт. Крутящий момент $M_{кр} = 1,7$ Н·м Основное время $T_o = 00:24,540$с.
	Торцевая фреза CoroMill®345-040C4-13L	Глубина резания $t = 3$ мм. Подача $S_z = 0,141$ мм/об. Скорость резания $V = 64$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n = 3400$

Продолжение таблицы 2.13 – Режимы резания

025 Вертикально–фрезерная		об/мин. Мощность резания $N=2,39$ кВт. Крутящий момент $M_{кр}=1,7$ Н·м Основное время $T_o=00:24,540$ с.
	Торцевая фреза CoroMill®345-040C4-13L	Глубина резания $t=0,5$ мм. Подача $S_z=0,257$ мм/об. Скорость резания $V=390$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n=3100$ об/мин. Мощность резания $N=0,573$ кВт. Крутящий момент $M_{кр}=1,1$ Н·м Основное время $T_o=00:04,740$ с.
	Фреза угловая двухсторонняя 2292–0004 ГОСТ Р 50181–92	Глубина резания $t=0,5$ мм. Подача $S_z=0,25$ мм/об. Скорость резания $V=136$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n=3600$ об/мин. Мощность резания $N=0,617$ кВт. Основное время $T_o=00:01,482$ с.
	Сверло CoroDrill® Delta-C R850-0500-30-A1A	Глубина резания $t=2,5$ мм. Подача $S_z=0,180$ мм/об. Скорость резания $V=28,26$ м/мин. Число оборотов шпинделя $n=1800$ об/мин. Мощность резания $N=2,3$ кВт.

Продолжение таблицы 2.13 – Режимы резания

030 Сверлильная		N=2,3кВт. Основное время То=0,6 мин.
	Концевая фреза CoroMill®Plura R215.86-03000-AC05G 1620 для обработки фасок	Глубина резания t=0,5 мм. Подача S _z =0,170 мм/об. Скорость резания V=75,4 м/мин. Число оборотов шпинделя n=2000 об/мин. Сила резания P _z =115 Н. Мощность резания N=0,893 кВт. Крутящий момент M _{кр} =0,783 Н·м Основное время То= 0,05 мин.
	Фреза для нарезания резьбы CoroMill® Plura R217.13-041080AC11N	Глубина резания t= 0,5 мм. Подача S _z = 0,16 мм/зуб. Скорость резания V= 28,2м/мин. Число оборотов шпинделя n= 1800 об/мин. Крутящий момент M _{кр} = 71 Н·м. Мощность резания N= 2,2 кВт. Основное время То= 0,1 мин.

2.9. Нормирование технологического процесса механической обработки

Результаты нормирования приведены на основе литературы [10,11] и приведены в таблице 2.14

Таблица 2.14 – Нормирование технологического процесса

№ операции	Наименование операции и содержание работы	Карта	Время, мин.
005	Отрезная		
	Время на установку и снятие детали	9	0,23
	Время на контрольные измерения	87	0,16
	Время на операцию	85	0,50
	Время на отдых и личные надобности	89	4
	Время на обслуживание рабочего места	85	5,5
	Время подготовительно-заключительное	85	9
015	Вертикально-фрезерная с ЧПУ		
	Время на установку и снятие детали	10	0,36
	Время на контрольные измерения	87	0,73
	Время, связанное с переходом	33	0,27
	Время, связанное с переходом не вошедшее в комплекс	33	0,53
	Время на отдых и личные надобности	89	4
	Время на обслуживание рабочего места	34	3
	Время подготовительно-заключительное	34	13
025	Вертикально-фрезерная с ЧПУ		
	Время на установку и снятие детали	16	0,26
	Время на контрольные измерения	87	0,62
	Время, связанное с переходом	33	0,24
	Время, связанное с переходом не вошедшее в комплекс	33	1, 49
	Время на отдых и личные надобности	89	4
	Время на обслуживание рабочего места	34	3
	Время подготовительно-заключительное	34	13
035	Сверлильная		
	Время на установку и снятие детали	12	0,14
	Время на контрольные измерения	87	0,59
	Время, связанное с переходом	29	3,06
	Время, связанное с переходом не вошедшее в комплек	29	3,293
	Время на отдых и личные надобности	89	4
	Время на обслуживание рабочего места	30	12
	Время подготовительно-заключительное	30	7

3.1 Расчет объема капитальных вложений

3.1.1 Стоимость технологического оборудования

Стоимость технологического оборудования ($K_{то}$) представляет собой сумму произведения количества оборудования и его цены по всем операциям технологического процесса рассчитывается по формуле (3.1).

$$K_{то} = \sum_{i=1}^m Q_i \cdot C_i . \quad (3.1)$$

где m – количество операций технологического процесса изготовления изделий;

Q_i – принятое количество единиц оборудования, занятого выполнением i -ой операции;

C_i – балансовая стоимость единицы оборудования, занятого выполнением i -ой операции.

Таблица 3.1 – Стоимость технологического оборудования

№ операции	Модель станка	C_i , руб.	Q_i , шт.	$K_{тоi}$, руб.
1	2	3	4	5
035	2H125	60000	1	60000
005	Jet HVBS-712K 414459T	88000	1	88000
015,025	DMC 635 vecoline.	4000000	1	4000000
Всего:				4148000

3.1.2 Стоимость вспомогательного оборудования

Стоимость вспомогательного оборудования ($K_{во}$) определим приближенно – 30% от стоимости технологического оборудования.

$$K_{во} = K_{то} \cdot 0,30. \quad (3.2)$$

$$K_{во} = 4148000 \cdot 0,30 = 1244400 \text{ руб}$$

3.1.3 Стоимость инструментов, приспособлений и инвентаря

Стоимость инструментов и инвентаря ($K_{ин}$) по предприятию может быть установлена приближенно в размере 10-15% от стоимости технологического оборудования.

$$K_{ин} = K_{то} \cdot 0,15, \text{руб.} \quad (3.3)$$

$$K_{ин} = 4148000 \cdot 0,15 = 622200 \text{ руб}$$

3.1.4 Стоимость эксплуатируемых помещений

Стоимость эксплуатационных помещений может быть рассчитана при владении собственным помещением.

$$C'_n = C_{пп} + C_{вп}. \quad (3.4)$$

где $C_{пп}$ – балансовая стоимость производственных (основных) помещений;

$C_{вп}$ – балансовая стоимость вспомогательных помещений.

$$C'_n = 500000 + 300000 = 800000 \text{ руб.}$$

3.1.5 Стоимость оборотных средств в производственных запасах, сырья и материалов

Данные средства рассчитываются по формуле (4.5).

$$K_{пзм} = \frac{H_{\text{м}} \cdot N \cdot C_{\text{м}}}{360} \cdot T_{\text{обм}}, \quad (3.5)$$

где $H_{\text{м}}$ – норма расхода материала, кг/ед;

N – годовой объем производства продукции, шт;

$C_{\text{м}}$ – цена материала, руб./кг;

$T_{\text{обм}}$ – продолжительность оборота запаса материалов (квартал, полугодие, определенный период) в днях.

$$K_{пзм} = \frac{0,06 \cdot 780 \cdot 321}{360} \cdot 75 = 3129 \text{ руб}$$

3.1.6 Оборотные средства в незавершенном производстве

Стоимость незавершенного производства ($K_{нзп}$) может быть установлена из формулы (4.6).

$$K_{нзп} = \frac{N \cdot T_{\text{ц}} \cdot C' \cdot k_{\text{г}}}{360}, \quad (3.6)$$

$$K_{нзп} = \frac{780 \cdot 150 \cdot 22,658 \cdot 0,925}{360} = 6811,56 \text{ руб}$$

где $T_{\text{ц}}$ – длительность производственного цикла, дни;

C' – себестоимость единицы готовой продукции на стадии предварительных расчетов, руб.;

$k_{\text{г}}$ – коэффициент готовности.

Себестоимость единицы готовой продукции на стадии предварительных расчетов определяется по формуле (4.7).

$$C' = \frac{H_{\text{м}} \cdot C_{\text{м}}}{k_{\text{м}}}, \quad (3.7)$$

где $k_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий удельный вес стоимости основных материалов в себестоимости изделия ($k_{\text{м}} = 0,8 \div 0,85$).

$$C' = \frac{0,06 \cdot 321}{0,85} = 22,658 \text{ руб.}$$

Коэффициент готовности рассчитывается по формуле (4.8).

$$k_z = (k_m + 1) \cdot 0,5. \quad (3.8)$$

$$k_z = (0,85 + 1) \cdot 0,5 = 0,925 \text{ руб.}$$

3.1.7 Оборотные средства в запасах готовой продукции

Стоимость запаса готовой продукции определяется по формуле (3.9).

$$K_{zn} = \frac{C' \cdot N}{360} \cdot T_{zn}. \quad (3.9)$$

где T_{zn} – продолжительность оборота готовой продукции на складе в днях

$$K_{zn} = \frac{22,658 \cdot 780}{360} \cdot 75 = 3681,93 \text{ руб}$$

3.1.8 Оборотные средства в дебиторской задолженности

Дебиторская задолженность определяется по формуле (3.10).

$$K_{dz} = \frac{B_{pn}}{360} \cdot T_{dz}, \quad (3.10)$$

где B_{pn} – выручка от реализации продукции на стадии предварительных расчетов, руб.;

T_{dz} – продолжительность дебиторской задолженности ($T_{dz} = 7 \div 40$), дней.

$$K_{dz} = \frac{21207,88}{360} \cdot 20 = 1178,22 \text{ руб}$$

Выручка от реализации продукции на данном этапе расчета устанавливается по формуле (4.11).

$$B_{pn} = C' \cdot N(1 + p/100). \quad (3.11)$$

где p – рентабельность продукции ($p = 15 \div 20\%$).

$$B_{pn} = 22,658 \cdot 780 \cdot (1 + 20/100) = 21207,88 \text{ руб}$$

3.1.9 Денежные оборотные средства

Сумма денежных средств, приближенно можно принять 10% от суммы материальных оборотных средств, вычисляется по формуле (3.12)

$$C_{обс} = K_{нзм} \cdot 0,10. \quad (3.12)$$

$$C_{обс} = 6811,56 \cdot 0,10 = 681,16 \text{ руб}$$

3.2 Определение сметы затрат на производство и реализацию продукции

3.2.1 Основные материалы за вычетом реализуемых отходов

Затраты на основные материалы (C_m) рассчитываются по формуле (3.13).

$$C_{\text{м}} = N \cdot (C_{\text{м}} \cdot H_{\text{м}} \cdot K_{\text{тзр}} - C_{\text{о}} \cdot H_{\text{о}}), \quad (3.13)$$

где $K_{\text{тзр}}$ – коэффициент транспортно-заготовительных расходов ($K_{\text{тзр}}=1,04$);

$C_{\text{о}}$ – цена возвратных отходов руб/кг;

$H_{\text{о}}$ – норма возвратных отходов кг/шт.

Норма возвратных отходов определяется по формуле (3.14).

$$H_{\text{о}} = m_{\text{з}} - m_{\text{о}}, \quad (3.14)$$

$$H_{\text{о}} = 0,225 - 0,150 = 0,075$$

где $m_{\text{з}}$ – масса заготовки, кг;

$m_{\text{о}}$ – масса изделия, кг.

$$C_{\text{м}} = 780 \cdot (321 \cdot 0,06 \cdot 1,04 - 280 \cdot 0,075) = 756,29 \text{ руб}$$

3.2.2 Расчет заработной платы производственных работников

Заработная плата рассчитывается по формуле (3.15).

$$C_{\text{зо}} = \sum_{i=1}^m \frac{t_{\text{шт}i} \cdot C_{\text{час}j}}{60} \cdot k_{\text{н}} \cdot k_{\text{р}} \cdot N. \quad (3.15)$$

где m – количество операций технологического процесса;

$t_{\text{шт}i}$ – норма времени на выполнение i -ой операции, мин/ед;

$C_{\text{час}j}$ – часовая ставка j -го разряда, руб./час;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий премии и доплаты ($k_{\text{н}} \approx 1,5$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент ($k_{\text{р}}=1,3$).

Заработная плата фрезеровщика 4-ого разряда:

$$K_{\text{зо}} = 2 \cdot \frac{9,56 \cdot 300}{60} \cdot 1,5 \cdot 1,3 \cdot 780 = 145407 \text{ руб}$$

Заработная плата сверловщика 3-его разряда:

$$K_{\text{зо}} = 1 \cdot \frac{6,32 \cdot 150}{60} \cdot 1,5 \cdot 1,3 \cdot 780 = 24032 \text{ руб}$$

Заработная плата оператора 3-его разряда:

$$K_{\text{зо}} = 2 \cdot \frac{5 \cdot 500}{60} \cdot 1,5 \cdot 1,3 \cdot 780 = 126750 \text{ руб}$$

Заработная плата пыльника ленточно-отрезного станка 3-его разряда:

$$K_{\text{зо}} = 1 \cdot \frac{2 \cdot 100}{60} \cdot 1,5 \cdot 1,3 \cdot 780 = 5070 \text{ руб}$$

Заработная плата слесаря 2-ого разряда:

$$K_{\text{зо}} = 4 \cdot \frac{10 \cdot 100}{60} \cdot 1,5 \cdot 1,3 \cdot 780 = 101400 \text{ руб}$$

Таблица 3.2 - Расчёт фонда заработной платы [14]

Профессия рабочего	$T_{шт},$ мин	Разряд	Количество	$C_{час},$ руб.	$C_{зд},$ руб
1	2	3	4	5	6
Фрезеровщик	9,56	4	1	300	145407
Сверлильщик	6,32	3	1	150	24032
Слесарь	10	2	1	100	101400
Оператор	5	3	1	500	126750
Пильщик ленточно-отрезного станка	2	3	1	100	5070
Фонд заработной платы всех рабочих					402659

3.2.3 Отчисления на социальные нужды по заработной плате основных производственных рабочих

Отчисление на социальные нужды рассчитывается по формуле (3.16).

$$C_{осо} = C_{зо} \cdot (\alpha_1 + \alpha_2). \quad (3.16)$$

где α_1 - обязательные социальные отчисления ($\alpha_1 = 0,3$), руб/год

α_2 - социально страхование по проф. заболеваниям и несчастным случаям ($\alpha_2 = 0 \div 1,7$), руб/год.

$$C_{осо} = 402659 \cdot (0,3 + 1,7) = 805318, \text{ руб}$$

3.2.4 Годовые амортизационные отчисления начисляются

В расчетах выпускной работы целесообразно определить годовую норму амортизации каждого оборудования, по следующей схеме используя линейный метод рассчитывается по формуле (3.17).

$$a_{ni} = \frac{1}{T_o} \cdot 100\%. \quad (3.17)$$

где T_o – срок службы оборудования ($T_o = 3 \div 12$ лет).

Сумма амортизации определяется по формуле (3.18).

$$A = \sum_{i=1}^n C_i \cdot a_{ni}, \quad (3.18)$$

Списание стоимости происходит равномерно и к концу срока использования достигается нулевая балансовая стоимость.

При небольшом объеме производства и неполной загрузки оборудования (оборудование загружено еще производством других видов продукции) необходим расчет амортизационных отчислений, приходящихся на 1 час работы оборудования рассчитывается по формуле (3.19).

$$A_q = \sum_{i=1}^n \frac{Ц_i \cdot a_{ni}}{F_o \cdot K_{вpi}}. \quad (3.19)$$

где n – количество оборудования;

$K_{вpi}$ – коэффициент загрузки i -го оборудования по времени;

F_d – действительный годовой фонд времени работы оборудования,
 $F_d=2016$ час.

Таблица 3.3 – Расчёт амортизационных отчислений

№ операции	Ц _и , руб.	а _{ни} , %	F _{дi} , ч	A _{чи} , руб.
1	2	3	4	5
005	88000	80	2016	15730,015
015,025	4000000	120	2016	3092145,949
035	60000	90	2016	4767,683
Амортизационные отчисления для всех станков (A _ч)				3112643,647

Срок службы зданий и сооружений 30÷50 лет.

3.2.5 Отчисления в ремонтный фонд

Отчисления в ремонтный фонд можно рассчитать по формуле (3.20).

$$C_p = (K_{то} + K_{во}) \cdot k_{рем} + C_n \cdot k_{з.рем}. \quad (3.20)$$

где $k_{рем}, k_{з.рем}$ – коэффициенты, учитывающие отчисления в ремонтный фонд.

$$C_p = (4148000 + 1244400) \cdot 0,10 + 800000 \cdot 0,07 = 592240 \text{ руб}$$

Коэффициенты устанавливаются в зависимости от состояния объектов основных фондов и года их эксплуатации.

3.2.6 Затраты на вспомогательные материалы на содержание оборудования

Определяются по формуле (3.21).

$$C_{сож} = n \cdot N \cdot g_{ох} \cdot ц_{ох}. \quad (3.21)$$

где $g_{ох}$ – средний расход охлаждающей жидкости для одного станка ($g_{ох}=0,03$ кг/дет);

$ц_{ох}$ – средняя стоимость охлаждающей жидкости, руб/кг;

n – количество станков.

$$C_{сож} = 3 \cdot 780 \cdot 0,03 \cdot 255,5 = 17936,1 \text{ руб}$$

3.2.7 Затраты на силовую электроэнергию

Расчёт затрат на электроэнергию определяется по формуле (3.22).

$$C_{чЭ} = \sum_{i=1}^m N_{yi} \cdot F_o \cdot K_N \cdot K_{вр} \cdot K_{од} \cdot \frac{K_{\omega}}{\eta} \cdot Ц_{\omega} \cdot \quad (3.22)$$

где N_{yi} – установленная мощность электродвигателей оборудования, занятого выполнением i - ой операции, кВт;

K_N , $K_{вр}$ – средние коэффициенты загрузки электродвигателя по мощности и времени, принимаем $K_N = 0,5$; $K_{вр} = 0,3$;

$K_{од}$ – средний коэффициент одновременной работы всех электродвигателей, $K_{од} = 0,6 \div 1,3$, принимаем $K_{од} = 0,7$;

K_{ω} – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети завода, принимаем $K_{\omega} = 1,06$;

η – КПД оборудования, принимаем $\eta = 0,7$;

$Ц_{\omega}$ – 3,97 руб. (средняя стоимость электроэнергии по данным городской электросети)

Таблица 3.4 – Затраты на электроэнергию технологического процесса

№ операции	N_{yi} , кВт	$C_{чЭi}$, руб
1	2	3
005	0,75	954,43
015,025	13	16543,43
035	3	3817,68
Затраты на электроэнергию для всех операций		21315,54

3.2.8 Затраты на инструменты, приспособления и инвентарь

Стоимость инструментов и инвентаря ($K_{ин}$) по предприятию установлена приближенно, поэтому их учтем как плановые и включим в себестоимость произведенной продукции. На предприятиях затраты такого плана рассчитываются по факту приобретения и учитываются в себестоимости с учетом срока износа.

3.2.9 Расчет заработной платы вспомогательных рабочих

Заработная плата вспомогательных рабочих рассчитывается по формуле (4.23).

$$C_{звр} = \sum_{j=1}^k C_{змj} \cdot Ч_{врj} \cdot 12 \cdot k_{nj} \cdot k_{pj}, \quad (3.23)$$

где k – количество вспомогательных рабочих;

$Ч_{врj}$ – численность рабочих по соответствующей профессии;

$C_{змj}$ – месячная тарифная ставка рабочего соответствующего разряда;
 $k_{пj}$ – коэффициент, учитывающий премии и доплат для вспомогательных рабочих ($k_{пj} = 1,2 \div 1,3$);

$k_{рj}$ – районный коэффициент ($k_{рj} = 1,3$).

$$C_{звр} = 2,15000 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 1,3 \cdot 1,3 = 1216800 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные цели вспомогательных рабочих определяется по формуле (3.24).

$$C_{овр} = C_{звр} \cdot 0,3. \quad (3.24)$$

где $C_{овр}$ – сумма отчислений за год, руб./год

$$C_{овр} = 1216800 \cdot 0,3 = 365040 \text{ руб.}$$

3.2.10 Заработная плата административно-управленческого персонала определяется по формуле (4.25).

$$C_{зауп} = \sum_{j=1}^k C_{заупj} \cdot \chi_{аупj} \cdot 12 \cdot k_{рj} \cdot k_{ндj}, \quad (3.25)$$

где $C_{зупj}$ – месячный оклад работника административно-управленческого персонала, руб.;

$\chi_{аупj}$ – численность работников административно-управленческого персонала должности, чел.

$k_{ндj}$ – коэффициент, учитывающий премии и доплаты административно-управленческого персонала.

$$C_{зауп} = 20000 \cdot 1 \cdot 12 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 374400 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные цели административно-управленческого персонала определяем по формуле (4.26).

$$C_{оауп} = C_{зауп} \cdot 0,3. \quad (3.26)$$

где $C_{оауп}$ – сумма отчислений за год, руб./год.

$$C_{оауп} = 374400 \cdot 0,3 = 112320 \text{ руб.}$$

3.2.11 Прочие расходы

Прочие расходы рассчитаем как плановые условно определяются по формуле (3.27).

$$C_{проч} = ПЗ \cdot N \cdot 0,7, \quad (3.27)$$

где $ПЗ$ – прямые затраты единицы продукции, руб.

$$C_{проч} = 1436936 \cdot 0,7 = 1005855,2 \text{ руб.}$$

3.3 Экономическое обоснование технологического проекта

Таблица 3.5– Смета затрат по экономическим элементам

Затраты	Сумма, руб./ед	Сумма, руб./год
1	2	3
Прямые затраты	1842,23	1436936
Основные материалы за вычетом реализуемых отходов	280	218000
Заработная плата производственных рабочих	805318	402659
Отчисления на социальные нужды по зарплате производственных рабочих	1678,34	805318
Косвенные затраты:		
Арендная плата или амортизация эксплуатируемых помещений	66666,66	800000
Отчисления в ремонтный фонд	49353,33	592240
Вспомогательные материалы на содержание оборудования	1494,68	17936,1
Затраты на силовую электроэнергию	21315,54	255786,48
Заработная плата вспомогательных рабочих	101400	1216800
Отчисление на социальные цели вспомогательных рабочих	304200	365040
Заработная плата административно-управленческого персонала	31166,66	374000
Отчисление на социальные цели административно-управленческого персонала	9360	112320
Прочие расходы	38821,29	1005855,5
Итого (себестоимость), руб.	633574,26	7602891,08

4.1 Характеристика объекта исследования

Рассматриваемым объектом исследования является лаборатория, расположенная на первом этаже четвёртого учебного корпуса ЮТИ ТПУ.

Помещение имеет следующие размеры:

- длина $A = 12$ м;
- ширина $B = 5,5$ м;
- высота потолка $H = 3$ м.

Основная работа осуществляется на макете станка для печати 3D деталей. В ходе экспериментальных исследований, осуществляется процесс печати деталей из ABS пластика.

4.2 Выявление и анализ вредных и опасных производственных факторов

Экспериментальные исследования характеризуются наличием ряда опасных и вредных факторов для здоровья человека.

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию. [15]

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме. [15]

Производственные опасности подразделяют на четыре категории:

- биологические;
- химические;
- физические;
- психофизиологические.

В процессе проведения эксперимента возможно воздействие следующих опасных и вредных производственных факторов:

- Шумы, нарушающие прием информации, что влияет на ошибки и травматизм, а также вызывает усталость. При длительном воздействии шума снижается острота слуха, изменяется кровяное давление, ослабляется внимание, ухудшается зрение, происходят изменения в дыхательных центрах, возможно изменение координации движения [15];

- вибрации, ухудшающие самочувствие работающего и снижают производительность труда, часто приводят к тяжелому профессиональному заболеванию – виброболезни;

- несоответствующее нормам освещение может ухудшить зрение человека. А также может привести к несчастным случаям, в следствие недостаточной видимости или ослепления. В производственных помещениях с движущимися объектами может нести опасность мерцание осветительных приборов в виду появления стробоскопического эффекта;

- химические и технологические вещества могут привести к отравлениям и аллергическим реакциям;

- движущиеся органы технологического оборудования могут привести к серьезным травмам;

- электрический ток. Поражение электрическим током может нанести вред здоровью человека различной степени;
- стружка может привести к травмам в виде порезов и заноз.

4.3 Разработка методов защиты от вредных и опасных факторов

4.3.1 Обеспечение соответствующего освещения на рабочем месте

Производственное освещение – это такая система естественного и искусственного освещения, которая позволяет рабочим нормально осуществлять определенный технологический процесс [16].

Расчет искусственного освещения будем проводить по методике изложенной в пособии [16].

Согласно СНиП 23-05-95 для помещения лаборатории необходимая величина освещенности составляет 600 лк, в том числе общего 200 лк. Коэффициент запаса $k=1,8$.

Источником света для помещения данного типа являются люминесцентные лампы; тип осветительных приборов – открытый двухламповый светильник ШЛД.

По рекомендациям [16] минимальная допустимая высота подвеса над полом для выбранных светильников составляет 2,5 метра.

Оптимальное соотношение расстояния между светильниками и высоты их подвеса над рабочей поверхностью составляет значение 1,3 и определяется по формуле(5.1):

$$\lambda = \frac{L}{h}. \quad (4.1)$$

где λ – соотношение расстояния между светильниками и высоты их подвеса над рабочей поверхностью;

L – расстояние между светильниками, м;

$h= 1,7$ м – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью.

Расстояние между светильниками определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 1,7 = 2,21 \text{ м}. \quad (4.2)$$

Согласно рекомендациям [16] примем расстояние от стен помещения до крайних светильников равное:

$$\frac{1}{3}L = \frac{1}{3} \cdot 2,21 = 0,74 \text{ м}. \quad (4.3)$$

Исходя из габаритных размеров помещения и светильников (933x204 мм) определяем, что число светильников в ряду должно быть 2, а число рядов – 8. Таким образом должно быть 16 светильников. Схема расположения светильников представлена на рисунке 4.1.

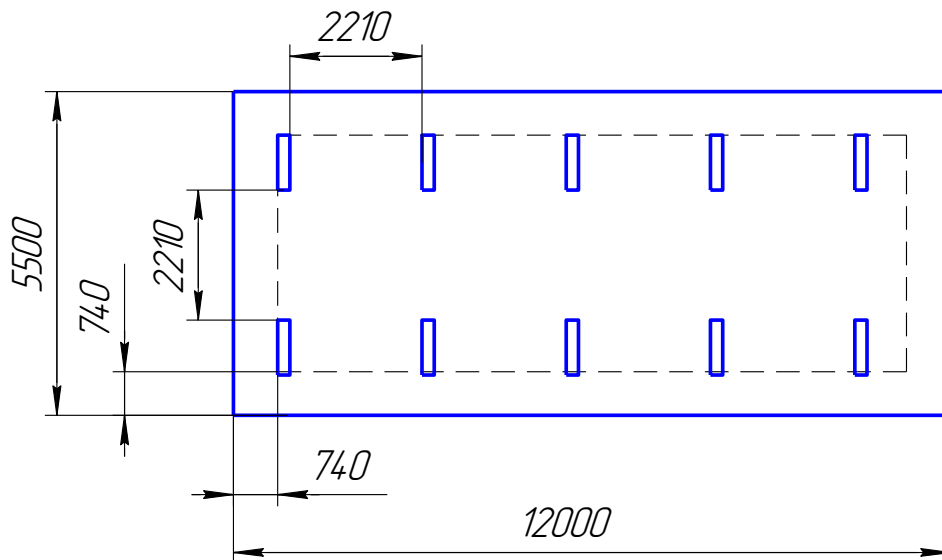


Рисунок 4.1 Схема расположения светильников

Световой поток определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta}, \quad (4.4)$$

где Φ – световой поток каждой из ламп, лм;

$E = 200$ лк – минимальная освещенность;

$z = 1,15$ – коэффициент неравномерности освещения [16];

$k = 1,8$ – коэффициент запаса [16];

$n = 32$ шт – число ламп в помещении (в одном светильнике две лампы);

η – коэффициент использования светового потока ламп.

Для определения коэффициента использования необходимо знать индекс помещения, который определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (4.5)$$

где i – индекс помещения;

h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м;

A, B – стороны помещения, м.

$$i = \frac{66}{1,7 \cdot (12 + 5,5)} = 2,22.$$

Согласно рекомендациям [16] примем коэффициент использования светового потока ламп $\eta = 0,56$.

$$\Phi = \frac{200 \cdot 66 \cdot 1,15 \cdot 1,8}{32 \cdot 0,56} = 1525 \text{ лм}.$$

Данному световому потоку соответствую люминесцентные лампы типа ЛДЦ, мощностью 40 Вт.

Таким образом была рассчитана система освещения, которая состоит из 16 светильников, в каждый из которых установлено по две лампы мощностью 40 Вт.

Рассчитанная система искусственного освещения соответствует требованиям СНиП 23-05-95.

4.3.2 Обеспечение оптимальных параметров микроклимата рабочего места

Микроклимат на рабочем месте в лабораторных помещениях определяется температурой воздуха, относительной влажностью, скоростью движения воздуха, барометрическим давлением.

Микроклимат помещения лаборатории поддерживается в соответствии СанПиН 2.2.4.548-96, за счёт отопительных систем или вентиляции, в зависимости от времени года. И имеет следующие параметры:

- температура воздуха T поддерживается в пределах от 20 до 24°C;
- относительная влажность φ – от 30 до 60 %;
- скорость движения воздуха $V = 0,5$ м/с;
- барометрическое давление $P = 760$ мм. рт. ст.

4.3.3 Защита от поражения электрическим током

Станок подключен к электрической сети, в связи с этим существует опасность поражения человека электрическим током. Самым простым, эффективным и широко используемым методом устранения этого опасного фактора является применение защитного заземления.

Конструктивными элементами защитного заземления являются заземлители – металлические проводники, находящиеся в земле, и заземляющие проводники, соединяющие заземляемое оборудование с заземлителем.

В лаборатории четвертого корпуса ЮТИ ТПУ кафедры технологии машиностроения применяются искусственные заземлители – вертикально забитые стальные трубы длиной 2,5 метров и диаметром 20 мм.

Сопротивление заземляющего устройства для электроустановок мощностью до 100 кВт и напряжением до 1000В должно быть не более 10 Ом.

Расчет защитного заземления для лаборатории резания произведем по методике изложенной в пособии [16].

Удельное сопротивление грунта рассчитывается по формуле:

$$\rho_{расч} = \rho_{изм} \cdot \omega = 20 \cdot 1,7 = 37 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (4.6)$$

где $\rho_{расч}$ – расчетное удельное сопротивление грунта Ом · м;

$\rho_{изм} = 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – измеренное удельное сопротивление грунта;

$\omega = 1,7$ – коэффициент, учитывающий изменение удельного сопротивления грунта в течение года.

Необходимое сопротивление искусственных заземлителей:

$$R_u = \frac{R_E \cdot R_3}{R_E - R_3}, \quad (4.7)$$

где R_u – необходимое сопротивление искусственных заземлителей, Ом;
 $R_E = 15 \text{ Ом}$ – сопротивление естественного заземлителя;
 $R_3 = 4 \text{ Ом}$ – требуемое сопротивление растеканию тока заземлителя.

$$R_u = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,45 \text{ Ом}.$$

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя определяется по формуле:

$$R_o = 0,366 \cdot \frac{\rho}{l} \cdot \lg \frac{4 \cdot l}{d}; \quad (4.8)$$

где R_o – сопротивление одиночного вертикального заземлителя

$l = 3 \text{ м}$ – длина заземлителя;

$d = 12 \text{ мм}$ – диаметр заземлителя.

$$R_o = 0,366 \cdot \frac{37}{3} \cdot \lg \frac{4 \cdot 3}{0,012} = 13,5 \text{ Ом}.$$

Количество заземлителей:

$$n = \frac{R_o}{R_{II} \cdot n_3}. \quad (4.9)$$

где $n_3 = 0,85$ – коэффициент использования электрода.

$$n = \frac{13,5}{5,45 \cdot 0,85} = 2,9$$

Примем количество заземлителей $n=3$.

Длина соединительной полосы:

$$L = 1,05 \cdot a \cdot n = 1,05 \cdot 3 \cdot 3 = 9,45 \text{ м}, \quad (4.10)$$

где $a = 3 \text{ м}$ – расстояние между одиночными заземлителями.

Сопротивление полосы:

$$R_o = 0,366 \cdot \frac{\rho}{L} \cdot \lg \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot h}, \quad (4.11)$$

где $b = 0,04 \text{ м}$ – толщина полосы;

$h = 0,8 \text{ м}$ – глубина заложения полосы.

$$R_o = 0,366 \cdot \frac{37}{9,45} \cdot \lg \frac{2 \cdot 9,45^2}{0,04 \cdot 0,8} = 14,6 \text{ Ом}.$$

Сопротивление растеканию тока группового искусственного заземлителя:

$$R_{zp} = \frac{R_{II} \cdot R_o}{R_{II} \cdot n_3 \cdot n + n_{II} \cdot R_o}, \quad (4.12)$$

где $n_{II} = 0,77$ – коэффициент использования полосы.

$$R_{zp} = \frac{14,6 \cdot 13,5}{14,6 \cdot 0,85 \cdot 3 + 0,77 \cdot 13,5} = 4,15 \text{ Ом}.$$

Сравним полученное значение сопротивления группового заземлителя $R_{гр}$ и требуемого сопротивления искусственного заземлителя $R_{и}$. Необходимое условие:

$$R_{гр} \leq R_{и} \quad (4.13)$$

$4,15 \leq 5,45 \text{ Ом}$, условие по формуле (4.13) выполняется.

4.3.4 Защита от движущихся органов оборудования

Все движущиеся органы станка, во время работы, закрыты защитными щитками и кожухами, смонтированными с выключателями этих органов.

4.3.5 Защита от шума

Уровень шума в лаборатории находится в пределах допустимого согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и не превышает 85 Дб.

4.3.6 Защита от вибраций

Для уменьшения уровня вибрации технологическое оборудование, распространяющее вибрацию, установлено на виброгасящие опоры.

4.3.7 Защита от повреждений стружкой

Во время работы станка зона образования стружки закрыта защитным экраном и не представляет опасности человеку. Для уборки стружки в станке предусмотрен специальный конвейер.

4.4 Разработка мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций

Самой вероятной чрезвычайной ситуацией в лаборатории резания является пожар.

Лабораторное помещение, где проходились экспериментальные исследования соответствуют требованиям СНиП II-2-80, СНиП II-89-80, санитарных норм проектирования промышленных предприятий СНиП II-92-76. Оборудована средствами пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83:

- огнетушитель порошковый ОП-2 для тушения лакокрасочных материалов и оборудования под напряжением – 2 шт;
- песок (чистый и сухой) для тушения электроустановок под напряжением – $0,5 \text{ м}^3$;
- кран внутреннего пожарного водопровода – 1 шт;
- огнетушитель углекислотный ОУ-8 – 2 шт.

4.5 Обеспечение экологической безопасности и охраны окружающей среды

Экспериментальное исследование, не несет значительных выбросов вредных веществ, пыли в атмосферу. Выбросы соответствуют допустимым по ГОСТ 17.2.302–78, поэтому их очистка не предусмотрена.

В процессе производства образуется небольшое количество отходов, которые при соответствующей обработке могут быть использованы, как сырьё для промышленной продукции. Отходы вывозятся из лаборатории для переработки и захоронения на полигонах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был спроектирован макет станка с ЧПУ для печати деталей из ABS пластика. Произведён обзор компоновки конструкций 3D принтеров и их технические характеристики. Было сконструировано приспособление для крепления экструдера на макет станка с ЧПУ. Произведена разработка рабочего чертежа детали, являющаяся приспособлением. Разработан технологический процесс для детали ФЮРА. А21.081.001 каретка экструдера. Для данного технологического процесса был применен метод получения заготовки, выбран прокат шины, разработан технологический маршрут получения детали, применены станки стоящие в лаборатории кафедры ТМС.

Рациональное построение технологического маршрута, позволило сократить применяемое оборудование, штучное время и себестоимость изделия.

В качестве метода получения заготовки был выбран листовой прокат шины обычной точности, что наиболее подходит под данную конструкцию детали.

Так как приспособление для крепления экструдера на макете станке будет изготавливаться в условиях лаборатории кафедры ТМС, за основу было взято оборудование, находящееся в лаборатории кафедры. В технологическом процессе для универсальных станков была принята оснастка, позволяющая уменьшить вспомогательное время. Для обрабатывающего центра была принята оснастка, имеющаяся в лаборатории для данного станка.

В конструкторской части выпускной квалификационной работы была представлена конструкция макета станка с ЧПУ, предназначенного для печати 3D деталей. Была описана конструкция макета станка и приспособления для крепления экструдера на макете станка.