

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного
производства»

(наименование кафедры)

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Технология машиностроения

(направленность (профиль)/ специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Разработка и проектирование филаментного экструдера

Студент	<u>Д.Е. Максимов</u> (И.О. Фамилия)	_____
Руководитель	<u>Д.Г. Левашкин</u> (И.О. Фамилия)	_____
Консультанты	<u>Н.В. Зубкова</u> (И.О. Фамилия)	_____
	<u>П.А. Корчагин</u> (И.О. Фамилия)	_____
	<u>А.Г. Егоров</u> (И.О. Фамилия)	_____
	<u>О.Н. Брега</u> (И.О. Фамилия)	_____

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент Н.Ю. Логинов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

« _____ » _____ 2019 г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

На выпускную квалификационную бакалаврскую работу «Разработка и проектирование филаментного экструдера».

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, семи разделов, заключения, списка используемой литературы и приложения, в котором содержится конструкторская документация.

В введении объясняется цель изготовления данного устройства.

В первом разделе «Анализ исходных данных» происходит назначение первоначальных параметров, которые позволят проводить последующие расчёты.

Во втором разделе «Проектирование шнековой пары» производится вычисление геометрических параметров основной части экструдера.

В третьем разделе «Проектирование бухты и вытягивающего устройства» объясняется смысл совмещения бухты и вытягивающего устройства и их проектирование.

В четвёртом разделе «Выбор электронных компонентов» записываются все электронные компоненты, их характеристики и размеры.

В пятом разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» указаны меры безопасности при использовании данного оборудования.

В шестом разделе «Экономическая эффективность работы» выявляется экономическая эффективность от применения данного устройства.

В заключении приведены выводы и результаты данной работы.

Графическая часть состоит из 5 рисунков, 16 таблиц, 7 чертежей формата А1.

Общий объём работы составляет 45 страниц.

ABSTRACT

The topic of the graduation work is "Development and design of a filament extruder".

Final qualification work consists of introduction, seven sections, the conclusion, the list of the used literature and the application which contains design documentation.

The introduction includes the purpose of production of this device includes.

There is a purpose of initial parameters which will allow to carry out the subsequent calculations in the first section "Analysis of basic data".

In the second section "Design of screw couple" calculation of geometrical parameters of the main part of an extruder is made.

The third section "Design of the spool and the extending device" includes the idea of combination of the spool and the extending device and their design.

In the fourth section "Design of the spool with the holder" the design of the device allowing to reel up filament thread is projected.

In the fourth section "Choice of electronic components" are all electronic components, their characteristics and the sizes register.

In the fifth section "Safety and environmental friendliness of a technical object" security measures when using this equipment are specified.

The sixth section "Cost efficiency of work" includes the cost efficiency from use of this device is presented.

Conclusions and results of this work are given in the conclusion.

The graphical part consists of 5 figures 16 tables 7 drawings A1.

The total amount of work is 45 pages.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Анализ исходных данных.....	7
2 Проектирование шнековой пары.....	9
2.1 Теоретические сведения	9
2.2 Проектирование шнека.....	10
2.3 Проектирование материального цилиндра с основанием	11
2.4 Расчёт допусков формы и взаимного расположения	14
2.5 Расчёт скорости экструзии	16
3 Проектирование бухты и вытягивающего устройства	20
3.1 Описание датчика толщины.....	20
3.2 Влияние зависимости диаметра нити от скорости вытягивания	21
3.3 Проектирование бухты с приводом	22
3.4 Алгоритм работы вытягивающего устройства	23
4 Выбор электронных компонентов	24
4.1 Выбор привода шнека.....	24
4.2 Выбор нагревательных элементов.....	24
4.3 Выбор контроллера	25
5 Безопасность и экологичность технического объекта.....	26
6 Экономическая эффективность работы	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	41
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	44

ВВЕДЕНИЕ

В современном производстве немалую часть занимают аддитивные технологии. Кроме того, аддитивные технологии находят место в бытовой сфере.

По определению, аддитивные технологии – это процесс объединения материалов с целью создания объекта из трёхмерной модели, как правило, слой за слоем [1, с. 10].

Так, например, трёхмерная печать методом послойного наплавления может использоваться не только в серьёзных компаниях по производству автомобилей или даже самолётов, но и в домашних условиях для печати предметов быта, игрушек, украшений, запчастей для инструмента и многого другого.

В России технология печати методом послойного наплавления занимает более половины рынка трёхмерного моделирования объекта из неметаллических материалов. Таким образом, данная сфера является более востребованной и экономически выгодной [2, с. 46].

Сырьём при данном способе печати является филаментный пруток – нить определённого диаметра из необходимого материала: ABS, PLA, поликарбонат, нейлон, полиэтилен и др.

Объект данной выпускной квалификационной работы позволяет уменьшить стоимость сырья за счёт переработки вторичного сырья или новых гранул.

Целью данной работы является разработка и проектирование филаментного экструдера.

В ходе преддипломной практики был изготовлен прототип филаментного экструдера. За неимением некоторых комплектующих из-за высокой стоимости или невозможности приобретения, а также ввиду отсутствия некоторого инструмента и оснастки, прототип выполнен с невысокой точностью и в его конструкции нет вытягивающего устройства и бухты с приводом, на которую наматывается готовая нить.

Исходя из размеров, характеристик и возможностей аналогичных устройств, в ходе данной работы спроектирован филаментный экструдер, который превосходит большинство комнатных экструдеров, к тому же, будет достаточно мобильным и компактным, чтобы его можно было легко транспортировать и перемещать.

Также произведён расчёт экономического эффекта от производства данного устройства и определены меры безопасности и влияние на окружающую среду при использовании филаментного экструдера.

1 Анализ исходных данных

В результате преддипломной практики был произведён и собран прототип филаментного экструдера. В его конструкции были применены как специальные компоненты, такие как нагревательные элементы и термоконтроллер, так и элементы, которые не представлялось возможным сделать. В качестве замены таких элементов было решено применить доступные материалы [3, с. 153].

Так, в качестве материального цилиндра была выбрана бесшовная толстостенная труба. В роли шнекового ротора выбрано спиральное сверло по дереву из-за сходства геометрии с реальным шнеком. А вместо мотор-редуктора используется автомобильный привод поводков стеклоочистителя, частота вращения которого примерно сопоставима с частотой вращения шнековых механизмов малого диаметра.

Исходя из характеристик аналогичных устройств, были предъявлены повышенные требования в плане максимальной температуры нагрева материального цилиндра, что позволит перерабатывать большее количество материалов, и повышенная производительность [4, с. 105].

Согласно заданию, должна быть возможность перерабатывать материалы, температура плавления и размягчения которых указаны в приведённой ниже таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Перерабатываемые материалы

Материал	Температура плавления, °С	Температура размягчения, °С
ABS	210-245	95-115
PLA	170-190	50-60
PET	210-220	110-120
Полиамид	250-260	210-220

Исходя из данных характеристик, необходимо задать максимальную температуру материального цилиндра так, чтобы она смогла переработать все материалы, указанные в таблице 1.1.

Для определения максимальной температуры нагрева материального цилиндра необходимо заложить 20-30-процентный запас по максимальной температуре нагревательных элементов, чтобы избежать ускоренного износа нагревательных элементов и выхода их из работоспособного состояния.

Рассчитаем максимальную температуру нагревательных элементов по формуле:

$$t_{max.n} = t_{плав} \times 1,2 \dots 1,3 = 260 \times 1,2 \dots 1,3 = 312 \dots 338 \text{ } ^\circ\text{C} \quad , \quad (1.1)$$

где $t_{max.n}$ – максимальная температура нагрева, $^\circ\text{C}$;

$t_{плав}$ – температура плавления полиамида, $^\circ\text{C}$.

Производительность аналогичных устройств, представляемых сейчас на рынке, составляет в среднем 0,5-0,7 кг/ч. Чтобы объект данной работы превосходил конкурентные устройства, зададим производительность 1 кг/ч.

Диаметр большинства филаментных прутков составляет $1,8 \pm 0,5$ мм. Это общепринятый стандарт, который применяется в 3D-принтерах домашнего и коммерческого пользования.

Таким образом, учитывая все исходные данные, составим таблицу, которая включает в себя все основные характеристики готового устройства.

Таблица 1.2 – Характеристики экструдера

Характеристика	Значение
Максимальная температура нагрева, $^\circ\text{C}$	340
Производительность, кг/ч	1
Диаметр готовой нити, мм	$1,8 \pm 0,5$

Имея данные из таблицы 1.2, можно приступить к проектированию экструдера.

2 Проектирование шнековой пары

2.1 Теоретические сведения

Самой главной составляющей филаментного экструдера считается шнековая или, по-другому, червячная пара. Такие механизмы бывают различных типов: одношнековые, двухшнековые, двухступенчатые, с зоной дегазации или без неё.

Для данного устройства целесообразно использовать самый простой и распространённый тип – одношнековый экструдер без зоны дегазации [5, с. 3].

Шнековая пара состоит из формующей головки, материального цилиндра, нагревательных элементов, терморпары, бункера для загрузки гранул, шнека или шнекового ротора и привода шнека [6, с. 15].

В ходе работы материальный цилиндр нагревается и при высокой температуре может плавиться бункер, который сделан из пластика. В связи с этим, было решено применить проставку между горячей частью материального цилиндра и холодной его частью, на которой находится бункер.

Эта проставка должна быть сделана из материала с низкой теплопроводностью и устойчивым к температурам, до которых нагревается материальный цилиндр. В качестве проставки хорошо подойдёт текстолитовая пластина толщиной 10-15 мм. Кроме того, текстолит хорошо обрабатывается и имеет параллельные грани, что упрощает процесс изготовления из него проставки.

Таким образом, материальный цилиндр делится на две части: горячая часть с формующей головкой и нагревательными элементами и холодная часть, которая держится на основании, с бункером.

2.2 Проектирование шнека

Проектирование шнековой пары необходимо начинать с самого шнека. Диаметры шнеков отечественного производства регламентирован ГОСТом 14773 и имеет свой определённый ряд размеров. Из этого ряда выбираем наименьшее значение – 20 мм.

Длина шнека определяется соотношением к диаметру и составляет 8...40 диаметров.

Шнек характеризуется следующими основными геометрическими параметрами [7, с. 5-6]:

- диаметром D ;
- длиной L ;
- шагом винтовой нарезки t ;
- глубиной нарезки h ;
- величиной зазора между гребнем шнека и внутренней стенкой цилиндра δ ;
- углом подъема винтовой линии нарезки шнека φ .

Диаметр уже определён и составляет 20 мм.

Для аппаратов, где не требуется высокое давление впрыска и где применяются однородные не пористые материалы, допускается использование шнека с постоянным шагом и глубиной винтовой нарезки. Также, это значительно упрощает расчёт и процесс изготовления такого шнека [8, с. 223].

Длина нарезки шнека для переработки полимеров, указанных в задании, должна составлять (5...12) D . Выберем значение, близкое к максимальному и равное $L = 10D = 200$ мм [8, с. 225].

Шаг винтовой нарезки составляет (0,4...0,6) D . Определим $t = 0,5D = 10$ мм [8, с. 225].

Глубина винтового канала также зависит от назначения и внешнего диаметра шнека. Рассчитывается как (0,17...0,25) D . Определим $h = 0,2D = 4$ мм [8, с. 226].

Максимальная толщина витка определяется по формуле $(0,06...0,08) D$. Принимаем эту величину $s = 1,5$ мм.

Наибольшее применение по переработке заданных материалов нашёл прямоугольный профиль со скруглением углов в радиальном сечении канавки. Он характеризуется малым радиусом закругления на нагнетающей стороне шнека $r = (0,06...0,12) D$ и большим радиусом закругления на противоположной стороне $R = (0,12...0,18) D$. Для простоты изготовления принимаем одинаковый радиус закругления, потому что два данных диапазона пересекаются и получаем $r = R = 0,12 D = 2,4$ мм [8, с. 230].

Во время эксплуатации происходит температурное расширение как материального цилиндра, так и шнека. Во избежание заклинивания шнека в цилиндре, необходимо предусмотреть зазор между гребнем шнека и внутренними стенками материального цилиндра. Данный зазор для шнеков малого диаметра составляет $\delta = 0,18-0,22$ мм.

Систематизируем полученные величины в форме таблицы для удобства дальнейшего применения.

Таблица 2.1 – Параметры шнека

Параметр	Значение, мм
Диаметр шнека, D	20
Длина нарезки шнека, L	200
Шаг винтовой нарезки, t	10
Глубина винтового канала, h	4
Толщина витка, s	1,5
Радиус скругления канавки, r	2,4
Зазор между шнеком и цилиндром, δ	0,18-0,22

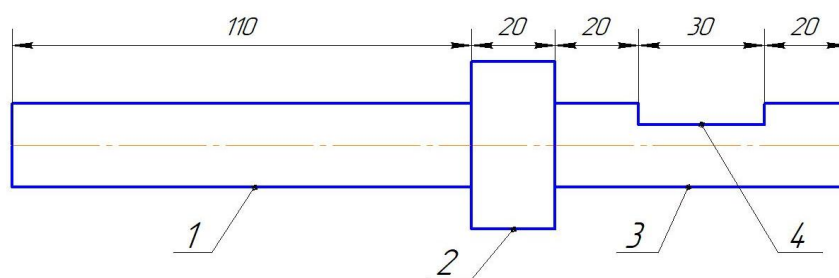
2.3 Проектирование материального цилиндра с основанием

Исходя из внешнего диаметра шнека, необходимо задать такой внутренний диаметр материального цилиндра, чтобы указанная пара элементов соответствовала назначенному зазору. Таким образом, получаем внутренний диаметр материального цилиндра $d = 20,44$ мм. Также это

является табличной величиной, зависящей от диаметра шнекового ротора. В дальнейшем рассчитаем допуски на данный размер.

Длина отверстия для загрузки в холодной части материального цилиндра под бункером должна составлять $(1...1,5) D$. Рассчитаем эту величину и примем равной 30 мм [9, с. 222].

Горячую часть шнекового цилиндра следует сделать как можно более длинной, так как если прогрев будет происходить на малом участке, пластичная масса не будет набирать достаточную температуру для необходимой текучести. Из общей длины материального цилиндра необходимо вычесть толщину проставки, так как она занимает место в середине цилиндра. С задней части находится бункер, для которого необходимо предусмотреть место. Учитывая данные условия и ограничения, рассчитаем длину каждого участка поэтапно. Для наглядности представим это в виде схемы, представленной на рисунке 1.2.



1 – горячая часть цилиндра; 2 – проставка; 3 – холодная часть цилиндра; 4 – загрузочное отверстие

Рисунок 2.1 – Схема размеров материального цилиндра

Внешний диаметр цилиндра рассчитывается, исходя из внутреннего диаметра. Наружный диаметр шнекового цилиндра определяется, как $(1,5...2,0) D$. Так как экструдер не предназначен для высокого давления, допускается принять минимальный коэффициент. Таким образом, наружный диаметр материального цилиндра $D_{внеш.цил} = 30$ мм [10, с. 16].

Основание и холодную часть экструдера было решено сделать в виде единого узла, сваренного из нескольких элементов. Данное решение позволит упростить монтаж, демонтаж и процесс обслуживания всего устройства. Также, это увеличивает надёжность конструкции относительно других способов фиксации материального цилиндра. Например, в некоторых других экструдерах материальный цилиндр закрепляется в рамке из фанеры или древесины.

Основание было решено сделать из прямоугольного профиля ГОСТ $\frac{50 \times 25 \times 3 \text{ ГОСТ } 30245-2003}{\text{С245ГОСТ}27772-88}$. Данная маркировка обозначает, что профиль с размерами, согласно ГОСТ 30245-2003, высотой 50 мм, шириной 25 мм, толщина стенки 3 мм и изготовлен из низкоуглеродистой стали для металлоконструкций марки С245, соответствующей ГОСТу 27772-88.

Как известно, обыкновенные стали бытового назначения не соответствуют требованиям к такому устройству. В данной ситуации для изготовления рабочей части шнека и материального цилиндра необходимо применить жаропрочную сталь, устойчивую к истиранию. Отлично подходит для такого применения сталь марки 38Х2МЮА, в виду того, что данный материал оптимизирован для эксплуатации при температурах до 450 °С. Также существуют её аналоги-заменители: 38Х2ЮА, 38ХВФЮ, 20Х3МВФ, 38Х2Ю [11, с.370].

Формующая головка также входит в состав шнекового экструдера, являясь очень важным элементом, и имеет довольно простую конструкцию. Она представляет собой заглушку с фасонным отверстием, через которое проходит поток расплава. Фасонной она является, потому что получаемый материал повторяет форму отверстия.

Во многих экструдерах между экструзионной головкой и цилиндром устанавливается рассекатель потока, который выполняет две функции: преобразует спиральное движение расплава в поступательное и удаляет загрязнения, поступающие вместе с некачественным сырьём. Согласно заданию, гранулированные полимеры следует предварительно просушить и

просеять для исключения инородных включений. Выравнивать поток расплава также не требуется по причине того, что скорость движения этого самого расплава очень низкая по сравнению с другими экструдерами. Исходя из приведённых доводов, можно избавиться от таких элементов, как рассекающий поток и сетка, установленная в нём [12, с. 70].

Расчёт формующей головки необходимо начинать с определения конфигурации фасонного отверстия. Отверстие, согласно заданию, круглое диаметром $d_{\phi} = 1,8$ мм. Также важным параметром является длина формующего канала. Если он будет слишком коротким, скорость экструзии будет непостоянной, а если слишком длинным, то возможно затвердевание расплава внутри канала. Данный параметр должен составлять $(1,5 \dots 2,5) d_{\phi}$. Выберем среднее значение для данного параметра и назначим $L_{\phi k} = 3$ мм.

2.4 Расчёт допусков формы и параметров взаимного расположения

При разработке различных изделий требуется предусмотреть допуски на размеры, отклонение от формы и параметры взаимного расположения.

Допуском называется разница между наибольшим и наименьшим отклонением от номинального размера [13, с. 4].

Отклонением формы называется отклонение формы реальной поверхности от формы идеальной поверхности и оценивается величиной расстояния между точками реальной и прилегающей идеальной (правильной геометрической) поверхностей [14, с. 53].

Отклонением расположения называется отклонение реального (действительного) расположения поверхности, оси или плоскости симметрии от идеального расположения, определяемого номинальными линейными или угловыми размерами между рассматриваемым элементом и базами. Допуском расположения называется предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения расположения поверхностей [15, с. 53].

Во время работы в материальном цилиндре из-за возникающего зазора существует противоток расплава, который центрует шнек внутри цилиндра.

Также три элемента, из которых состоит материальный цилиндр, должны иметь надлежащую соосность, так как шнек может заклинить в процессе работы.

Для материального цилиндра и шнека необходимо рассчитать допуски так, чтобы не происходило заклинивания шнека во время вращения.

Во избежание заклинивания допуски на размеры должны быть рассчитаны так, чтобы при максимальном отклонении зазор между стенкой цилиндра и шнеком составлял 0,44 мм.

В данном устройстве также важно взаимное расположение деталей, расположенных на одной оси. Соблюдение этих размеров обеспечит более высокую надёжность и эффективность работы. Так на одной оси должны находиться холодная и горячая часть материального цилиндра с отклонением соосности и параллельности не более четверти зазора между шнеком и стенками материального цилиндра, то есть 0,125 мм [16, с. 5].

Но так как взаимное расположение цилиндра и приёмника задают фланцы, которые скрепляются болтовым соединением, необходимо назначить допуски для перпендикулярности и допуски на расстояния отверстий на фланцах, а также допуск параллельности поверхностей теплоизолирующей проставки.

Эти параметры отображаются графически на рисунках 2.2 и 2.3

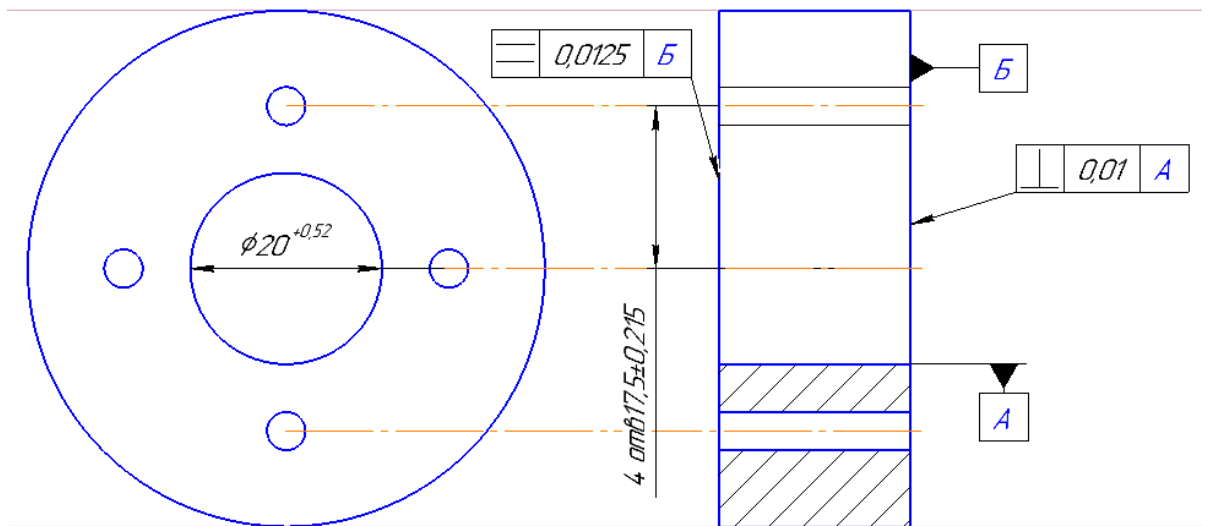


Рисунок 2.2 – Допуски на проставку

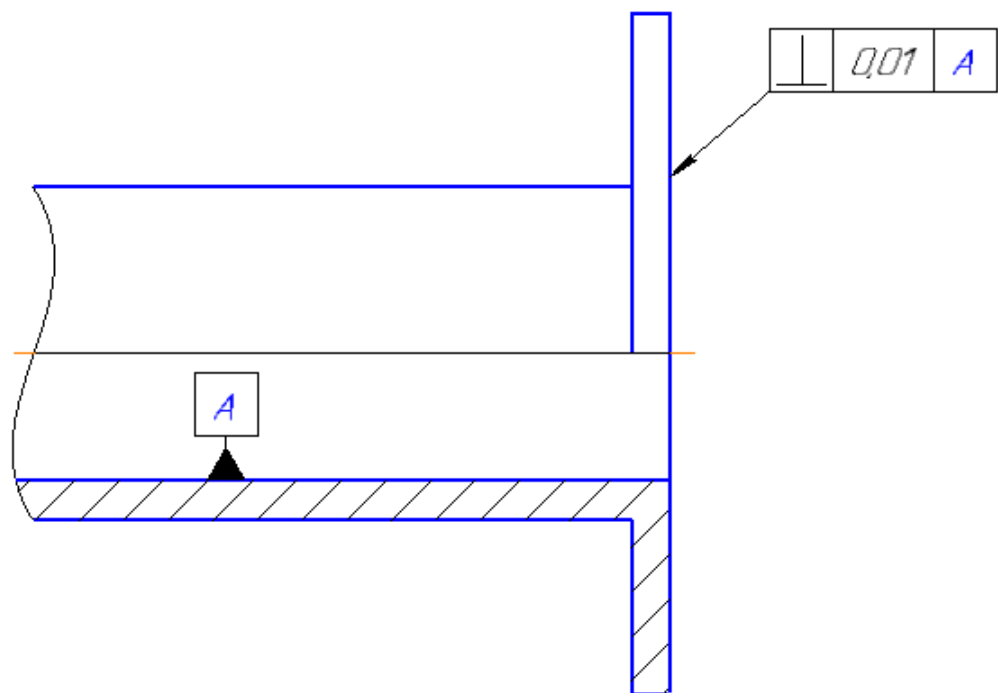


Рисунок 2.3 – Допуски на цилиндры

2.5 Расчёт скорости экструзии

Для определения скорости подачи пластичного материала необходимо вычислить расчётную скорость аналитическим методом.

Расчёт скорости экструзии начинается с определения производительности всего устройства. Упрощённый аналитический расчёт производительности машины с одним шнеком Q определяется по формуле 2.1:

$$Q = \frac{\alpha KN}{K + \beta + \gamma}, \quad (2.1)$$

где Q – производительность, $\text{см}^3/\text{мин}$;

α, β, γ – постоянные прямого и обратного потоков и потока утечек, см^3 ;

K – постоянная головки, см^3 ;

N – частота вращения шнека.

Для не стандартных головок K – различается и рассчитывается по общей формуле с сопротивлением всех её элементов, сеток, решёток и фильтров. Для данной головки K рассчитываем так же, как для головки с цилиндрическим формующим отверстием по формуле 2.2:

$$K = \frac{\pi R_H + R_B}{12 l_\phi} R_H + R_B^3, \quad (2.2)$$

где R_H – наружный радиус щели;

R_B – внутренний радиус щели;

l_ϕ – длина формующей части щели.

Так, исходя из чертежа, определим постоянную головки по формуле 2.3:

$$K = \frac{\pi 10 + 0,9}{12 * 40} 10 - 0,9^3 = 92,38 \text{ см}^3 \quad (2.3)$$

По формуле 2.4 рассчитаем α – постоянную прямого потока расплава:

$$\alpha = \frac{\pi^2 D^2 h \sin \varphi \cos \varphi}{2} = \frac{\pi^2 19^2 8,5 \sin 23,3 \cos 23,3}{2} = 646,5 \quad (2.4)$$

где D – диаметр червяка;

h – глубина нарезки;

φ – угол подъёма винтовой линии шнека.

Согласно формулам 2.5 и 2.6, рассчитаем β , γ – геометрические постоянные обратного потока:

$$\beta = \frac{\pi D h^3 \sin^2 \varphi}{12L} = \frac{\pi * 19 * 8,5^3 \sin^2 23,3}{12 * 283} = 1,68 \quad (2.5)$$

где L – длина шнека.

$$\gamma = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \tan \varphi}{10Le} = \frac{\pi^2 * 19^2 * 0,5^3 * \tan 23,3}{10 * 283 * 17} = 0,004 \quad (2.6)$$

где δ – зазор между гребнем и поверхностью материального цилиндра;

e – ширина гребня шнека.

Таким образом, по формуле 2.7 производительность Q составляет:

$$Q = \frac{646,5 * 92,38 * 30}{92,38 + 1,68 + 0,004} = 1904 \frac{\text{мм}^3}{\text{мин}} \quad (2.7)$$

Для определения скорости подачи прутка на выходе из сопла необходимо рассчитать её по общей формуле:

$$V = \frac{Q}{S}, \quad (2.8)$$

где V – скорость;

S – площадь поперечного сечения нити.

Подставив в данную формулу определения площади окружности, представляется возможность получить теоретические максимальную 2.9 и теоретическую минимальную 2.10 скорости выхода прутка из формующей головки:

$$V_{max} = \frac{Q}{\pi r^2} = \frac{1904}{\pi * 0,9^2} = 748 \frac{\text{мм}}{\text{мин}} \quad (2.9)$$

$$V_{min} = \frac{Q}{\pi r^2} = \frac{1904}{\pi * 0,85^2} = 839 \frac{\text{мм}}{\text{мин}} \quad (2.10)$$

Округляя полученные результаты, скорость вытягивания может находиться в пределах от 0,75 до 0,85 м/мин. Фактическая производительность данной установки составит примерно 48 м/ч или, примерно 1 кг готового прутка в час.

3 Проектирование бухты и вытягивающего устройства

3.1 Описание датчика толщины

В конструкции вытягивающего должен присутствовать датчик, который будет фиксировать толщину нити, проходящую через него. Нежелательно исполнение датчика в виде контактного, который может повредить или заклинить при прохождении через него филаментного прутка. К тому же, популярным, простым, доступным и достаточно точным решением в сфере 3D-печати является применение системы, состоящей из микроконтроллера, светодиода и оптического датчика [17].

В качестве датчика можно применить фоточувствительную линейку TSL1401CL. Согласно техническим характеристикам, указанным в приложении А, представленном в виде скриншота из документации к датчику, его чувствительность составляет 400 DPI. Это значит, что на один квадратный дюйм приходится 400 светочувствительных элементов. Имея эти данные, несложно получить разрешающую способность датчика:

$$P_d = \frac{S}{\mathcal{C}_d} = \frac{25,4}{400} = 0,0635 \text{ мм}; \quad (3.1)$$

где P_d – разрешающая способность датчика, мм;

S – площадь фоточувствительной площадки, мм²;

\mathcal{C}_d – чувствительность датчика.

Таким образом, точность выбранного датчика при любых погрешностях будет соответствовать требованиям к филаментным пруткам.

Принцип работы данной системы достаточно прост: филамент проходит через закрытую камеру, где друг на друга направлены светодиод и фоточувствительный датчик. Проходя между ними, нить отбрасывает тень, а датчик в режиме реального времени фиксирует значение освещённости. При

помощи микроконтроллера сигнал датчика преобразовывается в напряжение в диапазоне от 3 до 5 В.

В качестве логического устройства, которое будет принимать выходной сигнал с фоточувствительной линейки, можно выбрать микроконтроллер Arduino

Датчик такого типа поддаётся калибровке при помощи стержня диаметром 2 мм. Обладая данной информацией и зная диапазон выходного сигнала, необходимо откалибровать датчик таким образом, чтобы значение напряжения было в два раза больше, чем толщина нити. То есть, при калибровке зафиксировать значение напряжения на отметке 4 В. По окончании калибровки, получим диапазон измерений от 1,5 до 2,5 мм, что полностью удовлетворяет выполняемым задачам.

3.2 Влияние зависимости диаметра нити от скорости вытягивания

Во время экструзии в момент выхода расплава из сопла и при дальнейшем его вытягивании происходят изменения в его внутренней структуре и уменьшается диаметр сечения нити в плоскости, перпендикулярной направлению вектора вытягивания.

Так как объёмная производительность экструзии стабильна по времени, необходимо считать толщину нити, исходя из объёма. Расчётный объём участка нити длиной 10 см будет составлять:

$$V = \pi r^2 l = 3,14 * 0,9^2 * 100 = 254 \text{ мм}^3 \quad (3.2)$$

Если увеличить скорость вытягивания на 10%, то удлинение нити составит соответственно 10%, при этом объём изначально выделенного участка прутка не изменится.

Рассчитаем диаметр нити при увеличении скорости вытягивания на 10%:

$$d = 2 \frac{V}{\pi(100 + 10\%)} = 2 \frac{254}{3.14 * 110} = 1,715 \text{ мм} \quad (3.3)$$

Из этого расчёта следует, что при изменении скорости на 10% толщина нити уменьшилась примерно на 5%. Это значит, что толщина нити имеет не прямую зависимость от скорости вытягивания. По этой причине для управления скоростью вытягивания необходимо применить программируемый ПИД-контроллер, ПИД-регулятор или любой программируемый микроконтроллер, который будет считывать толщину прутка и, исходя из её значений, вносить изменения в частоту вращения вала электродвигателя, который приводит в движение наматывающую катушку.

3.3 Проектирование бухты с приводом

Бухта представляет собой катушку, на которую наматывается филаментный пруток. Все бухты для 3D-принтеров имеют схожую конструкцию и к ним не предъявляются какие-то особые требования. Основной размер для таких изделий – это посадочный диаметр и в большинстве случаев он равен 55 мм. Ширина катушки может находиться в диапазоне от 28 до 92 мм.

Для того, чтобы бухта не проворачивалась, в катушке существует прямоугольный паз для зацепления с осью наматывающего устройства. Ширина этого паза составляет 12 мм, а расстояние от оси вращения катушки 44,5 мм.

Для первичной фиксации прутка необходимо предусмотреть отверстие, в которое нужно будет вставлять начало нити.

Привод бухты необходимо выбирать таким образом, чтобы была возможность контролировать частоту вращения двигателя с помощью

программного обеспечения, построенного на системе Arduino. Как показывает практика, шаговые электродвигатели отлично сочетаются с системой управления Arduino. Кроме того, платформа Arduino позволяет отлично наладить связь и управление алгоритмом автоматизации. Также необходим драйвер для шагового двигателя, который будет подавать ток на обмотки электромотора, исходя из сигналов с управляющей платы.

Крутящий момент с шагового двигателя во избежание проскальзывания целесообразно передавать при помощи прямозубого цилиндрического редуктора с передаточным числом приблизительно 1:5. Также допускается использовать шаговый двигатель в сборе с редуктором, что значительно удешевляет и упрощает конструкцию.

По мере наматывания материала на катушку, диаметр катушки будет увеличиваться при неизменной частоте вращения её привода. Для избежания погрешностей, связанных с этим явлением, также подходит данная система автоматизации контроля диаметра.

Точность будет достигаться в результате непрерывного контроля диаметра филамента и незамедлительного изменения частоты вращения электродвигателя, приводящего в движение сматывающее устройство-бухту.

3.4 Алгоритм работы вытягивающего устройства

Нить поступает из формирующей головки в закрытую камеру со светодиодом и фоточувствительным датчиком. Контроллер считывает напряжение на датчике и если напряжение меньше 3,6 В, то увеличивает скорость вытягивания на 10%, если больше 3,6 В, то уменьшает. В случае, если происходит закливание, то шаг изменения частоты вращения электродвигателя уменьшается вдвое. В результате работы данного алгоритма, нить постоянно будет находиться в определённом натяжении, что позволит ей достаточно плотно наматываться на катушку.

4 Выбор электронных компонентов

4.1 Выбор привода шнека

Шнек должен получать крутящий момент от электродвигателя постоянного тока с редуктором. Причём так, чтобы частота вращения выходного вала при номинальном напряжении составляла около 30 об/мин [18, с. 128].

Согласно табличным данным, крутящий момент, необходимый для проворачивания шнека заданного диаметра и длины, составляет 2,8 Н*м.

Исходя из этих требований, подберём мотор-редуктор из типового ряда одной из компаний [19].

Подходящим вариантом является мотор-редуктор с червячным типом редуктора WG7152. Номинальный крутящий момент составляет как раз 2,8 Н*м. А номинальная частота вращения 32 об/мин при передаточном числе 1:55.

4.2 Выбор нагревательных элементов

На устройствах подобного типа используется один нагревательный элемент мощностью 80-100 Вт. Это значит, что при увеличении производительности необходимо повысить и мощность нагревательных элементов.

Это означает, что целесообразно использовать два нагревательных элемента по 50 Вт, но применить их параллельное соединение.

Так, согласно закону Ома, при параллельно подключении двух нагревательных элементов с одинаковыми характеристиками, ток, проходящий через них, умножается на количество элементов и, как следствие, в данном устройстве мощность нагревательных элементов сложится и возрастёт вдвое, и будет равно 200 Вт [20, с. 48].

4.3 Выбор контроллера

Критериями выбора контроллера на платформе Arduino является количество требуемых контактов на питание, ввод и вывод информации.

Для осуществления контроля диаметра филамента необходимо 4 контакта на оптическую линейку, 2 контакта питания на светодиод и 4 сигнальных контакта на драйвер шагового двигателя. Всего необходимо 10 контактов.

Осуществить такую схему подключения позволит самый маленький из модельного ряда программируемый контроллер Arduino nano, который имеет 12 портов подключения.

5 Безопасность и экологичность технического объекта

5.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Сведения о материалах, операциях и оборудовании, используемом в технологическом процессе, представлены в таблице 5.1 [21].

Таблица 5.1 – Технологический паспорт объекта

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
Экструзия	Экструзионная	Аппаратчик получения экструзионных продуктов	Филаментный экструдер	Полимеры, пластмассы

5.2 Идентификация профессиональных рисков

В ходе эксплуатации филаментного экструдера возникают определённые опасные явления (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Идентификация профессиональных рисков

Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и/или вредный производственный фактор	Источник опасного и/или вредного производственного фактора
Экструзионная	Физические: движущиеся машины и механизмы, их незащищенные подвижные части, острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхности заготовок и оборудования	Вращающийся шнек экструдера, бухта
	Повышенная температура поверхностей оборудования, материала и инструмента	Готовый филаментный прут, тело материального цилиндра

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Для определения средств защиты от вредоносных факторов необходимо построить таблицу средств защиты от коллективных и индивидуальных опасных факторов (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Методы и средства снижения негативного воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасный и/или вредный производственный фактор	Организационно-технические методы и технические средства защиты, частичного снижения, полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Движущиеся машины и механизмы	Применение специальных ограждений, проведение инструктажа	Костюм для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий, перчатки с полимерным покрытием
Повышенная запыленность, загазованность воздуха рабочей зоны	Введение средств вентиляции, ведение работ в зоне, отделенной от человека, применение пылесборников	Средство индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), очки защитные

5.4 Обеспечение пожарной и экологической безопасности

технического объекта

Для обеспечения места работы обязательными средствами пожарной безопасности сначала нужно определить опасные факторы и класс пожара (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Экструзионный	Филаментный экструдер	Е	Высокая температура, задымленность,	Части объектов, разрушившихся при возгорании,

			выделение ядовитых и канцерогенных паров при сгорании легкоплавких веществ	распространение тока при повреждении проводки, вредные выбросы в атмосферу из очага пожара из-за повреждения защитных сооружений, отравление окружающей среды средствами ликвидации пожара
--	--	--	--	--

Во время работы материальный цилиндр нагревается до высоких температур, что может стать причиной возгорания. В связи с этим установке присваивается класс пожара Е.

Исходя из класса пожара, необходимо применять средства пожарной безопасности (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование
Песок, пенный огнетушитель	Пожарная мотопомпа	Аэрозольная система пожаротушения	Прибор управления пожарный	Пожарный шкаф

Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение
Респираторы, промышленные противогазы	Лопата совковая, багор, ведро	Извещатели пожарные

Во избежание возникновения пожара необходимо соблюдать меры пожарной безопасности, изложенные в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Экструзия	Организация пожарной охраны, проведение мероприятий по обучению сотрудников действиям во время пожара, идентификация пожароопасных веществ и определение правил их хранения и транспортировки	Допустимая концентрация легковоспламеняющихся веществ, хранение пожароопасных веществ в отдельном помещении, скорейшая утилизация пожароопасных отходов, наличие температуры и давления воздуха, препятствующего быстрому распространению пламени, установка молниеотводов

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

В таблице 5.7 представлен перечень мероприятий по предотвращению негативного влияния антропогенных воздействий технологического процесса на окружающую среду.

Таблица 5.7 – Идентификация негативных экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, производственно - технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, производственно - технологического процесса	Воздействие технического объекта на атмосферу	Воздействие технического объекта на гидросферу	Воздействие технического объекта на литосферу
Филаментный экструдер	Экструзия	Выделение паров от нагрева полимеров	–	–

Во время эксплуатации филаментный экструдер не оказывает негативного воздействия на литосферу и гидросферу так как не имеет

твёрдых побочных продуктов работы. Бракованный пруток подлежит повторной переработке.

Учитывая влияние на атмосферу, следует разработать средства снижения негативного влияния устройства на окружающую среду (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Филаментный экструдер
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Установление вентиляции с применением угольных фильтров для удаления тяжёлых испарений
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	–
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	–

5.6 Заключение по разделу «Безопасность и экологичность

технического объекта»

1. В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» содержится комплексная характеристика технологического процесса экструзии полимеров, приведены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, используемые сырьевые технологические и расходные материалы и производимые изделия (таблица 5.1).

2. Осуществлен анализ профессиональных рисков по реализуемому технологическому процессу экструзии полимеров, применяемым технологическим операциям и типам производимых работ (таблица 5.2).

3. Описаны организационно-технические мероприятия, содержащие технические устройства снижения профессиональных рисков, и подобраны необходимые средства индивидуальной защиты работников (таблица 5.3).

4. Приведено описание мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Осуществлена идентификация класса и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 5.4). Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности (таблица 5.5). Проанализированы мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 5.6).

5. Произведена идентификация экологических факторов (таблица 5.7) и представлены разработанные мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте (таблица 5.8).

В результате проведённого комплексного анализа технического объекта, осуществляющего технологии полимерной экструзии, сделан вывод о полном соответствии технического объекта требованиям пожарной и экологической производственной безопасности.

6 Экономическая эффективность работы

6.1 Определение капитальных вложений в устройство

Первым шагом необходимо рассчитать сумму всех денежных средств, затраченных на приобретение материалов и деталей, из которых состоит филаментный экструдер.

Таблица 6.1 – Капитальные вложения в устройство

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во, шт.	Общая стоимость, руб.
Термоконтроллер REX-C100 с термопарой	698,97	1	698,97
Твердотельное реле	279,69	1	279,69
Кольцевой нагревательный элемент	273,69	2	547,38
Блок питания 12 В 200 Вт	799	1	799
Диммер 12 В	109,2	1	109,2
Электропривод шнека	2400	1	2400
Кронштейн привода	350	1	350
Шнек (заказ)	7500	1	7500
Материальный цилиндр (заказ)	6600	1	6600
Бункер загрузки	400	1	400
Шаговый двигатель NEMA 17 с редуктором 1:5	1676,39	1	1676,39
Контроллер шагового двигателя DM542	796,72	1	796,72
Оптическая линейка TSL1401CL	665,04	1	665,04

Продолжение таблицы 6.1

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во, шт.	Общая стоимость, руб.
Стандартные изделия (болты, винты, шайбы, гайки)	194,70	1	194,70
Итого:			23017,09

Таким образом, общий объём капитальных вложений в НИР составляет $Z_{KB} = 23017,09$ руб.

6.2 Определение трудоёмкости и времени выполнения работ

Для определения трудоёмкости необходимо сначала выделить этапы, которые входили в работу по проектированию филаментного экструдера (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Приводимый перечень работ

Стадии проведения исследований	Этапы научно-исследовательской работы	Содержание проводимых работ
Подготовительная стадия	Выполнение комплекса подготовительных работ	1. Разработка технического задания на ВКР
		2. Исследование имеющихся аналогов устройства. Поиск литературы
Теоретические работы	Разработка теоретической части исследования	3. Изучение теории экструзии
		4. Изучение методики проектирования экструзионных машин
		5. Подготовка исходных данных
Практические работы	Разработка и изготовление	6. Изготовление прототипа филаментного экструдера
		7. Разработка конструкторской документации
Заключительная стадия	Выводы по выполненной работе	8. Анализ работы прототипа
		9. Обработка полученных результатов, определение и внесение доработок

Трудоёмкость рассчитывается по формуле:

$$T = f D_{\text{ц}} \times P, \text{ дни;} \quad (6.1)$$

где $D_{\text{ц}}$ – длительность цикла выполнения научно-исследовательской работы, дни;

P – количество участников.

Ожидаемая трудоёмкость рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{ож}} = 3T_{\text{min}} + 2T_{\text{max}} / 5, \text{ дни;} \quad (6.2)$$

где T_{min} – оптимистическая оценка трудоёмкости, дни;

T_{max} – пессимистическая оценка трудоёмкости, дни.

Ожидаемая трудоёмкость выполнения каждого этапа рассчитывается как сумма трудоёмкостей исполнения входящих в данный этап работ.

Время цикла выполнения работ рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{ож}} / P, \text{ дни;} \quad (6.3)$$

где $T_{\text{ож}}$ – ожидаемая трудоёмкость.

Результаты расчётов приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.3 – Расчёт трудоёмкости и времени цикла выполнения работ

№ этапов	№ работ	Трудоёмкость выполнения работ, дней			Численность работников			Длительность выполнения работ и этапов с учётом численности работников, дней
		T_{min}	T_{max}	$T_{\text{ож}}$	Руков. проекта	Студент	Итого	
1	1	5	10	7	1		1	7
	2	28	33	30		1	1	30
Итого				37				37
2	3	18	23	20		1	1	20
	4	10	15	12	1	1	2	24
	5	5	10	7	1	1	2	14
Итого				39				58

Продолжение таблицы 6.3

3	6	10	15	12		1	1	12
	7	5	10	7		1	1	7
Итого				19				19
4	8	5	10	7		1	1	7
	9	4	9	6	1	1	2	12
Итого				13				19
Всего				108				123

Исходя из рассчитанных значений, получаем, что длительность выполнения работ и этапов с учётом численности работников составляет 123 дней, а ожидаемая трудоёмкость всего 108 дней.

6.3 Расчёт сроков совершения событий до оптимизации сетевого графика

Для составления сетевого графика используем данные из таблицы 6.4.

Таблица 6.4 Перечень событий и работ по выполнению НИР

Наименование работ и событий	Шифр работ	Продолжительность работ, дни
1. Разработка технического задания на ВКР	0-1	7
2. Исследование имеющихся аналогов устройства. Поиск литературы	0-2	30
3. Изучение теории экструзии	2-3	20
4. Изучение методики проектирования экструзионных машин	3-4	12
5. Подготовка исходных данных	3-5	7
6. Изготовление прототипа филаментного экструдера	4-6	12
7. Разработка конструкторской документации	6-7	7
8. Анализ работы прототипа	6-8	7
9. Обработка полученных результатов	8-9	6

Кроме того, для составления сетевого графика необходимо производить расчёты по формулам 6.4-6.7

Ранние сроки совершения события рассчитываются по формуле:

$$T_{pi+1} = T_{pi} + D_{i- i+1} , \text{ дни} \quad (6.4)$$

где T_{pi} – ранний срок совершения события, из которого выходит работа, дни;

$D_{i- i+1}$ – продолжительность выполнения работы, дни.

Поздние сроки совершения события рассчитываются по формуле:

$$T_{ni+1} = T_{ni} - D_{i- i-1}, \text{ дни} \quad (6.5)$$

где T_{ni} – поздний срок совершения последующего события, дни.

Резервы события рассчитываются по формуле:

$$R_i = T_{ni} - T_{pi}, \text{ дни} \quad (6.6)$$

Рассчитаем длительность путей:

$T_1 = 0-2-3-4-6-8-9 = 30 + 20 + 12 + 12 + 7 + 6 = 87$ дней – критический (max);

$T_2 = 0-1-3-5-6-7-9 = 7 + 0 + 7 + 0 + 7 + 0 = 21$ день – не напряжённый.

Рассчитаем длительность оптимального пути:

$$T_{\text{опт}} = \frac{\sum_i^m T_i}{m}, \text{ дни;} \quad (6.7)$$

где T_i – длительность пути, дни;

m – количество путей.

Как выглядит сетевой график до оптимизации, показано на рисунке 6.1.

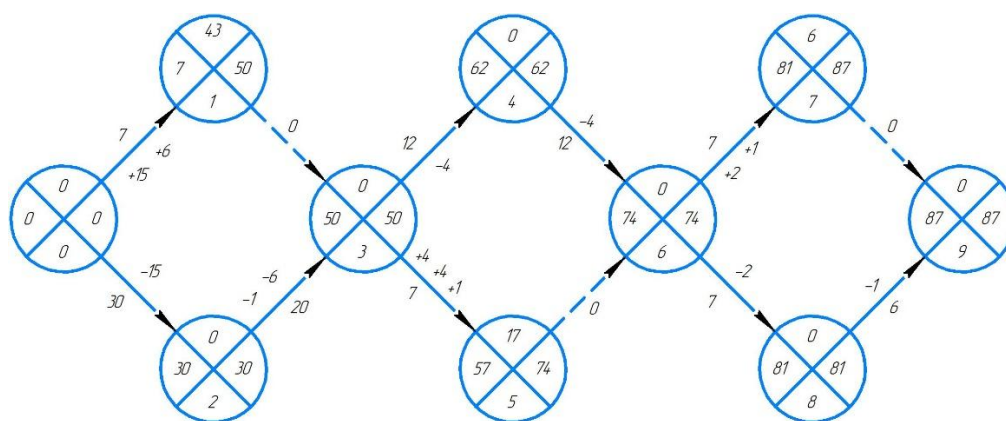


Рисунок 6.1 – Сетевой график до оптимизации

Оптимизированный сетевой график представлен на рисунке 6.2.

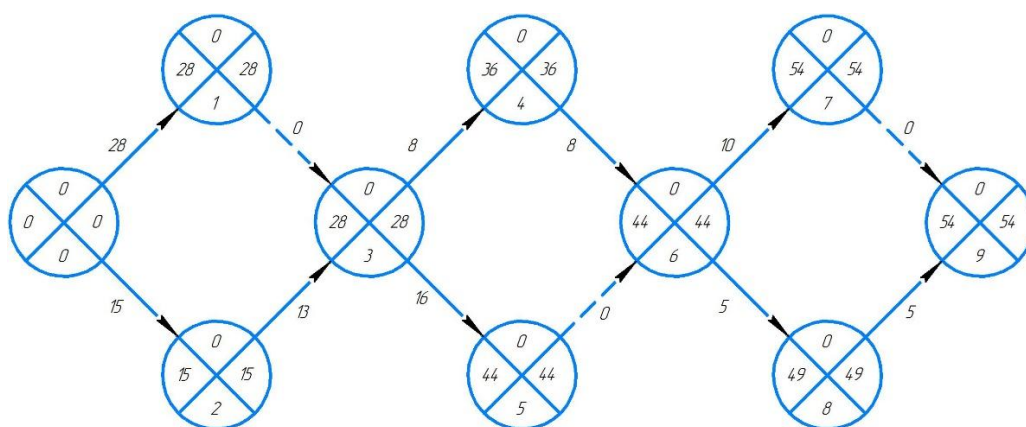


Рисунок 6.2 – Сетевой график после оптимизации

6.4 Определение состава и фонда заработной платы

Состав исполнителей по каждой теме проекта определяется штатным расписанием, в котором одновременно рассматривается и фонд заработной платы исполнителей (Таблица 6.5).

Таблица 6.5 – Штатное расписание исполнителей и фонда заработной платы

Наименование должности	Численность, чел	Месячный оклад, руб	Средняя дневная ставка, руб	Количество отработанных дней	Сумма заработной платы, руб
Научный руководитель	1	35000	1356,6	32	43411,2
Инженер	1	2500	83,3	91	7580,3

(студент)					
Итого:					50991,5

Сборка филаментного экструдера осуществляется также инженером и при данной квалификации занимает $t_{шт} = 0,2$ ч. Данные по времени сборки были определены в ходе курсовой работы по сборке филаментного экструдера [22].

Затраты на заработную плату сборщика рассчитываются по формуле:

$$З_{пл_{сб}} = t_{шт} \times C_{ч} = 0,2 \times 100 = 20, \text{ руб}; \quad (6.8)$$

где $t_{шт}$ – время сборки одной единицы продукции, ч;

$C_{ч}$ – часовая ставка сотрудника, руб/час.

Таким образом, затраты на сборку одной единицы составляют 20 руб.

В итоге, общие выплаты заработной платы сотрудникам проекта составляют $H_{ЗП} = 51011,5$ руб, а с учётом отчислений в страховые фонды в размере 30% от заработной платы составляют 66314,95 руб.

6.4 Расчёт суммарных затрат

Экономическая эффективность определяется, исходя из общих затрат, которые включают в себя все этапы, начиная с получения задания на выполнение работы, заканчивая изготовлением устройства.

Рассчитаем стоимость электроэнергии, затраченной на проектирование:

$$P_э = t \times M_y \times Ц_э = 54 \times 0,06 \times 3,25 = 11,4, \text{ руб}; \quad (6.9)$$

где t – трудоёмкость, ч;

M_y – мощность устройства, на котором производилось проектирование, кВт/ч;

$C_{\text{э}}$ – цена одного кВт электроэнергии, руб.

Таким образом, стоимость электроэнергии, которая была израсходована в ходе выполнения НИР, составляет 11,4 руб.

Также в общую сумму затрат входит стоимость изготовления экструдера, которая указана в смете к учебному проекту [Приложение Б]

Общий объём затрат рассчитывается по формуле:

$$Z_c = Z_{KB} + H_{ЗП} + P_{\text{э}} + P_{\text{ПР}} = 23017,09 + 66314,95 + 11,4 + 2263,24 = 91606,68 \quad (6.10)$$

где Z_{KB} – капитальные затраты, руб;

$H_{ЗП}$ – расходы на заработную плату, руб;

$P_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию, руб;

$P_{\text{ПР}}$ – затраты на изготовление прототипа, руб.

В заключении, рассчитав капитальные вложения, затраты на разработку, проектирование и сборку, а также на электроэнергию, израсходованную в ходе пользования электронно-вычислительными устройствами, получили затраты денежных средств на НИР в размере 91606,68 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной научно-исследовательской работы были выполнены следующие задачи:

1. Изучена актуальность создания установки подобного типа;
2. Изучена литература по проектированию экструзионных машин;
3. Изготовлен прототип филаментного экструдера;
4. Разработано новое устройство на основе прототипа;
5. Выполнен анализ безопасности и экологичности технического устройства.
6. Выполнен расчёт экономической эффективности.

По заключению проектирования имеем полный сборочный чертёж, спецификацию и характеристики нового устройства. Имея данную документацию, представляется возможным сборка такого оборудования.

Дальнейшим этапом необходимо сделать опытный образец для проверки работоспособности устройства в реальных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шишковский, И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения / И.В. Шишковский. – СПб. : Питер, 2016. – 400 с.
2. Оленев, Б.А. Проектирование производств литья под давлением для термопластов: учебник / Б.А. Оленев, Е.М. Мордкович, М.В. Барышникова. - М.: Химия, 1985. - 342 с.
3. Завгородний, В.К. Механизация и автоматизация переработки пластических масс: учебник / В.К. Завгородний. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1970. - 596с.
4. Lafleur, P.G. Polymer extrusion / Pierre G. Lafleur, Bruno Vergnes // London. : ISTE Ltd, 2014. – 335 с.
5. Литвинец, Ю.И. Технологические и энергетические расчёты при переработке полимеров экструзией / Ю.И. Литвинец. // Методические указания к практическим занятиям, курсовому и дипломному проектированию – Екатеринбург, 2010. – 56 с.
6. Суханов, И.М. Технология получения крупногабаритных изделий из полиэтилена и других термопластов / И.М. Суханов и [др.] // Пластические массы. - 2006. - №7. – 342 с..
7. Rauwendaal, C. Understanding extrusion 2nd edition / Chris Rauwendaal – Cad Hanser Verlag. : Munich, 2009. – 280 с.
8. Кудрявцева, З.А. Проектирование производств по переработке пластмасс методом экструзии / З.А. Кудрявцева, Е.В. Ермолаева // Учеб. пособие к выполнению курсового и дипломного проектов – Владим. гос. ун-т. : Владимир, 2003. – 96 с.
9. Рябинин, Д.Д. Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей / Д.Д. Рябинин, Ю.Е. Лукач – М.: Машиностроение, 1972. – 272 с.

10. Ким, В.С. Оборудование заводов пластмасс / В.С. Ким, М.А. Шерышев. // учеб. пособие для академического – 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 301 с.
11. Драгунов, Ю.Г. Марочник сталей и сплавов. 4-е изд., переработ. и доп. / Ю.Г. Драгунов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. Ю.Г. Драгунова и А.С. Зубченко – М. : 2014. – 1216 с.
12. Rauwendaal, C. Polymer extrusion fourth edition / Chris Rauwendaal, Paul J. Gramann, Bruce A. Davis, Tim A. Osswald – Hanser Publications. : Munich, 2008. – 768 с.
13. Анухин, В.И. Допуски и посадки. Выбор и расчёт, указание на чертежах / В.И. Анухин // Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. :Изд-во СПбГТУ, 2001. – 218 с.
14. Нахратова, Г.В. Основы метрологии, стандартизации, сертификации / Г.В. Нахратова, А.Г. Схиртладзе // Учебное пособие. – Тольятти: ТГУ, 2006. – 170 с.
15. Gerrit Coetzee. Filament thickness sensors, what are they and what are they good for. URL: <https://hackaday.com/2016/02/05/filament-thickness-sensors-what-are-they-and-what-are-they-good-for/> (дата обращения: 24.04.2019)
16. Яничкин, В.В. Стандартизация норм точности / В.В. Яничкин // Методические указания и контрольные задания по дисциплине «Стандартизация норм точности». – Гродно, 2014. – 42 с.
17. Вешеневский, С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. Изд. 6-е, исправленное / С.Н. Вешеневский. – М. : Энергия, 1977. – 432 с.
18. URL: <https://electroprivod.ru/gearmotor.htm> (дата обращения: 25.04.2019)
19. Усольцев, А.А. Общая электротехника / А.А. Усольцев //Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 301 с.
20. Горина, Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-

- методическое пособие / Л.Н. Горина, М.И. Фесина. – Тольятти : изд-во ТГУ, 2016. – 51 с.
21. Максимов, Д.Е. Курсовая работа по дисциплине «Специальные технологии в машиностроении» на тему: «сборка филаментного экструдера» / Д.Е. Максимов. – Тольятти: ТГУ, 2019. – 12 с.
 22. Bouvier, J.-M. Extrusion Processing Technology / Jean-Marie Bouvier, Osvaldo H. Campanella // Wiley Blackwell, 2014. – 530 с.
 23. URL: <https://www.thingiverse.com/thing:1199870> (дата обращения: 1.03.2019)
 24. URL: <https://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/plastics-polymers-and-resins/thermoplastics/documents/Hytrel/Hytrel%20Extrusion%20Manual.pdf> (дата обращения: 12.04.2019)
 25. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Plastics_extrusion (дата обращения: 29.03.2019)
 26. Wagner, J. Extrusion The definitive processing guide and handbook. Second edition / John R. Wagner Jr., Eldridge M. Mount III, Harold F. Giles Jr. – Kidlington: Oxford Elsevier, 2014/ – 617 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

TSL1401CL

128 × 1 Linear Sensor Array with Hold

General Description

The TSL1401CL linear sensor array consists of a 128 × 1 array of photodiodes, associated charge amplifier circuitry, and an internal pixel data-hold function that provides simultaneous-integration start and stop times for all pixels. The array is made up of 128 pixels, each of which has a photo-sensitive area of 3524.3 square micrometers. There is 8µm spacing between pixels. Operation is simplified by internal control logic that requires only a serial-input (SI) signal and a clock.

Ordering Information and Content Guide appear at end of datasheet.

Key Benefits & Features

The benefits and features of the TSL1401CL, Linear Sensor Array with Hold, are listed below:

Figure 1:
Added Value of Using TSL1401CL

Benefits	Features
<ul style="list-style-type: none">• Provides High Density Pixel Count	<ul style="list-style-type: none">• 128 x 1 Sensor-Element Organization
<ul style="list-style-type: none">• Enables High Resolution Scanning	<ul style="list-style-type: none">• 400 Dots-Per-Inch (DPI) Sensor Pitch
<ul style="list-style-type: none">• Enables Capacitive Threshold Sensing	<ul style="list-style-type: none">• High Linearity and Uniformity
<ul style="list-style-type: none">• Provides Full Dynamic Range	<ul style="list-style-type: none">• Rail-to-Rail Output Swing (AO)

- Wide Dynamic Range... 4000:1 (72dB)
- Output Referenced to Ground
- Low Image Lag... 0.5% Typ
- Operation to 8MHz
- Single 3V to 5V Supply
- No External Load Resistor Required
- Replacement for TSL1401R-LF
- RoHS Compliant

Рисунок А.1 – Технические характеристики фоточувствительной линейки

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица В.1 – Смета к прототипу

Название	Описание	Цена, руб	Кол-во	Ссылка на товар
Термоконтроллер REX-c100 с термопарой	Используется для управления нагревательным элементом	698,97	1	http://ali.onl/191L
Хомутовый нагревательный элемент	Располагается непосредственно на шнековом цилиндре для плавки материала	547,38/пара	2	http://ali.onl/191M
Профиль круглый бесшовный ВГП 20/2,8 мм	Используется в качестве цилиндра шнека	91,0 руб/пог. м	1 м	Прилагается чек
Профиль прямоугольный 50x25x2 мм	Из данного профиля собирается опора для шнекового цилиндра	108 руб/пог. м	1 м	Прилагается чек
Сверло по дереву 20x450 мм	Выполняет роль шнека	429,00	1	Прилагается чек
Диммер 12В	Регулирует частоту вращения двигателя путём изменения напряжения	109,20	1	http://ali.onl/1aRL
Твердотельное реле	Участвует в цепи термоконтроллера	279,69	1	http://ali.onl/1aRK
Итого		2263,24		