



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

| | |
|------------------------|---|
| Школа | <u>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</u> |
| Направление подготовки | <u>15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств</u> |
| ООП/ОПОП | <u>Автоматизация сварочных процессов и производств</u> |
| Специализация | <u>Автоматизация сварочных процессов и производств</u> |
| Отделение | <u>электронной инженерии</u> |

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

| Тема работы |
|---|
| Разработка автоматической системы 3D - печати термопластами |

УДК 004.925.84:004.356.2:678.073

Обучающийся

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1В91 | Сергеев Никита Алексеевич | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ | Гордынец А.С. | к.т.н. | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент ОЭИ | Скрипко С.И. | - | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Профессор ОСГН | Гасанов М.А. | д.э.н., доцент | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| ст. преподаватель ООД | Мезенцева И.Л. | | | |

Нормоконтроль

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ | Дерюшева В.Н. | к.т.н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП, должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ | Першина А.А. | к.т.н. | | |

Томск – 2023 г.



ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

| Код компетенции | Наименование компетенции |
|---|--|
| Универсальные компетенции | |
| УК(У)-1 | Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач |
| УК(У)-2 | Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений |
| УК(У)-3 | Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде |
| УК(У)-4 | Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах) |
| УК(У)-5 | Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах |
| УК(У)-6 | Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни |
| УК(У)-7 | Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности |
| УК(У)-8 | Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций |
| УК(У)-9 | Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи |
| Общепрофессиональные компетенции | |
| ОПК(У)-1 | Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда |
| ОПК(У)-2 | Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности |
| ОПК(У)-3 | Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности |
| ОПК(У)-4 | Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения |
| ОПК(У)-5 | Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью |
| Профессиональные компетенции | |
| ПК(У)-1 | Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и |

| | |
|-----------------|---|
| | проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования |
| ПК(У)-2 | Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий |
| ПК(У)-3 | Способен применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств |
| ПК(У)-4 | Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования |
| ПК(У)-5 | Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам |
| ПК(У)-6 | Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа |
| ПК(У)-18 | Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством |
| ПК(У)-19 | Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами |
| ПК(У)-20 | Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций |

| | |
|-----------------|--|
| ПК(У)-21 | Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством |
| ПК(У)-22 | Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения |



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

| | |
|------------------------|---|
| Школа | <u>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</u> |
| Направление подготовки | <u>15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств</u> |
| ООП/ОПОП | <u>Автоматизация сварочных процессов и производств</u> |
| Специализация | <u>Автоматизация сварочных процессов и производств</u> |
| Отделение | <u>электронной инженерии</u> |

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ А.А. Першина
(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

| Группа | ФИО |
|--------|---------------------------|
| 1В91 | Сергеев Никита Алексеевич |

Тема работы:

| | |
|---|---------------------|
| Разработка автоматической системы 3D - печати термопластами | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | 08.02.2023, 39-33/с |

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи обучающимся выполненной работы: | 22.06.2023 |
|--|------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|---|
| <p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p> | <p>Объектом исследования является: оптимальные параметры 3Д печати для достижения изотропности механических свойств.</p> |
| <p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p> | <p>1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 1.1 Обзор видов термопластов для FDM 3Д печати 1.2 Сравнение термопластов для 3Д печати 1.3 Обзор параметров 3Д печати 2. Практическая часть 2.1 Выбор термопласта для проведения исследования 2.2 Выбор исследуемых параметров 3Д печати 2.3 Создание 3Д модели для печати образцов</p> |

| | |
|--|--|
| | 2.4 Проведение испытаний и их результаты 2.4.1 Группа №0 2.4.2 Группа №1 2.4.3 Группа №2 2.4.4 Группа №3 2.4.5 Группа №4 2.4.6 Группа №5 2.4.7 Группа №6 и №7 2.4.8 Обработка результатов 2.5 Разработка программы автоматического расчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности. |
|--|--|

| | |
|---|--|
| Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | |
|---|--|

| | |
|--|--|
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i> | |
|--|--|

| Раздел | Консультант |
|----------------------------|--|
| Финансовый менеджмент | Гасанов Магеррам Али оглы, профессор, д-р экон. Наук |
| Социальная ответственность | Мезенцева Ирина Леонидовна ст. Преподаватель ООД |

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ | Гордынец А.С. | к.т.н. | | |
| Ассистент ОЭИ | Скрипко С.И. | - | | |

Задание принял к исполнению обучающийся:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1В91 | Сергеев Никита Алексеевич | | |

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

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 ООП/ОПОП Автоматизация сварочных процессов и производств
 Специализация Автоматизация сварочных процессов и производств
 Отделение электронной инженерии

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

| Группа | ФИО |
|--------|---------------------------|
| 1В91 | Сергеев Никита Алексеевич |

Тема работы:

| |
|---|
| Разработка автоматической системы 3D - печати термопластами |
|---|

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи обучающимся выполненной работы: | 22.06.2023 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|--|------------------------------------|
| 09.02.23 | Введение | ... |
| 27.02.03 | 1.1 Обзор видов термопластов для FDM 3Д печати | |
| 01.03.23 | 1.2 Сравнение термопластов для 3Д печати 1.3 Обзор параметров 3Д печати | |
| 20.03.23 | 2. Практическая часть 2.1 Выбор термопласта для проведения исследования 2.2 Выбор исследуемых параметров 3Д печати 2.3 Создание 3Д модели для печати образцов | |
| 05.04.23 | 2.4 Проведение испытаний и их результаты 2.4.1 Группа №0 | |
| 15.04.23 | 2.4.2 Группа №1 2.4.3 Группа №2 2.4.4 Группа №3 | |
| 30.04.23 | 2.4.5 Группа №4 2.4.6 Группа №5 2.4.7 Группа №6 и №7 2.4.8 Обработка результатов | |
| 15.05.23 | 2.5 Разработка программы автоматического расчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности. | |
| 20.05.23 | Заключение | |

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ | Гордынец А.С. | к.т.н. | | |

Консультант (при наличии)

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|------------------------|---------|------|
| | | | | |

| | | | | |
|---------------|--------------|---|--|--|
| Ассистент ОЭИ | Скрипко С.И. | - | | |
|---------------|--------------|---|--|--|

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭИ | Першина А.А. | к.т.н. | | |

Обучающийся

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1В91 | Сергеев Никита Алексеевич | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 90 с., 12 рис., 26 табл., 23 источников, 3 прил.

Ключевые слова: 3д печать, термопласт, ABS пластик, параметры 3д печати, предел прочности на растяжение

Объектом исследования (разработки) является (ются):

Оптимальные условия наплавления послойного наплавления филамента для деталей с низкой степенью изотропности механических свойств.

Цель работы – заключается определении оптимальных условий послойного наплавления филамента для деталей с низкой изотропностью механических свойств и создание алгоритма автоматического подсчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности.

В ходе работы проводились (исследования, расчеты и т. п.):

Создание 3Д модели образца для проведения испытаний, выбор изменяемых параметров для образцов испытаний, проведение испытаний предела прочности образцов на растяжение, расчет предела прочности образцов исходя из результатов испытаний, написание программы автоматического расчета скорости 3Д печати исходя из планируемого предела прочности образца.

В результате (исследований, расчетов и т. п.):

Были выбраны оптимальные параметры печати ABS пластиком для приближения к изотропности механических свойств изделия, разработана программа автоматического расчета скорости печати исходя из планируемого предела прочности образца.

Степень внедрения:

Исследование процессов 3Д печати.

Область применения:

3Д печать по технологии FDM

Экономическая эффективность/значимость работы:

Увеличение прочности или скорости печати в зависимости от нужд производства.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 14 |
| 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ..... | 17 |
| 1.1 Обзор видов термопластов для FDM 3Д печати | 17 |
| 1.2 Сравнение термопластов для 3Д печати | 21 |
| 1.3 Обзор параметров 3Д печати..... | 22 |
| 2. Практическая часть..... | 25 |
| 2.1 Выбор термопласта для проведения исследования | 25 |
| 2.2 Выбор исследуемых параметров 3Д печати | 26 |
| 2.3 Создание 3Д модели для печати образцов..... | 27 |
| 2.4 Проведение испытаний и их результаты | 29 |
| 2.4.1 Группа №0 | 30 |
| 2.4.2 Группа №1 | 30 |
| 2.4.3 Группа №2 | 31 |
| 2.4.4 Группа №3 | 31 |
| 2.4.5 Группа №4 | 33 |
| 2.4.6 Группа №5 | 33 |
| 2.4.7 Группа №6 и №7 | 34 |
| 2.4.8 Обработка результатов | 36 |
| 2.5 Разработка программы автоматического расчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности. | 38 |
| 3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ | 42 |
| 3.1 Введение по разделу..... | 42 |
| 3.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 42 |
| 3.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства | 43 |
| 3.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны | 43 |
| 3.3 Производственная безопасность | 44 |
| 3.4 Анализ опасных производственных факторов | 44 |

| | |
|--|----|
| 3.4.1 Производственный фактор, связанный с повышенным уровнем электромагнитных излучений..... | 44 |
| 3.4.2 Производственный фактор, связанный с повышенным уровнем статического электричества..... | 45 |
| 3.4.3 Производственный фактор, связанный с отсутствием или недостатком необходимого естественного освещения..... | 45 |
| 3.4.4 Производственный фактор, связанный с превышением уровня шума | 46 |
| 3.4.5 Производственный фактор, связанный с твердыми и газообразными токсическими веществами | 46 |
| 3.4.6 Производственный фактор, связанный с нагревом тепловыделяющих механизмов 3Д принтера. | 47 |
| 3.4.7 Производственный фактор, связанный с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает рабочий..... | 47 |
| 3.5 Экологическая безопасность..... | 48 |
| 3.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 49 |
| 3.7 Выводы по разделу | 51 |
| 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ | 55 |
| 4.1 Введение по разделу | 55 |
| 4.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 56 |
| 4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования | 56 |
| 4.3 Анализ конкурентных технических решений..... | 59 |
| 4.3.1 SWOT-анализ | 60 |
| 4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию | 62 |
| 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования..... | 62 |
| 4.4.2 Определение трудоёмкости выполнения работ..... | 63 |
| 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования..... | 64 |
| 4.5 Бюджет научно-технического исследования | 65 |

| | |
|---|----|
| 4.5.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования ... | 66 |
| 4.5.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ..... | 67 |
| 4.5.3 Основная заработная плата исполнителя темы | 68 |
| 4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды..... | 69 |
| 4.5.5 Накладные расходы | 70 |
| 4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.. | 72 |
| 4.7 Заключение по разделу..... | 75 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 76 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 77 |
| Приложение А | 81 |
| Приложение Б | 81 |
| Приложение В..... | 86 |

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

FDM (Fused Deposition Modelling): Моделирование методом наплавления. Создание трёхмерных объектов за счёт нанесения последовательных слоёв материала, повторяющих контуры цифровой модели. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде катушек нитей или прутков.

Филамент: В 3Д печати — расходный материал, используемый для печати на 3D-принтере; представляет собой нить из термопласта или композита сечением 1,75 или 3 мм

Программа-слайсер: В 3Д печати – программа для преобразования трехмерной модели необходимого изделия в код для микроконтроллера 3Д принтера. Так же в ней производятся настройки параметров печати.

ВВЕДЕНИЕ

3D-печать является одной из самых инновационных технологий в сфере производства, а ее использование оказывает значительное влияние на различные отрасли промышленности. Технология 3D-печати использует моделирование виртуальных объектов, которые затем изготавливаются из разных материалов, в частности из термопластов по технологии FDM

Одна из областей, где 3D-печать становится все более популярной, это производство прототипов и моделей. Благодаря технологии 3D-печати, можно быстро создавать прототипы и поэтому она становится незаменимой технологией в сфере проектирования и разработки. Она позволяет ускорить проектирование и производство прототипов в несколько раз, что может значительно сократить время процесса разработки и существенно увеличить качество и точность прототипов.

3D-печати может использоваться для создания уникальных деталей для техники и оборудования, которые часто требуют специфических компонентов, которых нет в наличии, либо они слишком дорогие.

Также 3D-печать может быть полезной для создания единичной продукции. Используя 3D-печать, компании могут предлагать индивидуальные варианты продукции своим потребителям, что в свою очередь позволит быстрее и дешевле удовлетворить спрос.

Однако существенной проблемой изделий, выполненных 3D печатью по технологии FDM, является нестабильная прочность. При испытании изделий на разрыв, предел прочности деталей с параллельной укладкой слоев относительно исследуемой оси обычно в 1,5-2 раза выше, чем у такой же детали с перпендикулярной укладкой слоев относительно исследуемой оси. Этот факт уменьшает количество возможных вариантов применения изделий напечатанных на 3D принтере по технологии FDM и увеличивает количество брака при производстве продукции.

Цель работы заключается в определении оптимальных условий послойного наплавления филамента для деталей с низкой изотропностью

механических свойств и разработка программы определяющей зависимость предела прочности от скорости печати. Для этого необходимо выбрать тип термопласта для проведения исследования, создать 3Д модель для печати образцов из исследуемого пластика, подобрать параметры печати для исследования, провести испытания предела прочности образцов на разрыв, по результатам исследования написать программное приложения для автоматического расчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности образца.

В этой выпускной квалификационной работе представлены результаты исследования предела прочности ABS пластика на разрыв и разработки программного приложения для автоматического расчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности изделия. В качестве исследуемых параметров 3Д печати были выбраны: скорость печати, температура печати, толщина слоя и процент потока заполнения. Исследования проводились на филаменте ABS черного цвета от компании BESTFILAMENT. Печать образцов для исследования производилась на 3Д принтере GHOST 5 от компании FLYING BEAR с доработанными экструдером, хот эндом и системой обдува изделия. Для подбора и изменения параметров печати была использована программа-слайсер CURA от компании ULTIMAKER. Создание 3Д модели для печати образцов производилось в программе Inventor professional 2022 от компании Autodesk. Программное приложения для автоматического подсчета скорости печати в зависимости от предела прочности изделия была разработана на языке программирования Python. Данные, полученные в ходе исследования, могут быть использованы для оптимизации затрат времени на производство изделий по технологии FDM в зависимости от необходимого предела прочности деталей.

Научная значимость результатов заключается в определении значений параметров, при которых изделия напечатанные на 3Д принтере будут обладать высокой изотропностью механических свойств.

Практическая значимость работы заключается в разработке программного приложения, которое сможет считать скорость печати в зависимости от требуемого предела прочности конечного изделия, что в свою очередь поможет оптимизировать производство по технологии FDM – снизить себестоимость и уменьшить количество брака.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Научные работы связанные с исследованием механических свойств изделий из ABS пластика уже существуют, например исследование «Экспериментальное и расчетное определение механических характеристик образцов ABS-пластика при растяжении, изготовленных методом 3D-печати»[1], «Исследование структуры и свойств изделий, полученных 3D-печатью»[2], «Влияние технологических режимов FDM-печати и состава используемых материалов на физико-механические характеристики FDM-моделей»[3]. В этих исследованиях рассматривается прочность вдоль и поперек слоев печати изделий, однако в них слабо затрагивается влияние параметров(настроек) печати на полученные результаты. В некоторых из них присутствует метод расчета прочности деталей на разрыв, однако не рассматривается автоматический метод расчета и зависимость механических параметров печати.

Для проведения исследований на определение оптимальных параметров 3D печати для изотропности механических свойств изделий, необходимо выбрать термопласт или филамент для проведения испытаний, определиться с исследуемыми параметрами 3D печати, создать 3D модель для проведения печати образцов и проведения испытаний и по результатам испытаний создать программное приложения для автоматического расчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности. Необходимо чтобы изделия из термопласта при обычных параметрах печати имели низкую изотропность механических свойств и термопласт был дешев при покупке и при этом популярен. Так же необходимо чтобы выбранные для исследования параметры 3D печати значительно влияли итоговую прочность изделия.

1.1 Обзор видов термопластов для FDM 3D печати

Рассмотрены виды термопластов для 3D печати FDM, их особенностей и свойств. В [4] рассмотрены следующие основные виды термопластов:

1. ABS.
2. PLA.

3. PETG.
4. HIPS.
5. SBS.
6. TPU.
7. NYLON.
8. ASA.
9. PP.
10. PC.
11. POM.
12. PEEK.
13. PVA.

Рассмотрим основные свойства перечисленных выше термопластов при использовании из в 3Д печати.

ABS или акрилонитрилбутадиенстирол – популярный и дешевый пластик. Обладает высокой прочностью и твердостью, химической стойкостью, достаточно температуроустойчив. Имеет высокую твердость при этом легко обрабатывается механически(резание, сверление, шлифование), так же возможна химическая обработка(растворяется в ацетоне, возможна склейка деталей из ABS с помощью ацетона). Разлагается при воздействии УФ-лучей. Имеет усадку при остывании, для качественной печати требует термокамеру. При ее отсутствии печатная деталь будет трескаться по слоям, спекание слоев будет низким и соответственно низкая изотропность механических свойств.

PLA или полилактид – дешевый и популярный пластик. Обладает высокой прочностью и твердостью, прост в печати и практически не имеет усадки. Разлагается со временем т.к. по сути является экологически чистым пластиком. Имеет низкую температуру эксплуатации, размягчается при 40-50 °С. При низкой температуре становится хрупким. Возможна ограничено механическая и химическая обработка, растворяется в дихлорэтано. Обладает средней изотропностью механических свойств.

PETG или полиэтилентерефталат-гликоль – дешевый и популярный пластик. Обладает высокой прочностью и средней твердостью. Обладает химической и атмосферной стойкостью. Не имеет усадки. Возможна химическая обработка(растворяется в дихлорэтаноле) и ограниченная механическая обработка. Обладает средней температурой эксплуатации 50-70 °С. Стоек к УФ-лучам и крайне долговечен. Обладает низким коэффициентом трения и высокой ударпрочностью. Обладает высокой степенью изотропности механических свойств.

HIPS или полистирол – крайне дешевый пластик. Обладает низкой прочностью и твердостью. Обладает высокой температурой эксплуатации. Имеет низкую усадку. Легко обрабатывается механически и химически(растворяется в лимонене). Обладает очень узким диапазоном применений, поэтому непопулярен.

SBS или стиролбутадиен-стирол – пластик средней цены и популярности. Имеет низкую усадку и обладает высокой гибкостью и ударпрочностью, имеет низкую твердость. Атмосфероустойчив, однако разрушается под действием УФ-лучей. Возможна механическая обработка. Крайне прозрачен, возможно изготовление полностью прозрачных изделий. Обладает средней степенью изотропности механических свойств.

TPU или термополиуретан – пластик высокой цены и средней популярности. Крайне мягкий, обладает высокой температурой эксплуатации. Возможна механическая обработка резанием. Очень прочны на разрыв, ударпрочный. Крайне гигроскопичен, перед каждой печатью обязательна сушка. Обладает низким коэффициентом трения. Обладает низкой степенью изотропности механических свойств.

NYLON или полиамид-12 – пластик высокой цены и средней популярности. Из класса «бытовых» является обладателем самого низкого коэффициента трения и самой высокой усадки. Высокая температура эксплуатации, высокая изотропность механических свойств, химически стойкий. Достаточно твердый. Крайне гигроскопичен.

ASA или акрилонитрилстиролакрилат – не сильно популярный пластик средней цены. По сравнению с его более дешевым аналогом ABS, обладает сопротивлением к УФ-лучам и атмосферостойкостью. Более химически устойчив по сравнению с ABS. Обладает высокой усадкой, по физическим характеристикам является полным аналогом ABS. Возможна механическая обработка, обладает низкой степенью изотропности механических свойств.

PP или полипропилен – не популярный пластик средней цены. Обладает высокой прочностью и химически устойчив. Имеет высокую усадку. Имеет высокий коэффициент трения, подвержен истиранию. Имеет высокую температуру эксплуатации. Возможна механическая обработка. Имеет низкую плотность, обладает низкой степенью изотропности механических свойств. У пластика много аналогов по характеристикам, поэтому не очень популярен.

PC или поликарбонат – не популярный пластик средней цены, Обладает высокой температурой эксплуатации. Высокая прочность и хорошая твердость. Обладает низким коэффициентом трения. Возможна механическая обработка, высокая химическая стойкость. Обладает высокой гигроскопичностью и температурной усадкой. Обладает высокой изотропностью механических свойств. Разрушается под воздействием УФ-лучей. Чаще используется в смеси с ABS пластиком.

POM или полиацеталь – не популярный пластик высокой цены. Относится к инженерным пластикам, с которыми практически невозможно работать на бытовом 3D принтере. Обладает очень высокой прочностью, ударостойкостью и очень низким коэффициентом трения. Так же имеет широкий диапазон рабочих температур от -50 до 135 °С.

PEEK или полиэфирэфиркетон - профессиональный тугоплавкий пластик. Высокая температура эксплуатации до 150 °С. Очень прочный, химически стойкий, низкий коэффициент трения. Очень дорогой и не популярный пластик. Однако его непопулярность обусловлено его температурой печати в 410 °С. Это инженерный пластик под дорогие профессиональные принтеры.

PVA или поливиниловый спирт – дорогой и не популярный водорастворимый пластик. Основная его задача и это печать поддержек на многоэкструдерных принтерах, чтобы экономить пластик, который стоит еще дороже чем он сам. Обладает низкой твердостью и прочностью, нельзя нагревать выше 210 °С. Гигроскопичен и обладает высокой изотропностью механических свойств.

1.2 Сравнение термопластов для 3Д печати

Существует множество различных термопластов для 3Д печати по технологии FDM, которые имеют схожие механические и химические характеристики, однако имеют разную цену и другие особенности работы с ними. Сравним 3 самых популярных из них.

Таблица 1.1 – Сравнение характеристик термопластов

| Критерий | ABS | PLA | PETG |
|-----------------------------------|------------|--------------|--------------|
| Цена | Низкая | Низкая | Низкая |
| Твердость | R109 | R80 | R 106 |
| Прочность | Высокая | Высокая | Высокая |
| Изотропность механических свойств | Низкая | Средняя | Высокая |
| Коэффициент трения | Высокий | Высокий | Средний |
| Температура эксплуатации верхняя | 90 °С | 50 °С | 60 °С |
| Сложность печати | Средняя | Низкая | Низкая |
| Плотность | 1040 кг/м3 | 1250 кг/м3 | 1290 кг/м3 |
| Атмосферостойкость | Ограничена | Нет | Да |
| Растворители | Дихлорэтан | Дихлорэтан | Дихлорэтан |
| Усадка при печати | Средняя | Очень низкая | Очень низкая |
| Стойкость к УФ-лучам | Нет | Нет | Да |

Термопласты в таблице имеют разные характеристики, что говорит об не взаимозаменяемости этих пластиков, однако среди них ABS пластик является самым дешевым, самым популярным и что самое важно – имеет низкую изотропность механических свойств при обычных настройках печати.

1.3 Обзор параметров 3Д печати

В программе-слайсере CURA существуют более 100 параметров и все они влияют на характеристики в последствие полученных изделий. Рассмотрим корневые параметры слайсинга[5].

Высота слоя - параметр, отвечающий за толщину одного слоя по оси Z. Как правило указывается в пределах от четверти до половины от параметра «ширина линии». Чем выше этот параметр, тем больше напечатанное изделие внешне будет «слоистым». Предполагаемо существенно влияет на прочность изделия.

Ширина линии - параметр, отвечающий за ширину линии печати относительно оси X или Y, обычно указывается такой же толщины, как и толщина сопла на 3Д принтере или максимум на 50% больше. От этого параметра в первую очередь зависит визуальное качество модели со смещением слоев по осям X и Y.

Толщина стенки/толщина крышки/толщина дна – параметры влияющие на количество линий стенки модели считая от внешних контуров детали. Влияют на прочность модели при заполнении меньше 80%, однако при заполнении 100% почти не играет роли.

Плотность заполнения – параметр влияющий на соотношение пластика и воздуха внутри модели(внутренняя часть модели начинаются после того как закончились линии стенки). К примеру параметр 20% обеспечивает наполненность внутренней части модели пластиком в соотношении к воздуху 1 к 4. влияет на прочностные характеристики изделия, однако для достижения максимальной прочности в любом случае необходимо выставить значение 100%

Шаблон заполнения – параметр, влияющий на форму заполнения. Из списка может быть выбрано более 10 различных вариантов, отличающиеся по форме и геометрическим характеристикам. Влияет на прочностные характеристики изделия, однако при заполнении 100% практически не влияет.

Температура сопла – параметр, отвечающий за температуру нагревательного элемента, плавящего пластик во время печати. Подбирается вручную для разных пластиков в зависимости от характеристик, заявленных производителем и с помощью проведения экспериментов. Значительно влияет на прочностные характеристики деталей. Если подобрать этот параметр неверно, то при слишком низкой температуре пластик будет слишком быстро застывать и не будет соединяться с предыдущим слоем, либо при слишком высокой температуре не будет успевать остывать или вовсе начнет гореть. Для увеличения прочности очень важно подобрать этот параметр верно.

Температура стола – параметр, отвечающий за температуру стола. Не влияет на прочностные характеристики изделий, однако помогает при печати зафиксировать деталь. Подбирается в зависимости от указаний производителя пластика или экспериментально.

Поток – параметр влияющий объемный расход пластика относительно нормального, в процентах. 100% - обычное значение при котором принтер должен печатать согласно управляющей программе производителя. Увеличивает или уменьшает объемный расход пластика. Значительно влияет на прочность изделия.

Поток заполнения - подраздел параметра «Поток», отвечающий за тот же объемный расход, но только внутри 3Д модели. Значительно влияет на прочность изделия.

Скорость печати – определяет скорость с которой печатающая голова будет укладывать нить пластика на слой. Состоит из трех основных подпараметров: скорости заполнения, скорости печати стенок, скорости печати крышки и дна. Значительно влияет на прочность изделий.

Величина отката - расстояние, на которое экструдер возвращает пруток филамента обратно, для того чтобы при холостом перемещении печатающей головы пластик не вытек из сопла, тем самым предотвратил артефакты на изделии. Не влияет на прочность изделий.

Скорость отката – скорость с которой экструдер возвращает пруток филамента обратно, для той же процедуры что и «величина отката». Не влияет на прочность изделия.

Интенсивность охлаждения – некоторая величина в процентах, которая регулирует обороты вентилятора охлаждающего деталь для печати следующего слоя. Подбирается экспериментально или по указанию производителя пластика. Косвенно влияет на прочность изделий.

Генерация поддержек – включение или отключение специальной функции, которая генерирует около модели дополнительные модели, чтобы элементы модели, не опирающиеся на предыдущий слой, смогли быть напечатаны. Не влияет на прочностные характеристики изделий.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Выбор термопласта для проведения исследования

Для проведения исследования необходимо было выбрать термопласт для проведения исследования. При обычных настройках печати он должен обладать низкой изотропностью механических свойств, так же он должен быть популярен и иметь низкую стоимость. Согласно разделу 1.2 для этого был выбран ABS пластик. А конкретно ABS пластик черного цвета от компании BESTFILAMENT.

Гранулы выбранного пластика с завода обладают следующими характеристиками:

| Ориентировочные значения для натурального продукта при 23°C | Метод испытаний | Единица измерения | Значение |
|--|-------------------|-------------------------|-----------|
| Характеристики продукта | | | |
| Краткое обозначение полимера | - | - | ABS |
| Плотность | ISO 1183 | кг/м ³ | 1040 |
| Водопоглощение, насыщение водой при 23°C | аналогично ISO 62 | % | 0,95 |
| Влагопоглощение, насыщение при стандартных климатических условиях 23°C/50% относительной влажности | аналогично ISO 62 | % | 0,24 |
| Показатель текучести расплава MVR 220°C/10 кг | ISO 1133 | см ³ /10 мин | 25 |
| Характеристики материала по трудноточности | | | |
| Испытания по стандарту UL при d = 1,6 мм | UL-94 | класс | HB |
| Испытания материалов для автомобильной промышленности (d>=1 мм) | - | - | + |
| Механические свойства | | | |
| Модуль эластичности | ISO 527-1/2 | МПа | 2300 |
| Напряжение при растяжении, 50 мм/мин | ISO 527-1/2 | МПа | 44 |
| Удлинение при растяжении, 50 мм/мин | ISO 527-1/2 | % | 2,4 |
| Номинальное удлинение при разрыве, 50 мм/мин | ISO 527-1/2 | % | 12 |
| Прочность на изгиб | ISO 178 | МПа | 65 |
| Ударная вязкость по Шарпи (23°C) | ISO 179/1eU | кДж/м ² | 125 |
| Ударная вязкость по Шарпи (-30°C) | ISO 179/1eU | кДж/м ² | 90 |
| Ударная вязкость по Изоду образца с надрезом (23°C) | ISO 180/A | кДж/м ² | 22 |
| Ударная вязкость по Изоду образца с надрезом (-30°C) | ISO 180/A | кДж/м ² | 7 |
| Ударная вязкость по Шарпи образца с надрезом (23°C) | ISO 179/1eA | кДж/м ² | 19 |
| Ударная вязкость по Шарпи образца с надрезом (-30°C) | ISO 179/1eA | кДж/м ² | 7 |
| Ударная вязкость по Изоду, метод А (23°C) | ASTM D 256 | Дж/м | 240 |
| Твёрдость Н на продавливание шариком 358 Н/30 с | ISO 2039-1 | МПа | 99 |
| Термические свойства | | | |
| HDT A (1,80 МПа) | ISO 75-1/2 | °C | 78 |
| HDT B (0,45 МПа) | ISO 75-1/2 | °C | 89 |
| Температура размягчения по Вика VST/A/50 | ISO 306 | °C | 102 |
| Температура размягчения по Вика VST/B/50 | ISO 306 | °C | 95 |
| Макс. температура при эксплуатации, до нескольких часов | - | °C | 80 |
| Терм. коэффициент линейного расширения, в продольном напр. (23-80)°C | ISO 11359-1/2 | Е-4/°C | 0,8 - 1,1 |
| Коэффициент теплопроводности | DIN 52612-1 | Вт/(м К) | 0,17 |
| Электрические свойства | | | |
| Удельное объёмное сопротивление | IEC 60093 | Ом*м | 1E13 |
| Электрическая пробивная прочность K20/P50 d = 0,6 - 0,8 мм | IEC 60243-1 | кВ/мм | 38 |

Рисунок 2.1 – Характеристики гранул ABS пластика

2.2 Выбор исследуемых параметров 3Д печати

Для исследования зависимости предела прочности образцов от параметров 3Д печати согласно пункту 1.3 были выбраны следующие параметры:

1. Изменение температуры – прочность соединения слоев сильно зависит от температуры печати. Необходимо подобрать такую температуру чтобы предел прочности был наибольшим.

2. Изменение скорости печати – от скорости так же сильно зависит прочность соединения слоев между собой. Если скорость будет меньше необходимой, то предыдущий слой изделия будет остывать слишком быстро и не будет спекаться с новым слоем. Если скорость будет слишком большой то предыдущий слой не будет успевать остывать и образец будет деформироваться и изменится геометрия, что так же отрицательно скажется на прочностных характеристиках.

3. Толщина слоя – от толщины слоя зависит какой процент поверхности предыдущего слоя будет соприкасаться с новым, а чем больше площадь поверхности соприкосновения, тем больше прочность.

4. Поток заполнения – был взят параметр «поток заполнения», потому что при условии, что он влияет на изделие практически точно так же, как и «поток», за исключением момента что внешние размеры изделия при использовании «поток заполнения» не нарушаются. На стандартных параметрах между соседними уложенными линиями всегда есть пустое пространство, этот параметр позволит заполнить это пустое пространство тем самым увеличить площадь соприкосновения всех слоев между собой.

Неизменные значения параметров печати образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2.1 – Неизменные параметры печати

| Наименование параметра | Значение |
|--------------------------------------|----------|
| Высота первого слоя, мм | 0,2 |
| Ширина линии, мм | 0,4 |
| Толщина стенки, мм | 1,6 |
| Толщина крышки/дна, мм | 0,8 |
| Шаблон заполнения | Линии |
| Направление линий заполнения, град. | 90 |
| Температура стола, град. | 100 |
| Поток | 100% |
| Скорость холостого перемещения, мм/с | 150 |
| Величина отката, мм | 1 |
| Скорость отката, мм/с | 40 |
| Скорость вентилятора | 35% |
| Начальная скорость вентилятора | 0% |
| Допуск слайсинга | Середина |
| Поток заполнения | 102% |
| Скорость печати, мм/с | 40 |
| Толщина слоя, мм | 0,2 |
| Температура печати, град. | 220 |

2.3 Создание 3Д модели для печати образцов

Создаем 3Д модель для печати образцов и испытаний предела прочности на разрыв согласно чертежам в ГОСТ 11262-2017[6] с изменениями толщины детали под работу разрывной машине, предназначенной для больших нагрузок.

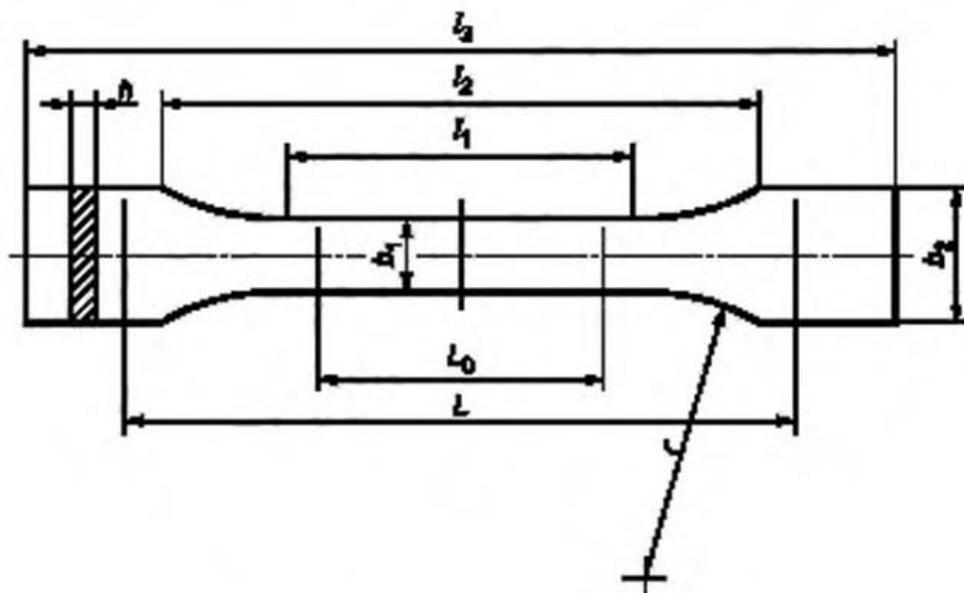


Рисунок 2.2 - Чертеж модели из ГОСТ 11262-2017

Параметры образца для испытаний:

Таблица 2.3 – Размеры образца в чертеже

| Размер | 1В |
|---|--------|
| L_3 – Общая длина | 158 мм |
| L_1 – Длина узкой части с параллельными сторонами | 60 мм |
| R – Радиус закругления | 60 мм |
| L_2 – Расстояние между широкими частями с параллельными сторонами | 108 мм |
| B_2 – Ширина головки | 20 мм |
| B_1 – Ширина узкой части | 10 мм |
| h – Рекомендуемая толщина | 4 мм |

Из-за особенностей машины для проведения испытаний, параметр h придется изменить, увеличив его до 20 мм. Итоговая 3Д модель выглядит следующим образом:

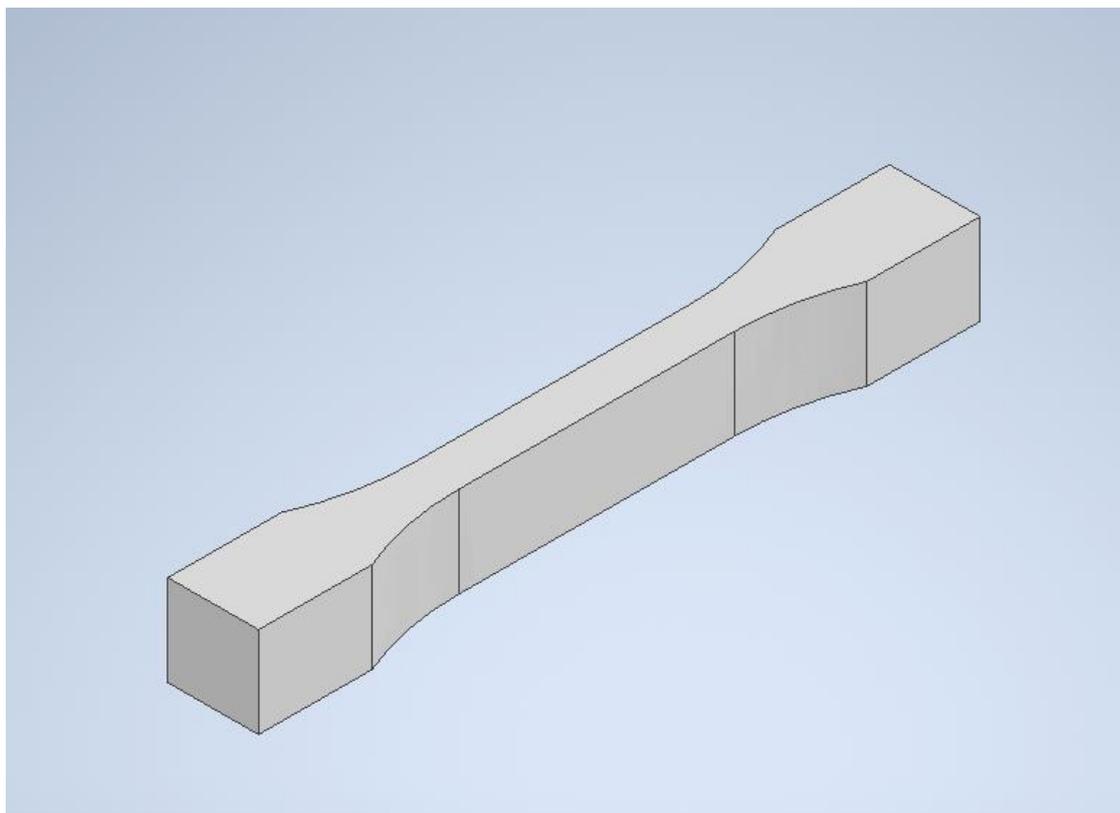


Рисунок 2.3 – 3Д модель, используемая для проведения испытаний

2.4 Проведение испытаний и их результаты

Были распечатаны 16 образцов для проведения испытаний на разрыв. Образцы из группы 0 имели ориентацию слоев параллельную направлению растяжения при испытаниях и были распечатаны с изменением параметра температуры печати. Образцы из группы 1 и последующие группы имели ориентацию слоев перпендикулярно направлению растяжения при испытаниях. Образцы из группы 1 были распечатаны с изменением параметра температуры печати. Образцы из 2 группы были распечатаны с изменением параметра скорости. Образцы из 3 группы были распечатаны с изменением параметра толщины слоя. Образцы из 4 группы были распечатаны с изменением параметра потока заполнения. Испытания проводились на разрывной машине ИР 5082-500 на скорости 5 мм/мин.



Рисунок 2.4 – Распечатанные образцы для испытаний на разрыв
2.4.1 Группа №0

В нулевой группе были разорваны горизонтальные образцы с изменением температуры. Результаты разрыва прописаны в таблице 2.3

Таблица 2.3 – результаты образцов из группы №0

| Наименование образца | Температура печати, °С | Предел прочности, МПа |
|----------------------|------------------------|-----------------------|
| Образец №0.2 | 220 | 23 |
| Образец №0.3 | 240 | 27 |
| Образец №0.4 | 250 | 23 |

2.4.2 Группа №1

В первой группе были разорваны вертикальные образцы с изменением температуры. Результаты разрыва прописаны в таблице 2.4

Таблица 2.4 – результаты образцов из группы №1

| Наименование образца | Температура печати, °С | Предел прочности, МПа |
|----------------------|------------------------|-----------------------|
| Образец №1.1 | 220 | 24 |
| Образец №1.2 | 250 | 30 |
| Образец №1.3 | 200-250 | 29 |
| Образец №1.4 | 240 | 14 |

Образец №1.3 в зоне растяжения (длина зоны растяжения 60 миллиметров) каждые 10 мм изменял температуру печати на 10 градусов. Образец №1.4 является дефектным и при дополнительном тесте на таких же настройках показал результаты лучше.

2.4.3 Группа №2

Во второй группе были разорваны вертикальные образцы с изменением скорости. Результаты разрыва прописаны в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – результаты образцов из группы №2

| Наименование образца | Скорость печати, мм/с | Предел прочности, МПа |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Образец №2.1 | 20 | 18 |
| Образец №2.2 | 40 | 19 |
| Образец №2.3 | 60 | 20 |
| Образец №2.4 | 90 | 15 |
| Образец №2.5 | 120 | 21 |

График зависимости предела прочности от скорости представлен при температуре печати 220 °С представлен на рисунке ниже.

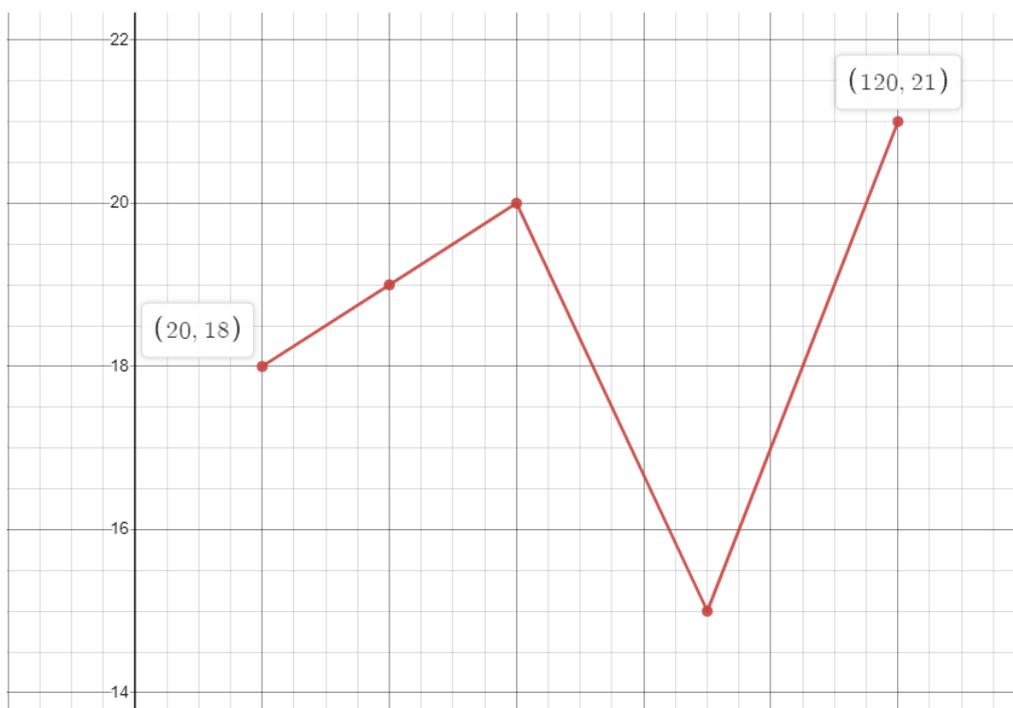


Рисунок 2.5 – График зависимости предела прочности от скорости для группы образцов №2.

По оси X расположена скорость печати, по оси Y расположен предел прочности.

В данном случае результат отличается от предполагаемого из-за наличия дефектного образца при скорости 90 мм/с. Результат можно объяснить несовершенством механики 3Д принтера, которая дала сбой при печати одного из слоев.

2.4.4 Группа №3

В третьей группе были разорваны горизонтальные образцы с изменением толщины слоя. Результаты разрыва прописаны в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – результаты образцов из группы №3

| Наименование образца | Толщина слоя, мм | Предел прочности, МПа |
|----------------------|------------------|-----------------------|
| Образец №3.1 | 0,1 | 16 |
| Образец №3.2 | 0,2 | 30 |
| Образец №3.3 | 0,3 | 12 |

2.4.5 Группа №4

В четвертой группе были разорваны горизонтальные образцы с изменением потока заполнения. Результаты разрыва прописаны в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – результаты образцов из группы №4

| Наименование образца | Поток заполнения | Предел прочности, МПа |
|----------------------|------------------|-----------------------|
| Образец №4.0 | 102% | 30 |
| Образец №4.1 | 105% | 21 |
| Образец №4.2 | 109% | 17 |
| Образец №4.3 | 112% | 23 |

При увеличении потока заполнения более чем на 2% на изделиях появлялись дефекты от выдавливания пластика за пределы изделия, сопровождалось это значительным ухудшением визуального качества поверхности и уменьшением предела прочности по результатам испытаний.

2.4.6 Группа №5

По результатам исследований образцов с 1 по 4 группы, была напечатана 5 группа образцов, в которой собраны лучшие результаты с высшим пределом прочности из групп образцов. Температура печати – 240 °С, поток заполнения 102%, толщина слоя – 0.2 мм. В 5 группе находятся 5 изделий которые отличаются друг от друга скоростью печати. Результаты разрыва прописаны в таблице 2.8

Таблица 2.8 – результаты образцов из группы №5

| Наименование образца | Скорость печати, мм/с | Предел прочности, МПа |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Образец №5.1 | 20 | 17 |
| Образец №5.2 | 40 | 25 |
| Образец №5.3 | 60 | 25 |
| Образец №5.4 | 90 | 19 |
| Образец №5.5 | 120 | 16 |

По результатам испытаний был составлен график зависимости предела прочности образцов от скорости печати при температуре печати 240 °С

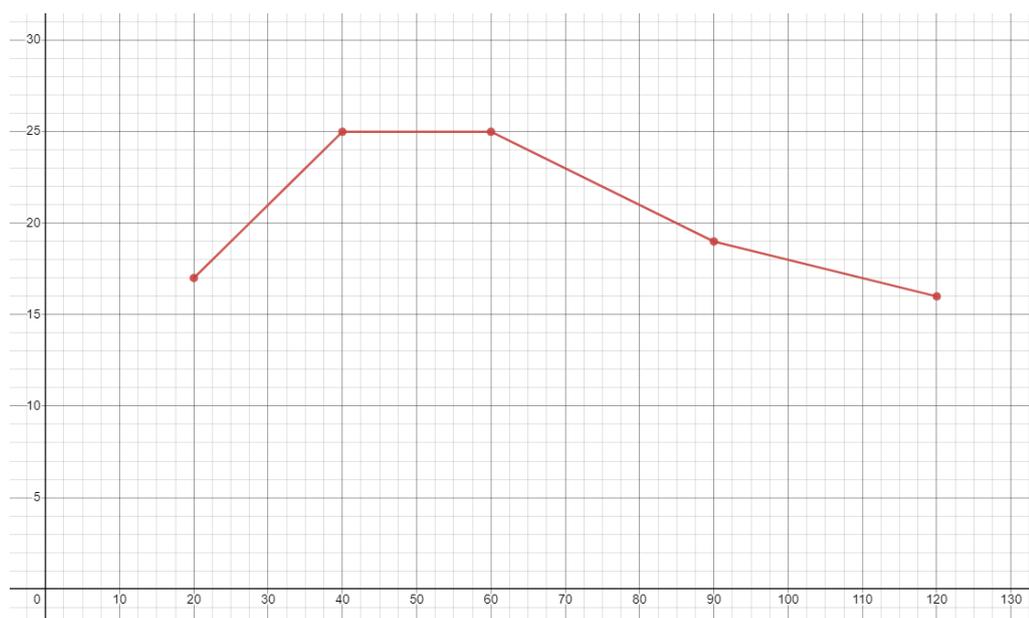


Рисунок 2.6 – График зависимости предела прочности образцов от скорости печати для группы образцов №5

По оси X расположена скорость печати, по оси Y расположен предел прочности. Эти данные будут использоваться при выборе оптимальных параметров для написания программы автоматического расчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности

2.4.7 Группа №6 и №7

Образцы группы 6 и 7 дополняют результаты групп 2 и 5, что позволяет составить матрицу параметров, из которой мы можем извлечь лучшие из условий печати для увеличения предела прочности образцов.

Группа №6 печаталась со скоростями описанными в таблице ниже при температуре 200 °С. Результаты испытаний на разрыв представлены в таблице 2.9

Таблица 2.9 – результаты образцов из группы №6

| Наименование образца | Скорость печати, мм/с | Предел прочности, МПа |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Образец №6.1 | 20 | 12 |
| Образец №6.2 | 40 | 12 |
| Образец №6.3 | 60 | 13 |
| Образец №6.4 | 90 | 13 |
| Образец №6.5 | 120 | 15 |

Ниже представлен график зависимости предела прочности от скорости печати при температуре печати 200 °С.

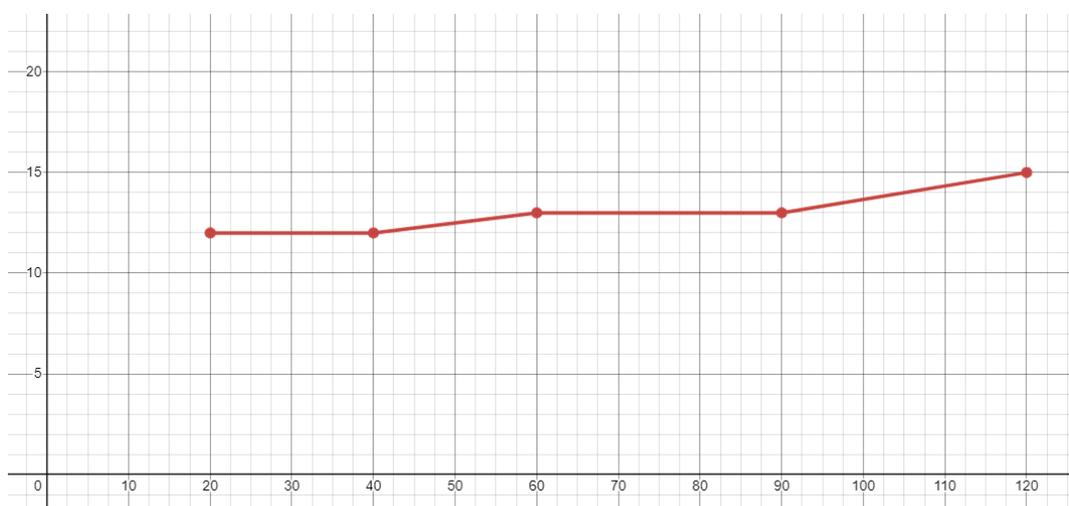


Рисунок 2.7 – График зависимости предела прочности образцов от скорости печати для группы образцов №6

Группа образцов, напечатанных при температуре 200 °С, показала наименьшую прочность из всех образцов представленных групп.

Группа №7 печаталась со скоростями, описанными в таблице ниже при температуре 260 °С. Результаты испытаний на разрыв представлены в таблице 2.10

Таблица 2.10 – результаты образцов из группы №7

| Наименование образца | Скорость печати, мм/с | Предел прочности, МПа |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Образец №7.1 | 20 | 22 |

Продолжение таблицы 2.10

| | | |
|--------------|-----|----|
| Образец №7.2 | 40 | 23 |
| Образец №7.3 | 60 | 24 |
| Образец №7.4 | 90 | 27 |
| Образец №7.5 | 120 | 19 |

Ниже представлен график зависимости предела прочности от скорости печати образцов, напечатанных при температуре 260 °С.

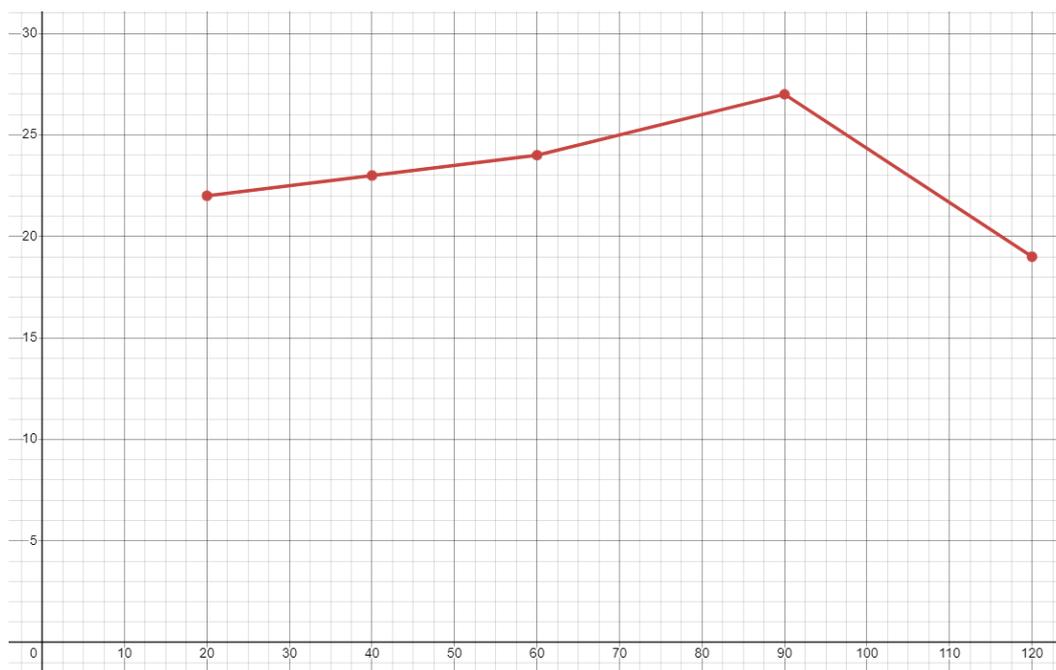


Рисунок 2.8 – График зависимости предела прочности образцов от скорости печати для группы образцов №7

2.4.8 Обработка результатов

По результатам испытаний была сделана матрица экспериментов в зависимости от скорости печати и температуры. Она отражает параметры печати, при которых предел прочности образцов получается высоким.

Таблица 2.11 – Зависимость предела прочности от скорости и температуры печати, предел прочности в МПа

| | Скорость печати | | | | |
|--------------------|-----------------|---------|---------|---------|----------|
| Температура печати | 20 мм/с | 40 мм/с | 60 мм/с | 90 мм/с | 120 мм/с |

Продолжение таблицы 2.11

| | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|
| 200 °С | 12 | 12 | 13 | 13 | 15 |
| 220 °С | 18 | 19 | 20 | 15 | 21 |
| 240 °С | 17 | 25 | 25 | 19 | 16 |
| 260 °С | 22 | 23 | 24 | 27 | 19 |

Ниже представлен объемный график представленной матрицы.

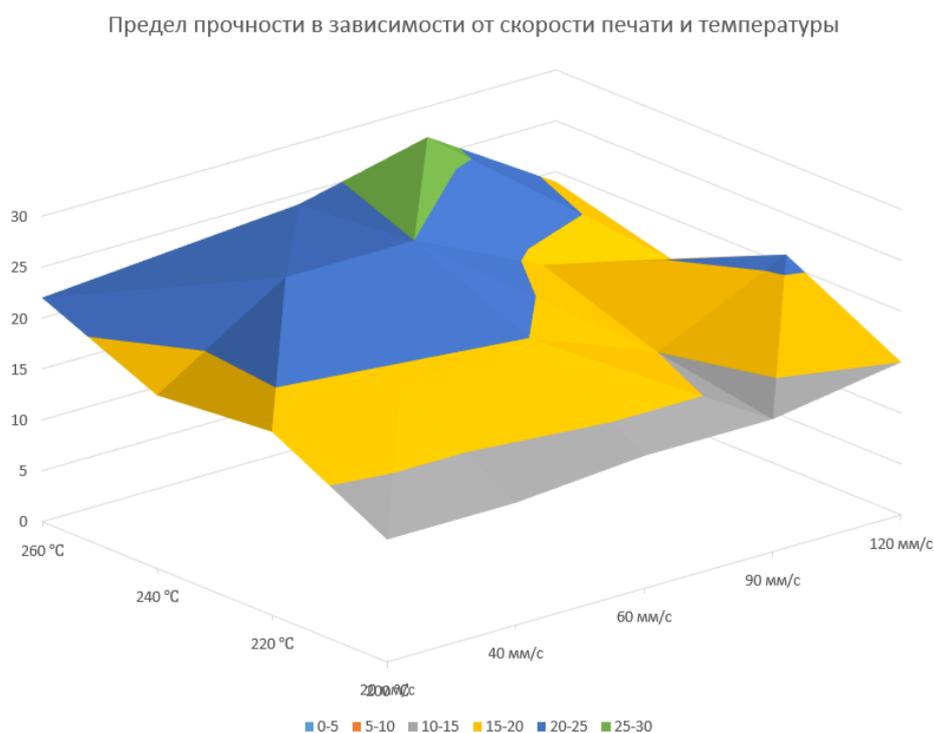


Рисунок 2.9 – График зависимости предела прочности от скорости и температуры печати.

Исходя из полученных результатов для написания программного приложения для автоматического расчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности была выбрана температура 260 °С.

По результатам экспериментов при температуре 260 °С наблюдается наибольший предел прочности из групп образцов при условии высокой скорости печати. Если наложить результаты эксперимента на один график (рисунок 2.10), то можно заметить что предел прочности растет с поднятием температуры печати, однако максимальное значение предела прочности у групп образцов достигается при разной скорости печати.

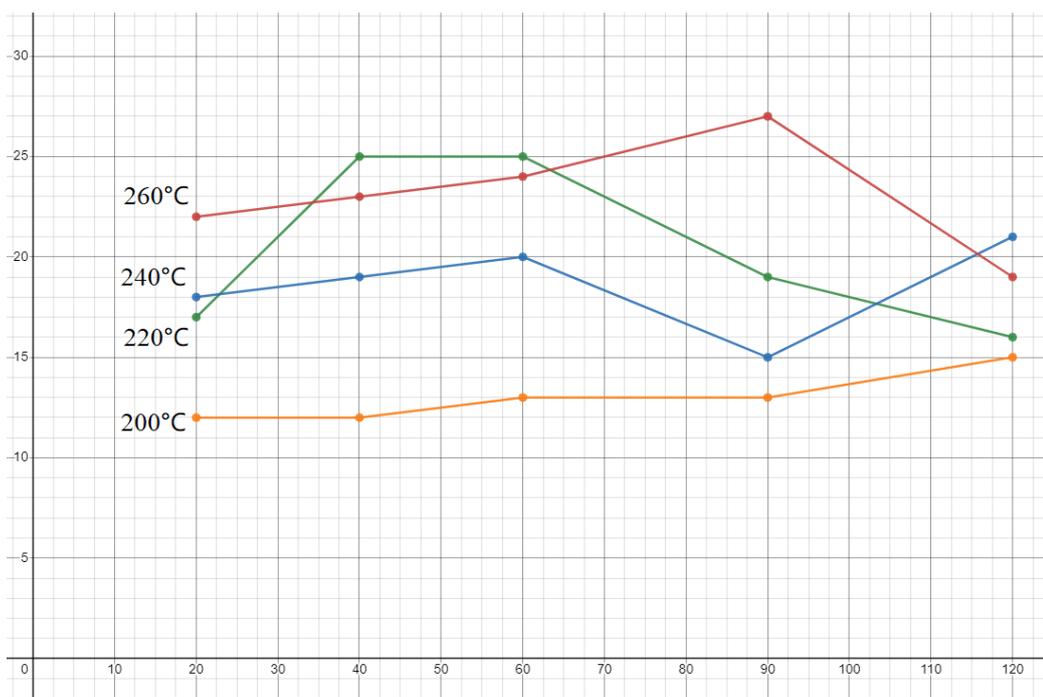


Рисунок 2.10 – Графики зависимости предела прочности от скорости печати для групп образцов №2,5,6,7.

Если сравнивать результаты группы №7 с результатами группы №0 (которая считается эталонной) то при определенных параметрах печати возможно достичь одинакового предела прочности образцов вдоль и поперек слоев.

2.5 Разработка программы автоматического расчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности.

Для написания кода программы был выбран язык программирования Python. В коде программы используются библиотека tkinter – стандартная библиотека Python для написания интерфейсов. Так же используется библиотека SciPy [7] – библиотека для математических расчетов для языка Python. Из нее используется модуль interpolate, проводящий линейную интерполяцию полученных ранее значений для определения промежуточных. Из библиотеки numpy используется функция numpy.round(), которая округляет полученное при интерполяции значение до одного знака после запятой.

Программа на вход принимает число – необходимый предел прочности детали. После этого полученной число записывается сравнивается со значениями отфильтрованного массива и проводятся линейная интерполяция.

При нажатии кнопки выдает рекомендуемую скорость печати по результатам линейной интерполяции.

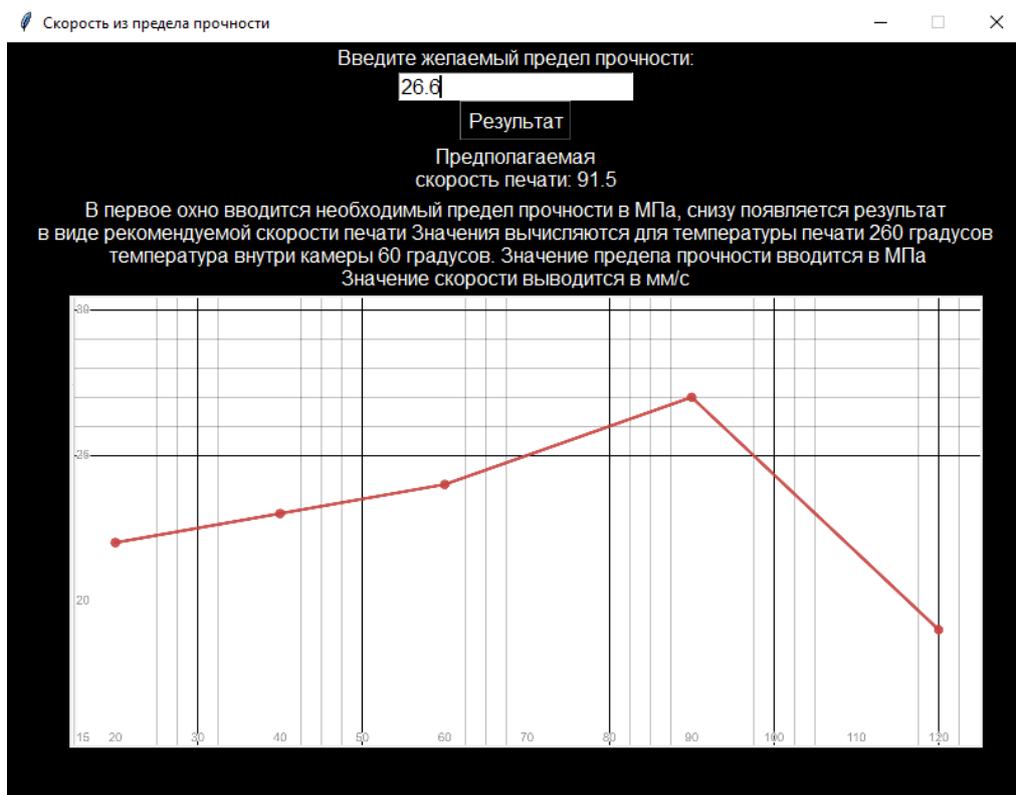


Рисунок 2.11 – Рабочее окно программы

Код программы находится в приложении А

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Группа | ФИО |
| 1В91 | Сергеев Никита Алексеевич |

| | | | |
|---------------------|--------------|-------------------------------|--|
| Школа | ИШНКБ | Отделение (НОЦ) | ОЭИ |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/ специальность | 15.03.04 Автоматизация сварочных процессов и производств |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|--|--|
| <p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации | <p><i>Объект исследования</i> оптимальные условия наплавления послойного наплавления филамента для деталей с низкой степенью изотропности механических свойств</p> <p><i>Область применения</i> автоматизация, производство изделий по технологии FDM</p> <p><i>Рабочая зона:</i> производственное помещение</p> <p><i>Размеры помещения 4*5</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> 3D-принтер, бухта с филаментом, ноутбук.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> настройка параметров печати, заправка филамента в 3D-принтер, печать изделий по технологии FDM.</p> |
|--|--|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| <p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | <ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ Р 50923-96 «Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования к производственной среде. Методы измерения» – ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022) – СП 2.2.3670-20 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. |
| <p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов | <p>Опасные факторы</p> <ul style="list-style-type: none"> – опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий. – твердые и газообразные токсические вещества <p>Вредные факторы</p> |

| | |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень электромагнитных излучений; – повышенный уровень статического электричества; – статические физические перегрузки; – недостаток освещения – превышение уровня шума <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: использование защитных костюмов, щитки, маски, защитные очки, спецодежда, противогазы, респираторы, изолирующие устройства и покрытия, защитные ограждения</p> |
| 3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения | <p>Воздействие на селитебную зону: низкая степень негативного воздействия на среду обитания (IV класс предприятия). Ориентировочный размер санитарно-защитной зоны 100 м.</p> <p>Воздействие на литосферу: образование отходов при поломке оргтехники и утилизации ее составных частей</p> <p>Воздействие на гидросферу: загрязнение при производстве/утилизации компьютерной техники</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы из вентиляционных систем, содержащие продукты нагрева филамента</p> |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения | <p>Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения, природные пожары, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); Техногенные аварии: пожар, обрушение здания, поражение электрическим током, взрывы в здании</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожары</p> |

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком | |
|---|--|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ООД ШБИП | Мезенцева Ирина Леонидовна | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1В91 | Сергеев Никита Алексеевич | | |

3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

3.1 Введение по разделу

Цель данной ВКР заключается в определении оптимальных условий послойного наплавления филамента для деталей с низкой изотропностью механических свойств и разработка программного обеспечения определяющего зависимость предела прочности от скорости печати. Область применения это оптимизация производства изделий произведенных методом послойного наплавления филамента FDM, контроль физических параметров изделий, увеличение скорости или прочности изделий в зависимости нужд производства. Так же использование в разработках новых устройств, стабильное получение деталей с известными механическими характеристиками.

Изделия, изготовленные по технологии послойного наплавления филамента FDM, чаще всего имеют разные механические характеристики параллельно и перпендикулярно слоям изделия. Это увеличивает количество брака, что в свою очередь негативно влияет на производство. Для уменьшения количества брака обычно уменьшают скорость печати изделий, что так же в свою очередь негативно влияет на время производства. Для минимизации изотропности механических характеристик по осям изделия необходимо подобрать оптимальные параметры производства изделий по такой технологии и создать программное обеспечение способное рассчитать оптимальную скорость печати в зависимости от необходимых пределов прочности изделия. Рабочая зона представляет собой производственное помещение, размер которого 4×5 м². В рабочей зоне находится следующее оборудование: 3D-принтер, бухта с филаментом, ноутбук. Рабочие процессы, осуществляющиеся в рабочей зоне: настройка параметров печати, заправка филамента в 3D-принтер, печать изделий по технологии FDM.

3.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

3.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В соответствии со статьей 100 ТК РФ [8], режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели и устанавливается правилами внутреннего трудового распорядка. Обычно применяют пятидневную рабочую неделю с двумя выходными, так как нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, статья 91 ТК РФ [8], то рабочий день должен составлять не более 8 часов. Также необходимо чтобы присутствовал перерыв для отдыха и питания, который регламентируется правилами внутреннего трудового распорядка, но в соответствии со статьей 108 ТК РФ [8] может быть не более двух часов и не менее тридцати минут. Для установления минимального размера оплаты труда необходимо обратиться к статье 133 ТК РФ [8], минимальный размер оплаты труда устанавливается одновременно на всей территории Российской Федерации федеральным законом и не может быть ниже величины прожиточного минимума трудоспособного населения, в томской области данная величина составляет 15 500 [8].

Необходимо обеспечивать защиту персональных данных в целях обеспечения прав и свобод человека и гражданина. Данные требования изложены в ТК РФ статья 86 [8].

3.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Для обеспечения правильного расположения и компоновке рабочей зоны необходимо воспользоваться ГОСТом 12.2.032-78 [8]. Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля, то есть в пределах 400 мм от края рабочей поверхности.

Органы управления на рабочей поверхности в горизонтальной плоскости необходимо размещать в пределах 400 мм. Для средств отображения информации применяют следующие требования, очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и

быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом +/- 15° от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом +/- 15° от сагиттальной плоскости. Требования к дисплею, клавиатуре, освещению, шуму и микроклимату изложены в ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения [9]. Дисплей на рабочем месте оператора должен располагаться так, чтобы изображение в любой его части было различимо без необходимости поднять или опустить голову. Дисплей на рабочем месте должен быть установлен ниже уровня глаз оператора. Угол наблюдения экрана оператором относительно горизонтальной линии взгляда не должен превышать 60°. Клавиатура на рабочем месте оператора должна располагаться так чтобы обеспечивалась оптимальная видимость экрана. Клавиатура должна иметь возможность свободного перемещения.

3.3 Производственная безопасность

Для того чтобы проанализировать вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения, необходимо воспользоваться ГОСТом 12.0.003-2015 [10]. Выявлены следующие опасные и вредные производственные факторы (Приложение Б).

3.4 Анализ опасных производственных факторов

3.4.1 Производственный фактор, связанный с повышенным уровнем электромагнитных излучений

1. Источник возникновения фактора – компьютер.
2. Воздействие фактора на организм человека – чаще всего оно неощутимо, но при ЭМИ высокой мощности воздействие ощущается в качестве теплового облучения. Наиболее частые проявления - торможение рефлексов, понижение кровяного давления, замедление сокращений сердца, изменению состава крови, помутнению хрусталика глаза.

3. Предельно допустимые значения электромагнитного поля (ЭП) частотой 50 Гц на рабочем месте - 5 кВ/м, регламентируется САНПИН 1.2.3685-21 [11].

4. Предлагаемые средства защиты для минимизации воздействия фактора – защитный экран для монитора.

3.4.2 Производственный фактор, связанный с повышенным уровнем статического электричества

1. Источник возникновения фактора – монитор, 3Д принтер.

2. Воздействие фактора на организм человека - повышенная утомляемость, раздражительность, плохой сон, повышается склонность к сердечно сосудистым заболеваниям, дистонии, заболеваниям нервной системы.

3. Предельно допустимый уровень энергии разряда 6.4 мдж, что соответствует неприятному шоку, регламентируется в ГОСТ Р 53734.1-2014, пункт 5.4 [12, с.14].

4. Предлагаемые средства защиты для минимизации воздействия фактора – антиэлектростатической специальной одежде, антиэлектростатические кольца и браслеты, экранирующее устройство.

3.4.3 Производственный фактор, связанный с отсутствием или недостатком необходимого естественного освещения

1. Источник возникновения фактора – работа в помещении с малым естественным освещением.

2. Воздействие фактора на организм человека – увеличение нагрузки на зрительные органы.

3. Для общего и местного освещения помещений следует использовать источники света с цветовой температурой от 2400 до 6800 К. Интенсивность ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 320-400 нм не должна превышать 0,03 Вт / 2 м. Наличие в спектре излучения длин волн

менее 320 нм не допускается. Нормы освещения при комбинированном освещении 400 лк, регламентируется санпин 1.2.3685-21 [11].

4. Предлагаемые средства защиты для минимизации воздействия фактора - средства нормализации освещения производственных помещений и Рабочих мест: источники света; осветительные приборы; световые проемы; светозащитные устройства; светофильтры.

3.4.4 Производственный фактор, связанный с превышением уровня шума

1. Источник возникновения фактора – работа 3Д принтера.
2. Воздействие фактора на организм человека – ухудшение слухового аппарата.

3. Нормативным эквивалентным уровнем звука ($L_{раeqт}$, дба), на рабочих местах, является 80 дба. Максимальными уровнями звука А, измеренными с временными коррекциями S и I, являются 110 дба и 125 дба соответственно. Пиковым скорректированным по С уровнем звука ($L_{рс реак}$), дбс является 137 дбс. Регламентируется санпин 1.2.3685-21 пункт 35. [11].

4. Предлагаемые средства защиты для минимизации воздействия фактора - звукопоглощающих конструкций (звукопоглощающих облицовок, кулис, штучных поглотителей), акустических экранов (выгородок).

3.4.5 Производственный фактор, связанный с твердыми и газообразными токсическими веществами

1. Источник возникновения фактора – испарения филамента ABS.
2. Воздействие фактора на организм человека – интоксикация стиролом и акрилонитрилом, головокружение, слабость, тошнота, рвота, комплексное поражение нервной системы.

3. Филаменты из ABS пластика при нагревании относятся ко 2 классу опасности т.к. Выделяют акрилонитрил. Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны для акрилонитрила 0,005-0,001

мг/м³, Величи на ОБУВ пыли акрилонитрилбутадиенстирольных пластиков (АБС-пластики марок 0809, 1106-30) 0,1 мг/м³. Регламентируется санпин 1.2.3685-21 [11].

4. Предлагаемые средства защиты для минимизации воздействия фактора - противогазы, респираторы, вытяжки.

3.4.6 Производственный фактор, связанный с нагревом тепловыделяющих механизмов 3Д принтера.

1. Источник возникновения фактора – нагревательный элемент 3Д принтера.

2. Воздействие фактора на организм человека – При воздействии могут вызвать ожоги.

3. Теплопотребляющие установки с повышенной температурой поверхности, с которой возможно непосредственное соприкосновение обслуживающего персонала, должны покрываться тепловой изоляцией обеспечивающей температуру поверхности не более +45 °С Приказ Минтруда РФ от 17 декабря 2020 г. N 924н [23].

4. Предлагаемые средства защиты для минимизации воздействия фактора – изоляция нагреваемых поверхностей.

3.4.7 Производственный фактор, связанный с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает рабочий

1. Источник возникновения фактора – электроника 3Д принтера, сеть.

2. Воздействие фактора на организм человека - под воздействием напряжения через тело протекает электрический ток, который нарушает нормальную работу организма, из-за чего возникают судороги, прекращается дыхание и останавливается сердце.

3. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме, при переменном токе напряжение не более 550 В, ток 650 ма, при постоянном напряжении 650 В, ток не более 15 А, регламентируется ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [17].

4. Предлагаемые средства защиты для минимизации воздействия фактора – указатели напряжения, изолирующие штанги, изолированный инструмент, диэлектрические перчатки, переносные заземления, изолирующие устройства, экранирующие комплекты.

3.5 Экологическая безопасность

Предполагаемое предприятие, в котором находится производственное помещение, относится к объектам IV категории. Размер санитарно-защитной зоны - 100 метров.

В результате исследования оптимальных условий послойного наплавления филамента для деталей с низкой изотропностью механических свойств, могут возникнуть некоторые источники загрязнения, которые могут подразделяться на твердые, жидкие и газообразные отходы.

Воздействие на гидросферу из-за утилизации компьютерной техники. После окончания срока службы компьютерной техники образуется лом, в котором содержится различные химикаты и металлы.

Твердые отходы имеют воздействие на литосферу и включают в себя: материалы, фракции и цельные части материалов, образование отходов при поломке оргтехники и утилизации ее составных частей.

Для правильной утилизации компьютерной техники, необходимо воспользоваться федеральным законом "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 N 89-ФЗ, V. Требования при обращении с группой однородных отходов "Оборудование компьютерное, электронное, оптическое, утратившее потребительские свойства" [20]. Согласно данному документу, отходы электронного оборудования подлежат сбору, накоплению, хранению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, условия и способы которых должны обеспечивать безопасность окружающей среды и

здоровья человека. Выбор технологии утилизации отходов электронного оборудования осуществляется с соблюдением норм законодательства Российской Федерации и в соответствии с ИТС 15-2016 [21]. Основными технологиями утилизации и обезвреживания электрического и электронного оборудования, утратившего потребительские свойства, являются их разборка. Для правильной утилизации отработавшего филамента, необходимо воспользоваться федеральным законом "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 N 89-ФЗ. Требования при обращении с группой однородных отходов "лом и отходы изделий из акрилонитрилбутадиенстирола (пластик АБС) незагрязненные" не регламентированы.

Воздействие на атмосферу в виде газообразных веществ – летучие вещества, зачастую характеризуются токсичными свойствами зачастую это выбросы из вентиляционных систем, продукты нагрева(испарения) части нагреваемого ABS пластика, в частности стирол. В рабочей зоне необходимо обеспечивать предельно допустимую концентрация вредных веществ в воздухе 0,1-1,0 мг/м³ [15], чтобы обеспечить данный норматив необходимо газообразные отходы подвергнуть обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, которые защищают атмосферу от загрязнений.

3.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном проекте можно выделить следующие возможные ЧС:

1. Природные катастрофы - бедствие, вызванное природным явлением. К ним относятся наводнения, природные пожары, ураган и т.д.
2. Геологические воздействия– это определение, которое относится к событиям, вызванным движением литосферных плит планеты, или процессами, происходящими под земной корой. (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.).
3. Техногенные аварии – возникновение и развитие неблагоприятного и неуправляемого процесса на техническом объекте (пожар, обрушение здания, поражение электрическим током, взрывы в здании).

Наиболее типичная ЧС при работе с 3Д принтером и электроникой является пожар, вследствие потенциальных проблем с электрооборудованием, которое может вызвать короткое замыкание. При работе 3Д принтера в рабочей зоне выделяется тепло, и в следствие неполадок оборудования может превысить допустимую температуру и зажечь пластик, который также может вызывать пожар.

К превентивным мерам относятся:

1. Предотвращение образования горючей среды (в т.ч. Применением негорючих веществ и материалов, изоляцией горючей среды, применением устройств защиты производственного оборудования).
2. Предотвращение образования в горючей среде источников зажигания.
3. Ограничение массы и (или) объема горючих веществ и материалов;
4. Ограничение распространения пожара за пределы его очага.
5. Организация пожарной охраны.

Алгоритм действий при пожаре [22]

1. Сообщить в пожарную охрану (телефон - 01 или 112).
2. Необходимо оповестить всех окружающих коллег о пожаре.
3. Попробовать, используя пожарные краны, огнетушители, подручные средства, потушить огонь.
4. Если сил потушить не хватает, то необходимо покинуть опасную зону.
5. По прибытии пожарных объяснить, что и где горит.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [16] определен класс возможного пожара - пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов (В). Производственное помещение должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения (огнетушитель, кошма, ящик с песком и лопатой, ведро с водой) и

подготовлено для безопасного и удобного их выполнения (организованы удобные подходы, удалены мешающие предметы и т.д.).

3.7 Выводы по разделу

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были затронуты в данном разделе. Данное помещения относится к категории с повышенной опасностью, так как имеет следующее условие, создающее повышенную опасность (токопроводящие полы и возможность прикосновения человека с землей и к корпусам электрооборудования). Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать II группой допуска по электробезопасности. Присвоение II группы по электробезопасности производится путем обучения в учебном центре по программе не менее 72 часов. Подготовка может проводиться на предприятии силами своих специалистов и должна проходить не менее 20 часов. В присутствии сотрудника II группы могут работать сотрудники I группы. Категория тяжести труда в производственном помещении по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [19] относится к категории Ib, то есть работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением. Согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [24] производственное помещение имеет категорию группы В4 (Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б). Промышленное предприятие, в котором находится производственное помещение, относится к объектам IV категории,

оказывающих низкую степень негативного воздействия на среду обитания.
Ориентировочный размер санитарно-защитной зоны 100 м.

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

Студенту:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Группа | ФИО |
| 1В91 | Сергеев Никита Алексеевич |

| | | | |
|----------------------------|----------|----------------------------------|---|
| Школа | | Отделение школы (НОЦ) | |
| Уровень образования | Бакалавр | Направление/специальность | 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» |

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

| | |
|--|---|
| <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | <i>Материальные затраты 5724 руб. Затраты на спецоборудование 228000 руб. Основная заработная плата исполнителей НИ 208425 руб. Дополнительная заработная плата исполнителей тема 27185 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 62944 руб. Накладные расходы 17033 руб.</i> |
| <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | <i>Районный коэффициент города Томска – 1,3</i> |
| <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | <i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30%</i> |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i> | <i>Потенциальные потребители результатов исследования, анализ конкурентных технических решений, SWOT – анализ</i> |
| <i>Разработка устава научно-технического проекта</i> | <i>Цель и результат НТИ</i> |
| <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> | <i>Планирование работ, разработка диаграммы Ганта, формирование сметы затрат</i> |
| <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i> | <i>Оценка сравнительной эффективности исследования</i> |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

«Портрет» потребителя результатов НТИ
Сегментирование рынка
Оценка конкурентоспособности технических решений
Матрица SWOT
График проведения и бюджет НТИ
Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ОСГН | Гасанов М.А. | д-р экон. наук, доцент | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 1В91 | Сергеев Никита Алексеевич | | |

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

4.1 Введение по разделу

На сегодняшний день научные открытия происходят ежедневно, и актуальность научно-исследовательской работы не определяется только техническими характеристиками, превосходящими те, что имеются у аналогичных разработок. Кроме того, важную роль в успехе проекта играет коммерческая сторона. Оценка экономической целесообразности исследования является значимым фактором, который влияет на привлечение средств для его проведения, коммерциализации и результатов. Эта оценка также помогает в оценке состояния и перспектив научной работы. Успех проекта зависит от того, насколько быстро его разработчик сможет ответить на вопросы: будет ли спрос на продукт, каким будет его цена, сколько придется потратить на исследование, и сколько времени потребуется для его продвижения на рынок.

Задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках ВКР.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
 - анализ конкурентных технических решений;
 - SWOT-анализ;
 - планирование графика проведения и бюджета научно-технического исследования;
- оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности научно-технического исследования;

4.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевым рынком проектного решения автоматического подсчета скорости печати в зависимости от необходимого передела прочности являются предприятия, которые занимаются изготовлением изделий из пластика по технологии FDM, которые имеют высокие требования к прочности изготавливаемых изделий. К таким предприятиям относятся целевые производители изделий из пластика по технологии FDM и конструкторские бюро которые занимаются прототипированием.

Критерии сегментирования целевого рынка:

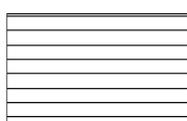
1. Географический критерий: промышленные компании, расположенные в крупных городах с высоким уровнем развития промышленности.
2. Демографический критерий: компании с высокой долей сотрудников операторов 3Д принтеров.
3. Поведенческий критерий: компании, которые ценят качество и прочность изготавливаемых изделий, следят за должным выполнением технологического процесса, стремятся ускорить процесс производства в пределах планируемого качества.
4. Профессиональный критерий: предприятия, занимающиеся производством технических изделий из пластика по технологии FDM, которые должны отвечать некоторым прочностным нормам.
5. Критерий уровня дохода: предприятия, имеющие среднюю и высокую прибыль, готовые инвестировать в оптимизацию процессов и уменьшение времени производства.

Составим карту сегментирования рынка по наиболее подходящим критериям, которыми являются поведенческий и профессиональный критерий.

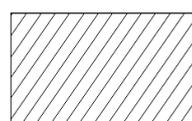
| | | Профессиональный критерий | | |
|------------------------|---|--|--|---|
| | | Высокий требования к квалификации операторов 3Д принтера | Средние требования к степени квалификации операторов 3Д принтера | Низкие требования к степени квалификации операторов 3Д принтера |
| Поведенческий критерий | Высокое качество и прочность напечатанных изделий | | | |
| | Хорошее качество и прочность напечатанных изделий | | / / / / / | |
| | Низкое качество и прочность напечатанных изделий | | | x x x x x |



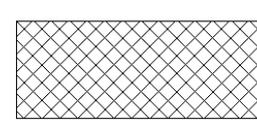
Сегмент А



Сегмент Б



Сегмент В



Сегмент Г

Рисунок 4.1 - Карта сегментирования рынка

Сегмент А: компании, которые ставят в приоритет высокое изготавливаемых изделий, используют новейшие технологий и обладают высокими требованиями к профессионализму операторов. Этот сегмент представляет собой верхний уровень рынка и компании, занимающиеся производством ответственных механически нагруженных изделий. Такие

компании обладают высокой прибыльностью и привлекают для работ квалифицированных специалистов.

Сегмент Б: компании, которые также придают большое значение качеству изготавливаемых изделий, но не обязательно имеют такие высокие требования к профессионализму операторов и их опыту работы, по сравнению с предприятиями сегмента А.

Сегмент В: компании, которые не считают высокое качество изготавливаемых изделий необходимым критерием при производстве и используют более дешевые принтеры, сырье и менее профессиональных операторов чем в сегменте А. Этот сегмент включает небольшие производственные компании, которые ориентированы на снижение затрат за счет качества и повышение эффективности.

Сегмент Г: компании, которые не придают большое значение качеству изготавливаемых изделий и используют технологии печати начального уровня. Этот сегмент включает компании, где 3Д печать является вспомогательным инструментом не влияющим на итоговый результат.

Исходя из полученной карты сегментирования рынка, можно выделить несколько основных сегментов, такие как:

1. Компании, для которых необходимо, чтобы изготавливаемые изделия удовлетворяли необходимым регламентам при этом имея операторов с невысоким уровнем квалификации.

2. Компании, которые также придают большое значение качеству изготавливаемых изделий, но не обязательно имеют такие высокие требования к профессионализму операторов, качеству оборудования и опыту работы, как компании в сегменте А.

Самым привлекательным сегментом рынка, является сегмент А, так как это компании, которые ценят качество изготавливаемых изделий и имеющие высокую прибыльность и готовые инвестировать в оптимизацию производства без потери качества, в том числе и в разработку и внедрение

программного обеспечения, обеспечивающего автоматический расчет скорости печати при условии надлежащей прочности.

4.3 Анализ конкурентных технических решений

Для успешного противостояния конкурентным разработкам нужно реалистично оценить сильные и слабые стороны конкурентов. Такой анализ позволит оценить эффективность разработки и определить направление оптимизации ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Оценка по каждому показателю определяется экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Вес показателей определяется в соответствии с их значимостью и в сумме составляет единицу.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i , \quad (1.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Для анализа было отобрано 3 конкурента: программа для слайсинга 3Д моделей под FDM печать CURA от компании Ultimaker, программа для слайсинга 3Д моделей Prusa slicer от компании Prusa и программа для слайсинга simplify3d от одноименной компании.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице В1. (приложение В)

Исходя из результатов оценочной карты, самым сильным конкурентом является CURA, так как выигрывает по многим показателям, однако его главным удобством интеграции системы в производство. Также довольно сильным конкурентом является Prusa slicer, благодаря своей репутации.

simplify3d является хорошим продуктом, имеет довольно приятный интерфейс и универсальность в работе, но сильно уступает своим конкурентам в аспекте стоимости, при этом не предоставляя некоторых важных функций.

Преимуществом собственной разработки по отношению к конкурентам является ее дешевизна, потому как стоимость разработки и продажи намного ниже, чем у конкурентов, еще можно учитывать гибкость системы, потому как она может интегрироваться в любые производства, хоть и обладает ограниченным количеством функций. Также важным аспектом является то, что разработка является отечественной. Многие зарубежные компании, которые владели львиной долей рынка в России, покидают его. Также со стороны государства идет поддержка потенциальных отечественных разработок.

4.3.1 SWOT-анализ

Проведем SWOT-анализ, который поможет выявить сильные и слабые стороны исследования, возможности и угрозы, позволит оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Первый этап SWOT-анализа заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации исследования. Первый этап представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1- Матрица SWOT-анализа

| Сильные стороны | Возможности во внешней среде |
|---|--|
| <p>S1 Автоматический расчет скорости печати относительно прочности позволяет соответствовать необходимым механическим характеристикам при максимальной скорости производства.</p> <p>S2 Сокращает количество брака.</p> <p>S3 Позволяет уменьшить время затрачиваемое на испытания образцов</p> <p>S4 Небольшая стоимость разработки и комплектующих обеспечивает меньшую стоимость конечного продукта.</p> | <p>B1 Расширение функциональных возможностей программного приложения позволит более точно исполнять его функцию.</p> <p>B2 Применение на других видах пластика, не рассмотренных в исследовании.</p> <p>B3 Расширение рынка за рубеж</p> <p>B4 Публикация в научных работах.</p> |

Продолжение таблицы 4.1

| Слабые стороны | Угрозы внешней среды |
|--|---|
| Сл1 Малый функционал по сравнению с конкурентами. Сл2 Малоизвестность компании на рынке Сл3 Не всегда стабильный результат из-за параметров других 3Д принтеров. | У1 Конкуренция в лице опытных фирм У2 Увеличение стоимости филамента повысит стоимость исследований для улучшения продукта и соответственно конечную стоимость У3 Нехватка финансирования |

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Соотношения параметров представлены в таблице 4.2 и таблице 4.3.

Таблица 4.2 - Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

| Возможности проекта | Сильные стороны | | | | Слабые стороны | | |
|---------------------|-----------------|----|----|----|----------------|-----|-----|
| | | С1 | С2 | С3 | С4 | Сл1 | Сл2 |
| В1 | + | - | + | + | + | - | + |
| В2 | + | + | + | + | + | 0 | + |
| В3 | + | - | 0 | + | 0 | + | - |
| В4 | + | - | 0 | - | 0 | - | - |

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

| Угрозы проекта | Сильные стороны | | | | Слабые стороны | | |
|----------------|-----------------|----|----|----|----------------|-----|-----|
| | | С1 | С2 | С3 | С4 | Сл1 | Сл2 |
| У1 | + | + | + | + | + | + | + |
| У2 | - | - | - | + | + | - | + |
| У3 | - | - | - | + | + | - | - |

Основной угрозой являются конкуренция в лице более опытных фирм, которые могут представить на рынке более выгодное предложение. Главная

возможность – это возможность увеличения функционала приложения посредством добавления туда параметров для других видов пластика.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице В2(приложение В).

4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию

4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

1. Определение структуры работ в рамках научного исследования.
2. Определение количества исполнителей для каждой из работ.
3. Установление продолжительности работ.
4. Построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты и т.д. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|---------------------------------|-------|--|---|
| Разработка технического задания | 1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель |
| Выбор направления исследований | 2 | Выбор направления исследований | Руководитель Консультант Бакалавр |
| | 3 | Подбор и изучение материалов по теме | Бакалавр |
| | 4 | Календарное планирование работ | Руководитель Бакалавр Консультант |

Продолжение таблицы 4.4

| | | | |
|--|----|--|--------------------------|
| Теоретические и экспериментальные исследования | 5 | Закупка оборудования | Руководитель Бакалавр |
| | 6 | Проведение экспериментов | Бакалавр Консультант |
| | 7 | Написание программы | Консультант Бакалавр |
| | 8 | Обработка результатов эксперимента | Бакалавр |
| Обобщение и оценка результатов | 9 | Анализ результата и проверка руководителем | Руководитель Бакалавр |
| Оформление отчета по НИР | 10 | Составление пояснительной записки | Бакалавр |

4.4.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1.2)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i}, \quad (1.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Получившиеся временные показатели научного исследования приведены в таблице В3. (Приложение В)

4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построение графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}}, \quad (1.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad (1.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1.48, \quad (1.6)$$

Получившейся график представлен таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Временные показатели проведения научного исследования

| Наименование работы | Исполнители работы | Трудоемкость работы, чел-дни | | | Длительность работ, дни | |
|---|---|---------------------------------|--------------|--------------------|----------------------------|----------|
| | | $t_{\min i}$ | $t_{\max i}$ | $t_{\text{ож } i}$ | T_{pi} | T_{ki} |
| 1. Составление и утверждение технического задания | Руководитель | 1 | 2 | 1,4 | 1,4 | 3 |
| 2. Выбор направления исследований | Руководитель Бакалавр | 2 | 3 | 2,4 | 1,2 | 2 |
| 3. Подбор и изучение материалов по теме | Бакалавр | 10 | 15 | 12 | 12 | 18 |
| 4. Календарное планирование работ | Руководитель Консультант Бакалавр | 1 | 2 | 1,4 | 0,46 | 1 |
| 5. Закупка оборудования | Руководитель Бакалавр | 5 | 10 | 7 | 3,5 | 6 |
| 6. Проведение экспериментов | Консультант Бакалавр | 30 | 35 | 32 | 16 | 24 |
| 7. Сборка образца | Консультант Бакалавр | 5 | 7 | 5,8 | 2,9 | 5 |
| 8. Обработка результатов эксперимента | Бакалавр | 7 | 9 | 7,8 | 7,8 | 12 |
| 9. Анализ результата и проверка руководителем | Руководитель Бакалавр | 2 | 4 | 2,8 | 1,4 | 3 |
| 10. Составление пояснительной записки | Бакалавр | 3 | 4 | 3,4 | 3,4 | 6 |

По данным из таблицы 4.5 строится календарный план-график, изображённый на рисунке В1 (приложение В), где голубой цвет – работа, выполненная руководителем, жёлтый цвет – работа, выполненная бакалавром, зеленый цвет – работа, выполненная руководителем и бакалавром, красный цвет – работа, выполненная консультантом и бакалавром.

4.5 Бюджет научно-технического исследования

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

1. Материальные затраты.
2. Затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ.
3. Амортизационные отчисления.
4. Заработная плата исполнителей.
5. Отчисления во внебюджетные фонды.
6. Накладные расходы.

4.5.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-техническое исследование должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Материальные затраты представлены в таблице В9.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + K_T) \sum_{i=1}^m C_i N_{расхi}, \quad (1.7)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, m^2 и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ m^2 и т.д.);

K_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, примем данный коэффициент равным 0.2;

Общие материальные затраты основного проекта составили 5724 руб.

Таблица 4.6 – Материальные затраты

| Наименование | Единица измерения | Количество | | | Цена за ед., руб. | | | Затраты на материалы, (Зм), руб | | |
|-------------------------------------|-------------------|------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|---------------------------------|--------|--------|
| | | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 |
| Бумага офисная, упаковка 500 листов | Шт. | 1 | 2 | 1 | 350 | 350 | 350 | 420 | 840 | 420 |
| Канцелярский набор | Шт. | 1 | 1 | 2 | 490 | 490 | 990 | 588 | 588 | 2376 |
| Катушка ABS пластика | Шт. | 2 | 3 | 3 | 1790 | 2100 | 2500 | 4296 | 7560 | 9000 |
| Белый температуростойкий маркер | Шт. | 1 | 1 | 1 | 350 | 480 | 490 | 420 | 576 | 588 |
| Итого | | 5 | 7 | 7 | 2980 | 3420 | 4330 | 5724 | 9564 | 12384 |

4.5.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения исследования.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 20% от его цены. Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчёт бюджета затрат на приобретение спецоборудования

| Наименование | Цена за ед. оборудования, руб. | | | Количество единиц оборудования | | | Общая стоимость оборудования, руб. | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------|---------|--------------------------------|--------|--------|------------------------------------|--------|---------|
| | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
| 3Д принтер | 30000 | 40000 | 100000 | 1 | 1 | 1 | 36000 | 48000 | 120000 |
| Универсальная разрывная машина | 150000 | 650000 | 1500000 | 1 | 1 | 1 | 180000 | 780000 | 1800000 |
| Микроскоп | 10000 | 40000 | 60000 | 1 | 1 | 1 | 12000 | 48000 | 72000 |
| Компьютер | - | - | 50000 | - | - | 1 | - | - | 60000 |
| Итого | 190000 | 730000 | 1710000 | 2 | 3 | 5 | 228000 | 876000 | 2052000 |

Общие затраты на научную работу составили 228000 рублей.

4.5.3 Основная заработная плата исполнителя темы

В данном подразделе рассчитывается основная заработная плата лиц, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Зарботная плата научного руководителя, студента и консультанта включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (1.8)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (15% от $Z_{осн}$)

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) научного руководителя и студента рассчитана по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \times T_p, \quad (1.9)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \times M}{F_d}, \quad (1.10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. Для этого воспользуемся таблицей 4.8.

Таблица 4.8 - Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Консультант | Бакалавр |
|--|--------------|-------------|----------|
| Календарное число дней | 365 | 365 | 365 |
| Количество нерабочих и праздничных дней | 118 | 118 | 118 |
| Потери рабочего времени | | | |
| - отпуск | 24 | 24 | 24 |
| - невыходы по болезни | 0 | 0 | 0 |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 223 | 223 | 223 |

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \times (1 + k_{пр} + k_d) \times k_p, \quad (1.11)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2-0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для г. Томска.

Примем ставку бакалавра на должности лаборанта-исследователя равную 11 510 рублей. Ставка для научного сотрудника со степенью кандидата наук 27 986 рублей для научного сотрудника без ученой степени 18 150 рублей.

Расчет основной заработной платы сводится в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители | $Z_{тс}$, руб. | $k_{пр}$ | k_d | k_p | Z_m , руб. | $Z_{дн}$, руб. | T_p , раб. дн. | $Z_{осн}$, руб. |
|------------------------|-----------------|----------|-------|-------|--------------|-----------------|------------------|------------------|
| Научный руководитель | 27 986 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 54572,7 | 2740,871 | 15 | 47280,03 |
| Консультант | 18 150 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 35392,5 | 1777,561 | 30 | 61325,84 |
| Бакалавр | 11 510 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 22444,5 | 1127,257 | 77 | 99818,64 |
| Итого $Z_{осн}$, руб. | | | | | | | | 208425 |

4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам

государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (1.12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%. Результаты расчетов занесены в таблицу 4.10

Таблица 4.10 - Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. | Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | Итого, руб. |
|----------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--|-------------|
| Руководитель проекта | 47280 | 6166,96 | 0,302 | 14278,57 |
| Консультант | 61325 | 7999,022 | | 18520,4 |
| Бакалавр | 99818 | 13019,82 | | 30145,23 |
| Итого: | | | | 62944,2 |

4.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей} \div 5) \cdot k_{\text{нр}} \quad (1.13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Результаты накладных расчётов приведены в таблице 4.11

Таблица 4.11 – Группировка затрат по статьям

| Статьи | | | | | | |
|---|-------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|
| 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Затраты на специальное оборудование, руб. | | Материальные затраты, руб. | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. | Отчисления во внебюджетные фонды, руб. | Накладные расходы, руб. |
| Исп. 1 | 228000 | 5724 | 208425 | 27185 | 62944 | 17033 |
| Исп. 2 | 876000 | 9564 | 208425 | 27185 | 62944 | 37892 |
| Исп. 3 | 205200 0 | 12384 | 208425 | 27185 | 62944 | 75614 |

3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Расчёт бюджета затрат НИИ

| № п/п | Наименование статьи | Сумма, руб. | | |
|-------|---|-------------|--------|---------|
| | | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
| 1 | Материальные затраты | 5724 | 9564 | 12384 |
| 2 | Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ) | 228000 | 876000 | 2052000 |
| 3 | Затраты по основной заработной плате | 208425 | 208425 | 208425 |
| 4 | Затраты по дополнительной заработной плате | 27185 | 27185 | 27185 |
| 5 | Отчисления во внебюджетные фонды | 62944 | 62944 | 62944 |

Продолжение таблицы 4.12

| | | | | |
|-------|-------------------|--------|---------|---------|
| 6 | Накладные расходы | 17033 | 37892 | 75614 |
| Итого | | 549311 | 1222010 | 2438552 |

Себестоимость проекта составляет 549311, основные затраты идут на заработную плату и отчисления во внебюджетные фонды.

4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (1.14)$$

где $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{549311}{2438552} = 0,23;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{1222010}{2438552} = 0,50;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}} = \frac{2438552}{2438552} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i, \quad (1.15)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 4.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии \ Объект исследования | Весовой коэффициент параметра | Исп. 1 | Исп.2 | Исп.3 |
|---------------------------------|-------------------------------|--------|-------|-------|
| Рост эффективности производства | 0,2 | 5 | 5 | 5 |
| Удобство эксплуатации | 0,2 | 4 | 5 | 4 |
| Материалоемкость | 0,1 | 5 | 4 | 4 |
| Универсальность | 0,1 | 5 | 4 | 4 |
| Надежность | 0,2 | 5 | 5 | 5 |
| Стоимость продукта | 0,1 | 5 | 4 | 4 |
| Итого | 1 | | | |

По данным из таблицы 4.13 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для текущего проекта:

$$I_{p\text{-текущ.проект}} = 0,2 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,1 \times 5 + 0,1 \times 5 + 0,2 \times 5 + 0,1 \times 5 = 4,3;$$

$$I_{p\text{-исп2}} = 0,2 \times 5 + 0,2 \times 5 + 0,1 \times 4 + 0,1 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,1 \times 4 = 4,2;$$

$$I_{p\text{-исп3}} = 0,2 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,1 \times 4 + 0,1 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,1 \times 4 = 4;$$

В результате расчетов интегральных показателей ресурсоэффективности по трем вариантам разработки текущий проект является более приемлемым с точки зрения ресурсной эффективности.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-текущ.проект}}{I_{фин.р}} = \frac{4,3}{0,23} = 18,69;$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{фин.р}} = \frac{4,2}{0,5} = 8,4;$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{фин.р}} = \frac{4}{1} = 4.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных по формуле 1.16:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}}, \quad (1.16)$$

Таблица 4.14 – Сравнительная эффективность разработки

| № | Показатели | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|---|---|-------|-------|-------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 0,23 | 0,5 | 1 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,3 | 4,2 | 4 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 18,69 | 8,4 | 4 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1 | 0,45 | 0,21 |

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является

более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

4.7 Заключение по разделу

В разделе “Финансовый менеджмент” была проведена оценка коммерческого потенциала научного исследования, выявлены потенциальные потребители и конкуренты. Основным сегментом рынка являются компании желающие, чтобы оптимизировать производство изделий без уменьшения качества. Также в разделе был проведен SWOT- анализ и выявлено, что основную угрозу проекту несут конкуренты, которые могут представить на рынке более эффективное и привлекательное техническое решение. Но стоит упомянуть о возможности проекта за счет расширения его функционала. Был проведен расчет себестоимости проекта, она составляет 549 311 рублей, большая часть которой уходит на заработную плату и оборудование. По результатам оценки экономической эффективности разработки можно сделать вывод, что реализация технологии является эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель данной работы заключалась в определении оптимальных параметров послойного наплавления филамента методом 3Д печати и создании программного приложения для автоматического расчета скорости печати изделия в зависимости от необходимого предела прочности изделия

В результате работы были определены параметры послойного наплавления филамента для 3Д печати на примере ABS пластика. Было разработано программное приложения для автоматического расчета скорости печати в зависимости от необходимого предела прочности изделия. По результатам экспериментов было выявлено что при определенных параметрах, указанных в данной работе, можно достичь одинакового предела прочности образцов с параллельно и перпендикулярно расположенными слоями относительно исследуемой оси.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальное и расчетное определение механических характеристик образцов АБС-пластика при растяжении, изготовленных методом 3D-печати // cyberleninka.ru URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnoe-i-raschetnoe-opredelenie-mehanicheskikh-harakteristik-obraztsov-abs-plastika-pri-rastyazhenii-izgotovlennyh-metodom> (дата обращения: 05.06.23). Текст : электронный.
2. Исследование структуры и свойств изделий, полученных 3D-печатью // cyberleninka.ru URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-struktury-i-svoystv-izdeliy-poluchennyh-3d-pechatyu> (дата обращения: 05.06.23). Текст : электронный.
3. Влияние технологических режимов FDM-печати и состава используемых материалов на физико-механические характеристики FDM-моделей // cyberleninka.ru URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tehnologicheskikh-rezhimov-fdm-pechaty-i-sostava-ispolzuemykh-materialov-na-fiziko-mehanicheskie-harakteristiki-fdm-modeley> (дата обращения: 05.06.23). Текст : электронный.
4. Основные виды пластиков для FDM 3D печати // 3dtoday.ru URL: <https://3dtoday.ru/blogs/drprog/osnovnye-vidy-plastikov-dlya-fdm-3d-pechaty> (дата обращения: 05.06.23). Текст : электронный.
5. Cura Settings Ultimate Guide – Settings Explained & How to Use // 3dprinterly.com URL: <https://3dprinterly.com/cura-settings-ultimate-guide-settings-explained-how-to-use/> (дата обращения: 05.06.23). Текст : электронный.
6. ГОСТ "ГОСТ 11262-2017 Пластмассы. Метод испытания на растяжение" от 12.02.2018 № 11262-2017 // Сборник законодательства Российской Федерации. - 30.11.2017 г. - Ст. 6.1 с изм. и допол. в ред. от 01.01.2023. Текст : электронный.
7. SciPy documentation // scipy.org URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/> (дата обращения: 05.06.23). Текст : электронный.

8. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон N 197-ФЗ: [принят от 30.12.2001 года, с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023]. Москва, 2023. – 384 с. ISBN 978-5-392-39193-6.

9. ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»: дата введения 01.01.1979. – URL: <http://rsmcapt29.ru/wp-content/uploads/2020/10/ГОСТ-12.2.032-78.-Рабочее-место-сидя.pdf> (дата обращения 22.04.2023). Текст : электронный.

10. ГОСТ Р 50923-96. «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения» дата введения" 07.07.1997. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/5265/> (дата обращения 22.04.2023). Текст : электронный.

11. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы : дата введения 01.03.2017. – URL: <https://marsbbz.ru/wp-content/uploads/2021/05/gost-12.0.003-2015> (дата обращения 22.04.2023). Текст : электронный.

12. СанПин 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : дата введения 28.01.2021. – URL: <https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npafiles/2021/01/28/sanpin1.2.3685-21.pdf> (дата обращения 22.04.2023). Текст : электронный.

13. ГОСТ Р 53734.1-2014. Электростатика. Часть 1. Электростатические явления. Физические основы, прикладные задачи и методы измерения : дата введения 11.06.2014. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/57516/> (дата обращения 22.04.2023). Текст : электронный.

14. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда : дата введения 1 ноября 2005 года. – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения 22.04.2023). Текст : электронный.

15. Закон Российской Федерации "123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"" от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2008 г. - Ст. 8 с изм. и допол. в ред. от 14.07.2022. Текст : электронный.

16. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ : дата введения 1983-07-01. – URL: http://energoform.ru/files/pdf/GOST_12.1.038-82.pdf (дата обращения 22.04.2023). Текст : электронный.

17. Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. Правила пожарной безопасности для предприятий и организаций газовой промышленности : Федеральный закон N 534 Москва. – URL: <https://rubezh.ru/uploads/instrukcii/vppb/vppb01-04-98.pdf> (дата обращения 02.04.2023). – Текст: электронный.

18. Свод правил естественное и искусственное освещение : (СП 52.13330.2016.) : официальное издание : утверждены приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 7 ноября 2016 г. N 777/пр : введены в действия 05.08.2017. – Москва - URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 22.04.2023)– Текст: электронный.

19. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления : Федеральный закон № 89-ФЗ : принят [Государственной думой 24.06.1998]. – Москва, 2022. - 56 с. – ISBN 1284523695412.

20. Информационно-технический справочник утилизация и обезвреживание отходов : (ИТС 15-2016) : официальное издание : введен в действие 01.07.2017. - Москва, – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200143229> (дата обращения 22.04.2023) – Текст : электронный.

21. МЧС России: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://10.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/rekomendacii->

naseleniyu/protivopozharnaya-propaganda/pozhar-na-rabochem-meste-kabinete-sehe-i-t-p (дата обращения: 02.04.2023). – Текст : электронный.

22. Министерство труда и социальной защиты российской федерации приказ от 17 декабря 2020 года N 924н Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации объектов теплоснабжения и теплопотребляющих установок // [szap.gosnadzor.ru](http://www.szap.gosnadzor.ru) URL: <http://www.szap.gosnadzor.ru/activity/energonadzor/ПОТ%20ЭТ%20приказ%20№%20924н%20от%2017.12.2020.pdf> (дата обращения: 06,06,2023). – Текст : электронный.

23. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности // МЧС РОССИИ URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/svody-pravil/svody-pravil-mchs-rossii/6674> (дата обращения: 06,06,2023). – Текст : электронный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Код программы

```
import tkinter as tk;
import scipy.interpolate
import numpy

def advanced_logic():
    num1 = entry1.get()
    if ',' in num1:
        num1.replace(',','.')
    num2 = float(num1)

    if num2 > max(masSTR):
        result = 'Невозможно рассчитать'
    elif num2 < min(masSTR):
        result = max(masV)
    else:
        temp2 = xinterp(num2)
        result = numpy.round(temp2,1)

    label.config(text="Предполагаемая\ncкорость печати: " + str(result),
font=30)

masSTR_raw = [22,23,24,27,19]
masV_raw = [20,40,60,90,120]
masV = []
```

```

masSTR = []
max_n = max(masSTR_raw)
for i in range(0, len(masSTR_raw)):
    if i >= masSTR_raw.index(max_n):
        masSTR.append(masSTR_raw[i])
        masV.append(masV_raw[i])

xinterp = scipy.interpolate.interp1d(masSTR,masV)

```

```

window = tk.Tk()
window.title('Скорость из предела прочности')
window['bg'] = 'Black'
window.geometry('800x600')
window.resizable(width=False, height=False)

canvas = tk.Canvas(window, height=350, width=300)
canvas.pack

frame = tk.Frame(window, bg='black')
frame.place(rely=0.2, relwidth=1, relheight=0.8)
title = tk.Label(frame,

```

text='В первое окно вводится необходимый предел прочности в МПа, снизу появляется результат\nв виде рекомендуемой скорости печати. Значения вычисляются для температуры печати 260 градусов\n температура внутри камеры 60 градусов. Значение предела прочности вводится в МПа\nЗначение скорости выводится в мм/с',

```
        fg='White', bg='black', font=30)
title.pack()

    label1 = tk.Label(text="Введите желаемый предел прочности:",
fg='White', bg='black', font=30)
    label1.pack()

    entry1 = tk.Entry(font = 30)
    entry1.pack()

    button = tk.Button(text="Результат", command=advanced_logic, font=30,
fg='White', bg='black')
    button.pack()

    label = tk.Label(text="Введите значение и нажмите на кнопку для
получения результата", font=30, fg='White', bg='black')
    label.pack()

    graph = tk.PhotoImage(file = "3333.PNG")
    graph = graph.subsample(2, 2)
    label2 = tk.Label(window)
    label2.image = graph
    label2['image'] = label2.image
    label2.place(x= 50, y= 200)

window.mainloop()
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Комплект таблиц

Таблица Б.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора 3Д принтера

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Нормативные документы |
|--|---|
| Повышенный уровень электромагнитных излучений; | - Требования к электромагнитному излучению устанавливаются Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" |
| Повышенный уровень статического электричества; | - Средства защиты от статического электричества устанавливаются ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования. - Измерение уровня статического электричества устанавливается ГОСТ Р 53734.1-2014 Электростатика. Часть 1. Электростатические явления. Физические основы, прикладные задачи и методы измерения. |
| Отсутствие или недостатки необходимого естественного освещения | - Нормы освещенности устанавливаются Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" |

Продолжение таблицы Б.1

| | |
|--|---|
| <p>Превышение уровня шума</p> | <p>-Допустимые уровни шума на рабочем месте устанавливаются Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"</p> |
| <p>Твердые и газообразные токсические вещества</p> | <p>- Предельная допустимая концентрация веществ устанавливается Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"</p> |
| <p>Опасные и вреднее производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека</p> | <p>- Предельная температура поверхности нагревательной установки с которой может физически контактировать рабочий устанавливается ПРИКАЗ от 17 декабря 2020 г. N 924н ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПРАВИЛ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ТЕПЛОПОТРЕБЛЯЮЩИХ УСТАНОВОК.</p> |
| <p>Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие высоковольтного разряда в виде дуги</p> | <p>- Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов</p> |

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Комплект таблиц

Таблица В.1 – Оценочная карта для сравнения технических решений

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | | Конкурентоспособность | | | |
|---|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | Б _ф | Б _{К1} | Б _{К2} | Б _{К3} | К _ф | К _{К1} | К _{К2} | К _{К3} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | | | |
| 1. Повышение скорости производства | 0,15 | 3 | 4 | 3 | 3 | 0,45 | 0,6 | 0,45 | 0,45 |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,15 | 4 | 5 | 4 | 3 | 0,6 | 0,75 | 0,6 | 0,45 |
| 3. Качество интерфейса | 0,1 | 4 | 5 | 3 | 3 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,3 |
| 4. Точность предоставляемой информации | 0,1 | 4 | 5 | 4 | 4 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| 5. Удобство интеграции системы на производство | 0,2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 0,6 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | | | |
| 1. Стоимость системы и всех связанных с ней расходов | 0,15 | 5 | 5 | 3 | 1 | 0,75 | 0,3 | 0,45 | 0,45 |
| 2. Конкурентоспособность | 0,1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 3. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,05 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Итого | 1 | 32 | 34 | 27 | 24 | 4 | 4,05 | 3,3 | 3,15 |

Ф – собственная разработка, К1 – CURA, К2 – Prusa slicer, К3 – simplify3d.

Таблица В.2 – Итоговая матрица SWOT-анализа

| | | |
|--|---|--|
| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1 Автоматический расчет скорости печати относительно прочности позволяет соответствовать необходимым механическим характеристикам при максимальной скорости производства.</p> <p>С2 Сокращает количество брака.</p> <p>С3 Позволяет уменьшить время затрачиваемое на испытания образцов</p> <p>С4 Небольшая стоимость разработки и комплектующих обеспечивает меньшую стоимость конечного продукта.</p> | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1 Малый функционал по сравнению с конкурентами.</p> <p>Сл2 Малоизвестность компании на рынке</p> <p>Сл3 Не всегда стабильный результат из-за параметров других 3Д принтеров.</p> |
| <p>В1 Расширение функциональных возможностей программного приложения позволит более точно исполнять его функцию.</p> <p>В2 Применение на других видах пластика, не рассмотренных в исследовании.</p> <p>В3 Расширение рынка за рубеж</p> <p>В4 Публикация в научных работах.</p> | <p>Возможность использования расширения функционала программного приложения посредством добавления туда параметров для других видов пластика и выход на зарубежный рынок</p> | <p>Предприятие имеет более опытных конкурентов, которые не дадут развиваться легко. Но в остальном возможности напрямую перекрывают слабые стороны. Также при достижении возможностей проблема с конкурентами станет не существенной.</p> |

Продолжение таблицы В.2

| | | |
|--|---|--|
| <p>У1 Конкуренция в лице опытных фирм</p> <p>У2 Увеличение стоимости филамента повысит стоимость исследований для улучшения продукта и соответственно конечную стоимость</p> <p>У3 Нехватка финансирования</p> | <p>Благодаря небольшой стоимости программного обеспечения, ее может позволить себе почти любое предприятие. Однако при увеличении функционала стоимость исследований и самого продукта может увеличиться.</p> | <p>Наличие опытных конкуренентов, способных усовершенствоваться гораздо быстрее за счёт их опыта и капитала.</p> |
|--|---|--|

Таблица В.3 – Временные показатели проведения научного исследования

Исп. 1 – научный руководитель; Исп.2 – студент; Исп.3 – консультант

| Название работы | Трудоёмкость работ | | | | | | | | | Длительность работ в рабочих днях | | | Длительность работ в календарных днях | | |
|---|-------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|---------------------------------------|-------|-------|
| | t_{mini} , чел-дни | | | t_{maxi} , чел-дни | | | $t_{ожг}$, чел-дни | | | t_{pi} | | | t_{ki} | | |
| | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
| Выбор темы ВКР | 2 | 2 | - | 3 | 3 | - | 3 | 3 | - | 1 | 1 | - | 2 | 2 | - |
| Составление и утверждение плана работ | 2 | - | - | 3 | - | - | 3 | - | - | 3 | - | - | 4 | - | - |
| Выбор направления исследования | 1 | 1 | - | 2 | 2 | - | 15 | 2 | - | 1 | 1 | - | 1 | 1 | - |
| Календарное планирование работ | 3 | 3 | - | 4 | 4 | - | 3 | 3 | - | 2 | 2 | - | 3 | 3 | - |
| Подбор и изучение материалов по теме | - | 10 | - | - | 15 | - | - | 12 | - | - | 12 | - | - | 19 | - |
| Закупка оборудования | 1 | 1 | - | 2 | 2 | - | 1 | 1 | - | 1 | 1 | - | 1 | 1 | - |
| Проведение экспериментов | - | 25 | 25 | - | 30 | 30 | - | 27 | 27 | - | 14 | 14 | - | 21 | 21 |
| Сборка готового образца | 7 | 7 | - | 8 | 8 | - | 7 | 7 | - | 4 | 4 | - | 6 | 6 | - |
| Обработка полученных экспериментальных данных | - | 10 | - | - | 15 | - | - | 12 | - | - | 12 | - | - | 18 | - |
| Анализ результатов и проверка научным руководителем | 10 | 10 | - | 12 | 12 | - | 11 | 11 | - | 5 | 5 | - | 8 | 8 | - |
| Анализ работы с точки зрения безопасности | - | 3 | - | - | 5 | - | - | 4 | - | - | 4 | - | - | 6 | - |

Продолжение таблицы В.3

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| Анализ работы с экономической точки зрения | - | 5 | - | - | 7 | - | - | 6 | - | - | 6 | - | - | 9 | - |
| Подведение итогов, оформление работы | - | 7 | - | - | 9 | - | - | 8 | - | - | 8 | - | - | 12 | - |
| Итого | 26 | 84 | 25 | 34 | 112 | 30 | 43 | 96 | 27 | 17 | 70 | 14 | 25 | 106 | 21 |