

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы
Направление подготовки 24.03.01 – Ракетные комплексы и космонавтика
Направленность (профиль) образовательной программы Ракетно-космическая техника

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой


_____ В.В. Соловьёв
« _____ » _____ 2025 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Использование аддитивных технологий в изготовлении прототипов гидроаппаратуры транспортно-установочного агрегата

Исполнитель
студент группы 1109-об1



(подпись, дата)

В.В. Мелошенко

Руководитель
доцент, канд. техн. наук



(подпись, дата)

В.В. Соловьёв

Консультант
доцент, канд. техн. наук



(подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль
старш. препод. каф. СиТРК



(подпись, дата)

М.А. Артеков

Благовещенск 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовых и технических ракетных комплексов

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____ В.В. Соловьёв
« _____ » _____ 2025 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Мелошенко Валерии Владимировны

1. Тема дипломной работы: Использование аддитивных технологий в изготовлении прототипов гидроаппаратуры транспортно-установочного агрегата

(утверждена приказом от 03.04.2025 № 878-ех)

2. Срок сдачи студентом законченной работы 06 июня 2025 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: отсчёт по практике, ГОСТы, справочная литература.

4. Содержание курсовой работы: общие сведения о аддитивных технологиях, описание конструкций гидроаппаратуры, сравнение методов, построение цифровой модели, сборочных чертежей и спецификаций, изготовление изделия, сборка оборудования.

5. Перечень материалов приложения: чертежи деталей конструкций, сборочные чертежи, спецификации, цифровые 3D-модели, результаты прочностного анализа.

6. Консультанты: Козырь А.В., доцент, канд. техн. наук

7. Дата выдачи задания 29.05.2024

8. Руководитель дипломной работы: Соловьёв В.В., доцент, канд. техн. наук

Задание принял к исполнению (дата): 29.05.2024

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 67 страниц, 27 рисунков, 10 таблиц, 10 источников.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРОТОТИПИРОВАНИЕ, ГИДРОАППАРАТУРА, ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛИ, КЛАПАНЫ, ДРОССЕЛИ, ГИДРОЗАМОК, РЕГУЛЯТОР ПОТОКА, ДЕЛИТЕЛЬ ПОТОКА, СУММАТОР ПОТОКА, 3D-ПРИНТЕР, ФОТОПОЛИМЕРНАЯ СМОЛА

В работе исследованы и разработаны гидроустройства, которые предназначены для изменения или для поддержания заданного давления или расхода, гидроаппаратура.

Целью диплома являлось содействие в создании прототипов гидроаппаратуры, что позволило углубленно изучить принципы работы и конструктивные особенности данных устройств, а также приобрести практические навыки в их сборке.

В процессе самостоятельной работы, опираясь на специализированную справочную литературу, а также научные статьи, были определены конструкции устройств. После выбора конструкций были построены цифровые модели в САД-системе КОМПАС-3D, а также был выполнен расчёт прочности при помощи библиотеке АРМ FEM. После цифровые модели были подготовлены к печати и реализованы в физические прототипы путем 3D-печати из фотополимерной смолы. Полученные изделия позволили провести визуальный осмотр, оценить качество изготовления и совершить сборки.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Общие сведения об аддитивных технологиях	9
1.1 Понятие «Аддитивные технологии»	9
1.2 Основные принципы	10
1.3 Технологии печати	13
1.3.1 Экструзионная печать	13
1.3.2 Порошковая печать	15
1.3.3 Ламинирование	16
1.3.4 Фотополимеризация	17
1.3.5 Проекционная стереолитография	19
1.4 Достоинства и недостатки	19
1.5 Основные сферы применения аддитивных технологий	21
1.6 Перспективы аддитивных технологий	24
2 Общие сведения о гидроаппаратуре	26
2.1 Гидроклапаны	26
2.2 Ограничители расхода	29
2.3 Делители-сумматоры потока	30
2.4 Дроссели и регуляторы расхода	31
2.5 Гидрозамки	33
2.6 Гидравлические распределители	35
3 Проектирование прототипов гидроаппаратуры	39
3.1 Выбор материала для прототипирования гидроаппаратуры	39
3.2 Этапы изготовления прототипов гидроаппаратуры	41
3.3 Оценка прототипов	45
3.4 Расчёт усадки изделия	47
3.5 Прочностной расчёт	50
4 Безопасность и экологичность	53

4.1 Опасные факторы при работе с композитными материалами	53
4.2 Методы защиты от опасных и вредных факторов	54
4.3 Меры пожарной безопасности при работе с композитами	56
5 Затраты на производство прототипов	58
5.1 Стоимость разработки инженерного проекта	58
5.2 Стоимость прототипов	60
Заключение	64
Библиографический список	66

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- САПР – система автоматизированного проектирования;
- АП (АТ) – аддитивное производство (аддитивные технологии);
- КЭ – конечные элементы;
- РКТ – ракетно-космическая техника;
- RP – технологии быстрого прототипирования;
- ABS-пластик – термопластическая ударопрочная техническая смола, сополимер акрилонитрил-бутадиен-стирол.
- SLS – лазерное спекание;
- SLM – выборочная лазерная плавка;
- DMLS – прямое лазерное спекание металлов;
- FDM – метод послойного наплавления;
- SLA – стереолитография;
- LOM – ламинирование листовых материалов;
- EBM – электронно-лучевая плавка;
- РЖ – рабочая жидкость.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях стремительного научно-технического прогресса, характеризующегося постоянным поиском новых материалов, технологий и конструктивных решений, особое внимание уделяется разработке и совершенствованию гидроаппаратуры. Эта категория оборудования, включающая в себя широкий спектр устройств, таких как гидрозамки, регуляторы потока, сумматоры (делители) потока, дроссели, клапаны и распределители, находит широкое применение в самых разнообразных отраслях промышленности. От гидравлики, где она является основой для передачи и управления энергией, до аэрокосмической техники, где гидроприводы используются для управления рулями, шасси и другими критически важными системами, гидроаппаратура играет ключевую роль в обеспечении надежной и эффективной работы механизмов и машин.

Проектирование гидросистем, а также качество изготовления их компонентов играют ключевую роль в обеспечении их надежности и долговечности. На этапе разработки системы необходимо учитывать широкий спектр факторов, таких как рабочее давление, температурные режимы, характер приложенных нагрузок, а также требования к скорости отклика и продолжительности эксплуатации. В процессе производства существенная роль принадлежит точности изготовления деталей и соблюдению технологических стандартов; любые дефекты или недочеты могут оказать негативное влияние на эксплуатационные характеристики системы. Такие недостатки часто становятся причиной снижения эффективности работы оборудования, ускоренной износа его составляющих и возникновения течей рабочей жидкости.

Одним из ключевых этапов в процессе создания современной гидроаппаратуры является 3D-моделирование. Использование специализированного программного обеспечения позволяет получить детализированные виртуальные прототипы, которые служат основой для анализа и оптимизации конструкции. В

отличие от традиционных методов проектирования, основанных на ручном черчении и расчетах, 3D-моделирование предоставляет возможность визуализации изделия в трехмерном пространстве, выявления потенциальных проблем на ранних стадиях разработки и проведения виртуальных испытаний. Например, можно смоделировать процесс работы гидроцилиндра, оценить распределение напряжений в его корпусе при различных нагрузках и оптимизировать форму для повышения прочности и снижения веса. Это позволяет значительно сократить время и затраты на разработку, а также повысить качество конечного продукта.

В ходе работы, направленной на освоение современных методов проектирования гидроаппаратуры, было уделено особое внимание созданию полноценных чертежей и спецификации гидроаппаратуры с использованием САД-системы КОМПАС-3Д. Этот этап включал в себя создание трехмерной модели, развертку ее в двумерные чертежи с указанием всех необходимых размеров, допусков и шероховатости поверхностей, а также формирование спецификации, содержащей перечень всех необходимых материалов и комплектующих. Далее, для обеспечения соответствия конструкции требованиям прочности, был проведен расчет на прочность с использованием встроенной библиотеки APM FEM. Результаты расчетов были сопоставлены с результатами, полученными при использовании традиционных методов расчета, что позволило оценить преимущества и недостатки каждого подхода и подтвердить эффективность применения 3D-моделирования для проектирования гидроаппаратуры. В частности, было установлено, что 3D-моделирование позволяет более точно учитывать сложные геометрические формы и распределение напряжений, что приводит к более надежным и оптимизированным конструкциям.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

1.1 Понятие «Аддитивные технологии»

Аддитивное производство представляет собой технологию создания трехмерных объектов произвольной формы, основанную на цифровых чертежах. Основная идея 3D-печати заключается в последовательном наращивании изделия, где каждый новый слой точно повторяет контуры детали. В отличие от привычных производственных процессов, основанных на удалении материала, таких как механическая обработка или резка, 3D-печать предполагает наращивание объекта путем последовательного нанесения слоев.

3D-принтеры – это сложные, управляемые компьютером станки, которые реализуют аддитивный метод изготовления, в отличие от традиционных методов, таких как фрезеровка или литье, которые являются субтрактивными. Аддитивный метод предполагает построение объекта слой за слоем из материала, что позволяет создавать детали очень сложной геометрии, которые было бы невозможно или крайне сложно изготовить иными способами. Хотя концепция и первые устройства 3D-печати (рисунок 1) зародились еще в 80-х гг, например, метод стереолитографии, за который Чарльз Халл патент. Однако широкое коммерческое распространение 3D-принтеров началось лишь около пятнадцати лет назад, в начале 2010-х, что стало значимым технологическим скачком.



Рисунок 1 – Первый 3D-принтер

3D-печать активно применяется для создания прототипов и организации децентрализованного производства в самых разных областях: от архитектуры и строительства до автомобилестроения, аэрокосмической и оборонной индустрии, машиностроения и медицины. Ее используют в биоинженерии (для разработки искусственных тканей), при изготовлении одежды, обуви, ювелирных изделий, в образовании, геоинформационных системах и даже в пищевой промышленности – это лишь малая часть потенциальных применений. Домашние 3D-принтеры с открытым исходным кодом также набирают популярность способны окупить свои первоначальные затраты благодаря экономическим преимуществам домашнего производства.

Аддитивные технологии означают создание моделей за счет наращивания последовательных слоёв материала. Они, изготовленные с помощью аддитивных технологий, могут быть полезными на любом этапе производственного цикла – от прототипирования до выпуска готовой продукции.

В традиционных методах производства, таких как механическая обработка, термин "субтрактивные" используется для обозначения классических технологий, что позволяет четко разграничивать их от современных "аддитивных" подходов. Хотя традиционные методы, включая сварку, склейку и сборку, существовали давно бы считаться «аддитивными», они не включают в себя трехмерные информационные технологии. В то же время машинная обработка, которая подразумевает создание деталей точной формы, в основном опирается на субтрактивные техники — такие как опиловка, фрезерование, сверление и шлифование.

1.2 Основные принципы

3D-модели, особенная часть современности, создаются с использованием различных методов компьютерного обеспечения, которые можно разделить на два основных подхода: ручное моделирование и 3D-сканирование. Каждый из этих методов имеет свои особенности, преимущества и недостатки, определяющие область их применения.

Ручное моделирование, зачастую требующее высокой квалификации и художественного вкуса, представляет собой процесс настройки геометрических значений для создания трехмерного компьютерного изображения. 3D-сканирование, в свою очередь, представляет собой автоматизированный процесс сбора и анализа информации о реальном объекте. Он позволяет получить цифровую трехмерную модель, точно воспроизводящую форму, цвет, текстуру и даже некоторые физические свойства оригинала. Пример 3D-сканирования, демонстрирующий процесс преобразования реального объекта в цифровую модель, изображен на рисунке 2.



Рисунок 2 – 3D-сканирование

В процессе печати, 3D-принтер, часто называемый аддитивным принтером, выполняет сложный процесс преобразования цифрового файла в физический объект. В первую очередь, принтер считывает файл, который обычно имеет формат STL (Stereolithography) или другие современные форматы, такие как OBJ или 3MF. Эти файлы содержат подробную информацию о трехмерной модели, включая координаты каждой точки поверхности, нормали и другие геометрические данные. Затем начинается последовательное нанесение слоев – тонких листов жидкости (в случае стереолитографии или полимеризации), порошка (в технологии SLS или SLM), бумаги (в бумажном 3D-принтере) или листового материала (в FDM – Fused Deposition Modeling).

Создание трехмерной модели с использованием современных технологий может занимать от нескольких часов до нескольких дней, в зависимости от вы-

бранного метода, размера и сложности объекта. Например, печать простой фигурки, помещающейся в ладони, на FDM-принтере может быть завершена всего за несколько часов, в то время как создание сложной модели с множеством деталей и внутренних полостей на промышленном принтере может потребовать нескольких дней. Промышленные системы аддитивного производства, такие как те, что используются в авиационной или автомобильной промышленности время печати часто значительно сокращается благодаря более мощным лазерам, быстрым системам позиционирования и автоматизированной подаче материалов, хотя это всегда зависит от конкретной установки, используемого материала и количества одновременно изготавливаемых деталей. Например, для печати крупной детали для самолета может потребоваться до 48 часов непрерывной работы.

Традиционные методы, такие как литье под давлением, могут быть более выгодными при массовом производстве полимерных изделий, особенно при выпуске тысяч или миллионов единиц. Однако аддитивные технологии демонстрируют явные преимущества при мелкосерийном производстве и изготовлении уникальных изделий, изготовлении прототипов и создании деталей со сложной геометрией. Они обеспечивают повышение производительности и гибкости конструкции, позволяя быстро вносить изменения в дизайн без необходимости переделывать штампы или пресс-формы, а также улучшение экономической эффективности на единицу продукции, особенно при небольших объемах.

Примером устройства, использующего комбинированный метод изготовления и обработки, является LUMEX Avance-25, который сочетает в себе технологию селективного лазерного спекания (SLS) с последующей автоматизированной обработкой поверхности. Некоторые технологии АП, такие как PolyJet от Stratasys, предполагают некоторую возможность применять несколько материалов, а также различные цвета в течение одного технического цикла, что позволяет создавать объекты с градиентами цвета, различными свойствами материалов (например, жесткие и гибкие участки) и сложной функциональностью.

1.3 Технологии печати

С конца 1970-х годов стали появляться различные технологии 3D-печати. Первые устройства для аддитивного производства были громоздкими, дорогостоящими и обладали ограниченным функционалом.

В настоящее время существует множество методов аддитивного производства, каждый из которых отличается подходом к формированию разнообразию методов 3D-печати определяется принципами формирования слоев и типами используемых материалов. Некоторые из них основаны на плавлении или размягчении вещества для создания слоев, например, селективное лазерное спекание (SLS), селективное лазерное плавление (SLM), прямое лазерное спекание металлов (DMLS) и послойное моделирование (FDM). Другие, такие как стереолитография (SLA), предполагают создание твердых моделей путем полимеризации жидких материалов (смола).

В процессе ламинирования листовых материалов (LOM) тонкие слои сначала вырезаются по заданному контуру, а затем склеиваются вместе. Для LOM могут использоваться бумага, полимеры и металлы. Каждый метод имеет свои сильные и слабые стороны, поэтому некоторые компании предлагают выбор между полимером и порошком для создания моделей. Принтеры, работающие по технологии LOM, часто используют обычную офисную бумагу для создания прочных прототипов.

При выборе подходящего устройства необходимо учитывать скорость печати, стоимость 3D-принтера, цену изготовленных прототипов, а также стоимость и доступность расходных материалов.

1.3.1 Экструзионная печать

Технология послойного наплавления (FDM) была разработана С. Скоттом Трампом в конце 1980-х годов и получила широкое распространение в 1990-х благодаря компании Stratasys, одним из основателей которой является сам Трамп. После истечения срока действия патента сформировалось активное сообщество разработчиков 3D-принтеров с открытым исходным кодом, а также коммерческие компании, использующие эту технологию. В результате стоимость

устройств снизилась в десять раз с момента их появления. В результате цена устройств снизилась в два раза с момента изобретения.

Аддитивное производство с использованием послойного наложения предполагает создание объекта из последовательности слоев, формируемых путем выдавливания быстро застывающего вещества в виде мельчайших капель или тонких линий. В качестве сырья часто используются термопластичные полимеры, поставляемые в катушках. На рисунке 3 видно, как материал из катушки подается в принтер, называемое экструдером. Он нагревает материал до жидкого состояния, после чего расплавленная жижа выдавливается через отверстие. Перемещение сопла осуществляется с помощью шаговых двигателей или сервоприводов, обеспечивающих движение печатающей головки в трех измерениях. Управление движением сопла 3D-принтера осуществляется специализированным программным обеспечением, которое представляет собой комплекс алгоритмов и инструментов, обеспечивающих точное позиционирование и контроль температуры экструдера. Это программное обеспечение, как правило, интегрировано с компьютерным обеспечением принтера, что позволяет пользователю задавать параметры печати, такие как скорость перемещения сопла, температура нагрева, толщина слоя и плотность заполнения.

В сообществе, занимающихся 3D-печатью, активно реализуются проекты, направленные на оптимизацию использования отработанного пластика и его переработку в сырье для 3D-печати. Такие инициативы способствуют снижению экологического воздействия 3D-печати и сокращению затрат на расходные материалы.

Технология FDM, несмотря на свою широкую распространенность и доступность, имеет определенные ограничения в отношении сложности геометрических форм, которые можно эффективно напечатать. В частности, создание нависающих элементов – частей модели, которые не поддерживаются нижними слоями – без дополнительной поддержки затруднено. Процесс удаления поддержек может быть трудоемким и требует аккуратности, чтобы не повредить поверхность детали.

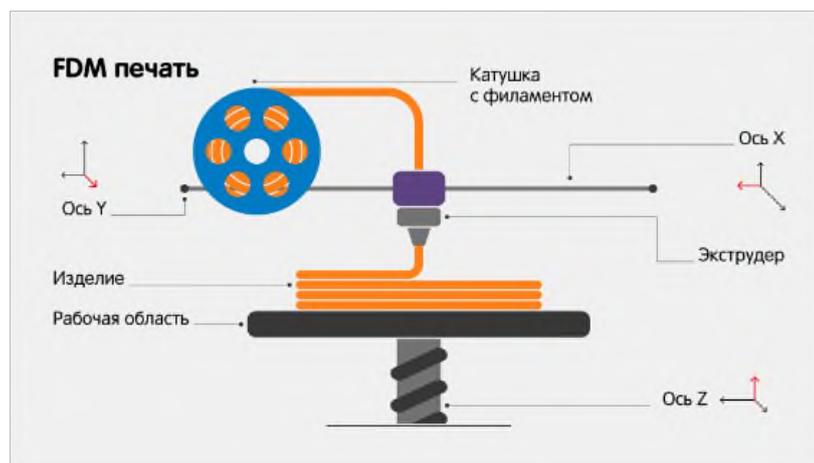


Рисунок 3 – Схема FDM

1.3.2 Порошковая печать

Селективное сплавление порошковых материалов является ещё одним из методов аддитивного производства. Изделие формируется посредством послойного спекания небольшого слоя порошка, после чего конструкция опускается для нанесения следующего наслоения. Этот процесс не кончается до завершения полноценной модели. Неиспользованный материал остается внутри, поддерживая нависающие элементы и избавляя от необходимости создания дополнительных «поддержек».

SLS была разработана и запатентована Джозефом Биманом и Карлом Деккардом из Техасского университета в Остине в середине 1980-х годов при поддержке DARPA. Раньше, в 1979 году, Р. Ф. Хаусхолдер также запатентовал похожий метод, но он не получил широкого признания.

В отличие от SLS, метод SLM плавит порошок его в определённых точках с использованием лазерного луча высокой мощности, а не спекает. Данный метод позволяет создавать изделия с высокой плотностью, которые по своим уникальным механическим свойствам сравнимы с другими изделиями, изготовленными на станках.

Электронно-лучевая плавка (EBM) – это один из способов аддитивного производства металлических изделий, в частности, титановых сплавов. В отли-

чие от лазерных технологий, здесь для плавления порошкового материала используется электронный луч. Процесс происходит поэтапно, в условиях вакуума. Изделия, изготовленные с помощью EBM, демонстрируют высокую прочность, что является преимуществом по сравнению с традиционным спеканием, осуществляемым при температурах, близких к точке плавления.

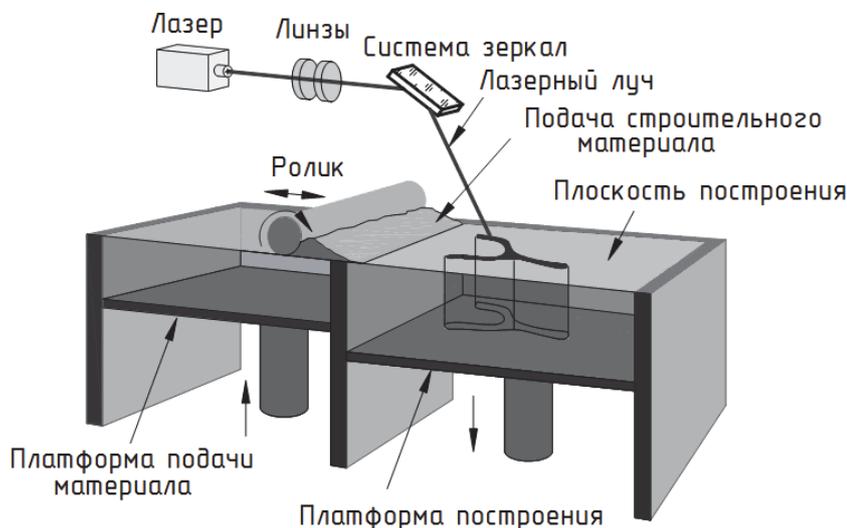


Рисунок 4 – Схема порошковой печати

1.3.3 Ламинирование

Технология LOM относится к методам быстрого прототипирования. Она предполагает последовательное склеивание слоев листового материала – бумаги, пластика или металлической фольги. Контуры каждого слоя формируются лазерной резкой. Как правило, объекты, полученные таким образом, нуждаются в дополнительной механической обработке. Толщина слоя определяется толщиной используемого листа.

Процесс печати, схематично изображенный на рисунке 5, реализуется следующим образом: лист материала, покрытый клеем, укладывается на платформу (или на уже сформированные нижние слои модели) с помощью нагревательного валика. Лазер вырезает контур слоя, а излишки материала удаляются в виде мелких фрагментов. После завершения формирования слоя платформа перемещается вниз, и на неё укладывается новый лист материала. Затем платформа поднимается для соединения с новым слоем. Этот цикл продолжается до завершения

модели, после чего удаляется излишек материала и выполняется финальная обработка изделия.

Технология обладает низкой стоимостью благодаря широкой доступности расходных материалов. Модели из бумаги имеют физические характеристики, приблизительно близкие к дереву, что позволяет эффективно обрабатывать их техническими инструментами. Однако уровень разрешения печати несколько ниже, чем у высокоточных методов, таких как SLA или SLS. Тем не менее, данной технологии удаётся создавать достаточно крупные модели.

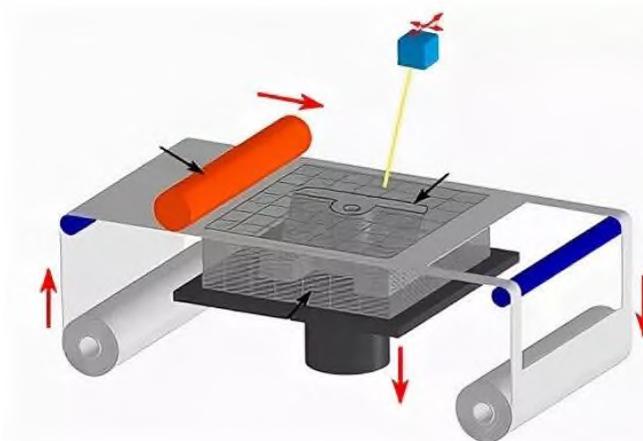


Рисунок 5 – Схема LOM

1.3.4 Фотополимеризация

В 1986 году Чарльз Холл получил патент на технологию стереолитографии. Ключевым принципом, лежащим в основе SLA, является фотополимеризация – процесс, позволяющий создавать прочные изделия из жидких материалов. Эта технология значительно отличалась от предшествующих разработок, начиная с ранних экспериментов Виллема (1830-1905) по созданию скульптурных изображений и в заключение, метод фотополимеризации, предложенный Мазубарой в 1974 году, лежит в основе технологии DLP, которая использует фотополимерные смолы, твердеющие под воздействием ультрафиолета от цифровых проекторов. В процессе формирования модели платформа опускается на расстояние, соответствующее толщине следующего слоя, который также подвергается облучению. EnvisionTEC Perfactory и Objet PolyJet являются примерами систем

быстрого прототипирования, использующих DLP и струйную печать соответственно. Они обеспечивают создание изделий с высокой точностью и детализацией, что делает их незаменимыми в различных отраслях промышленности.

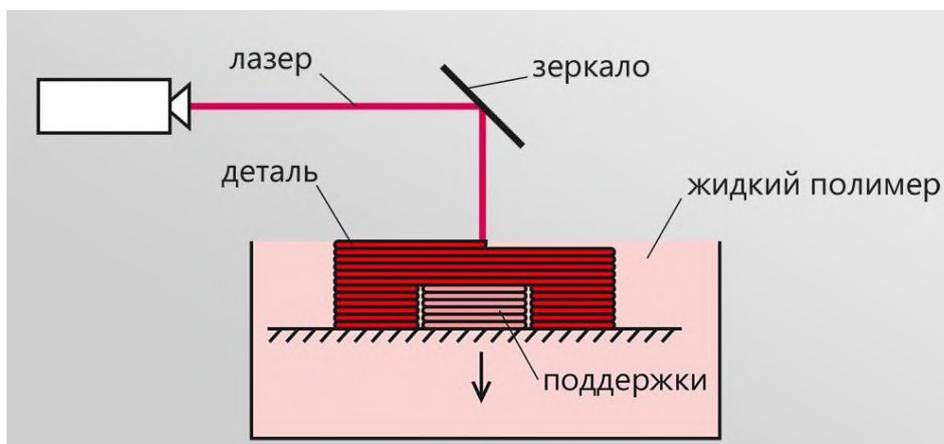


Рисунок 6 – Схема SLA

Для достижения высокой детализации 3D-моделей применяется многофотонная полимеризация. Этот метод предполагает сканирование контуров трехмерной фигуры сфокусированным лазерным лучом (рисунок 7). Благодаря нелинейному фотовозбуждению материал затвердевает исключительно в точках фокусировки, что обеспечивает разрешение до 100 микрон и возможность создания сложных конструкций с подвижными элементами.

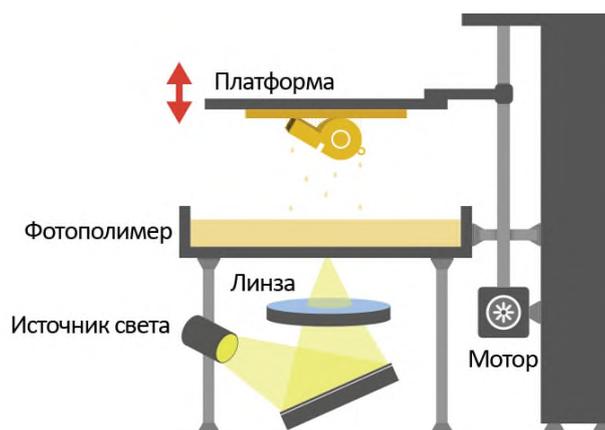


Рисунок 7 – Схема DLP

1.3.5 Проекционная стереолитография

Проекционная стереолитография предполагает последовательное нарезание цифровой 3D-модели горизонтальными слоями и преобразование каждого

слоя в двумерное изображение. Эти двумерные проекции проецируются на слои полимерной смолы, которые затем затвердевают, формируя трехмерную модель.

В некоторых конфигурациях подставка расположена внизу, что помогает поверхности фотополимерной смолы сделать ровной при вертикальном перемещении изделия и сокращает производственный цикл до минут вместо часов. Технология позволяет создавать модели со слоями из нескольких материалов с разной скоростью затвердевания.

1.4 Достоинства и недостатки

Современные аддитивные технологии активно вытесняют классические подходы к производству. Они обладают рядом существенных достоинств:

- Оптимизация производственного цикла и уменьшение отходов. Традиционное изготовление деталей – трудоемкий процесс, требующий предварительной подготовки заготовок, последующей обработки и, как следствие, приводящий к значительным потерям материала. В случае литья необходимо создание сложных пресс-форм. 3D-печать позволяет избежать этапа подготовки и использовать ровно столько сырья, сколько необходимо для конечного изделия, минимизируя отходы;
- Экономия материалов и снижение себестоимости. Внедрение аддитивных технологий ведет к уменьшению расхода материалов, что, в свою очередь, снижает стоимость готовой продукции. В некоторых отраслях объем отходов при традиционном производстве может достигать внушительных 80%;
- Гибкость и возможность персонализации. Внесение небольших изменений в 3D-модель открывает широкие возможности для создания разнообразных изделий. Это особенно удобно для быстрой доработки существующих моделей или представления нескольких вариантов. Также это идеально подходит для изготовления уникальных деталей;
- Производство сложных конструкций. Традиционные методы, такие как литьевое производство, практически никогда не позволяют реализовать детали

со сложной геометрией. АП же способно создать практически любые изделия, точно воспроизводя все изгибы и углы, заданные в компьютерном проекте;

- Улучшение эксплуатационных способностей. Метод послойное наращивания позволяет получать модели с улучшенными параметрами по сравнению с теми, что создаются традиционными способами;

- Высокая точность размеров. Изделия, созданные аддитивными технологиями, могут быть отмечены маркировкой с точностью до миллиметра, но это не всегда так, особенно с дешёвым оборудованием;

- Мобильность процесса. Проектировщик детали, работающий в САПР, может находиться где угодно от места производства или от офиса проектировки. Аддитивные технологии обеспечивают быструю корректировку проектов и оперативную передачу готовых файлов коллегам по электронной почте;

- Экологическая безопасность. Использование аддитивных технологий способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду за счет оптимизации производственных процессов и сокращения расхода материалов, что приводит к уменьшению выбросов парниковых газов;

- Маленькая массы деталей. В ряде отраслей промышленности аддитивные методы позволяют создавать более легкие, но не менее прочные, а иногда и более прочные изделия.

Несмотря на многочисленные преимущества, у аддитивных технологий есть и свои ограничения:

- Высокая стоимость производства больших партий. Создание прототипов и первичных образцов с использованием этой технологии может быть экономически выгоднее традиционных методов. Однако при переходе к массовому производству 3D-печать становится значительно дороже;

- Качество поверхности. Поверхность изделий, полученных методом 3D-печати, часто имеет шероховатости, обусловленные особенностями технологического процесса;

- Ограниченный выбор материалов. Ассортимент доступных материалов постоянно расширяется, но некоторые из них все еще недоступны для аддитивного производства.
- Возникновение трещин. В зависимости от используемого метода печати, на изделии могут образовываться трещины;
- Ограничения по размеру. Максимальный размер изделия всегда ограничен габаритами рабочей камеры 3D-принтера;
- Уступающее качество и долговечность. В целом, качество и долговечность изделий, полученных аддитивными методами, пока уступают традиционным способам литья и фрезерования.

1.5 Основные сферы применения аддитивных технологий

Использование 3D-печати в производстве становится все более распространенным явлением, и эта тенденция демонстрирует устойчивый рост. Об этом свидетельствует не только увеличение числа проектов, использующих аддитивные технологии, но и растущая готовность компаний переходить от прототипирования к серийному производству с применением 3D-печати.

Для изготовления инструментов и инструментальной оснастки материалы должны обладать высокой механической прочностью, так как инструменты эксплуатируются длительное время при значительных нагрузках. Мы наблюдаем отчетливый переход от использования 3D-печати преимущественно энтузиастами и любителями к ее активному внедрению в промышленное производство, что обусловлено как снижением стоимости оборудования и материалов, так и расширением спектра решаемых задач. В авиационной промышленности при создании функциональных прототипов особенно важны прочность материала и его плотность, так как они влияют на итоговый вес изделия. Такие прототипы представляют собой модели будущей детали.

Появление новых разработок в области композитных материалов, позволяющих создавать детали с улучшенными механическими свойствами и повышенной прочностью, искусственного интеллекта, оптимизирующего процесс печати

и снижающего количество брака, и материалов, изменяющих форму, открывает принципиально новые возможности применения 3D-печати в различных отраслях, от автомобилестроения до аэрокосмической промышленности.

Уход иностранных производителей с российского рынка, вызванный геополитической ситуацией, создал благоприятные условия для развития отечественного производства 3D-оборудования и расширения поставок из дружественных стран, в частности, из Китая. На этапе функционального прототипирования необходимо изготовить рабочий прототип с определёнными механическими характеристиками для проведения тестов. На российском рынке появились новые компании, предлагающие широкий спектр 3D-принтеров различной направленности и ценового диапазона. Среди отечественных производителей можно выделить RuSat, laser systems и другие, активно развивающие свои производственные мощности.

Что касается материалов, то на рынке представлен широкий ассортимент технических термопластов (ABS, PLA, PETG, Nylon), смол (эпоксидные, акриловые, силиконовые), композитов на основе углеродного волокна и стекловолокна, полимерных порошков для SLS и MJF, а также металлических порошков (алюминий, титан, нержавеющая сталь) для SLM и EBM. Кроме того, материалы должны выдерживать средневысокие производственные температуры.

Однако использование тугоплавких металлов для данных целей не требуется. Важность плотности материала при выборе для этих задач менее критична и может не учитываться. Особое внимание уделяется разработке специализированных материалов, таких как антистатические материалы (ESD) для применения в электронике, обеспечивающие защиту чувствительных компонентов от статического электричества, и амортизирующие эластомерные смолы, используемые в носимых медицинских устройствах для обеспечения комфорта и безопасности пациентов. Кроме того, прототип должен быть достаточно лёгким, чтобы можно было при необходимости быстро создавать несколько экземпляров одной детали и сравнивать их между собой. Разработка программного обеспечения

также играет ключевую роль в продвижении и оптимизации технологических достижений в области 3D-печати. Технология FDM произвела революцию в области производства прототипов и небольших партий деталей, а передовое программное обеспечение на основе GCODE позволяет создавать сложные геометрические формы, включая изогнутые линии, при 3D-печати, сводя к минимуму эффект лестницы, уменьшая необходимость поддержки выступающих частей и повышая вертикальную прочность.

В промышленном контексте автоматизация играет ключевую роль в повышении эффективности и сокращении издержек. Она обеспечивает более высокую скорость, точность и стабильность процессов 3D-печати, включая автоматическую оптимизацию траекторий резки, интеллектуальное размещение деталей на платформе для минимизации использования поддерживающих структур, возможность одновременного производства нескольких изделий (пакетная печать) и автоматизированную постобработку, такую как удаление поддержек, шлифовка и покраска. Важным аспектом является и автоматизация рабочего процесса, которая расширяет возможности программного обеспечения, интегрирующего и автоматизирующего все этапы производства 3D-печати, от подготовки модели до контроля качества готового изделия. В конечном итоге, полностью автоматизированный процесс позволяет осуществлять 3D-печать с минимальным участием человека, высвобождая ресурсы для решения более сложных задач и повышая общую производительность предприятия.

Одним из таких игроков является российский бренд AM.TECH, успешно развивающий линейку отечественных промышленных 3D-принтеров с использованием технологии селективного лазерного плавления (SLM), предназначенных для производства деталей из высокопрочных металлов. Данный проект реализуется ООО "НПО "3D-Интеграция" при поддержке Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, которое предоставляет финансирование в рамках субсидии ПП 1649. Компания планирует наладить массовое производ-

ство оборудования АМ для российского рынка и стран БРИКС, что позволит снизить зависимость от импортных технологий и укрепить позиции отечественного производителя.

1.6 Перспективы аддитивных технологий

Согласно последнему исследованию AM Power, в 2022 году производство промышленных металлических присадок увеличилось более чем на 20% и превысило 3 миллиарда евро. Прогнозы указывают, что технологический сектор будет развиваться с годовым темпом роста около 30% до 2027 года. При этом рынок полимерных материалов для сельхозтехники ожидает ежегодный рост примерно на 13%, стартовав с объема в 6,5 миллиарда евро в 2022 году. Несмотря на более стремительный рост металлических пленок, полимерные пленки развиваются вдвое быстрее, что подтверждается тенденцией в 3D-печати, где полимерные технологии намного опережают металлические.

Каждая из технологий 3D-печати активно использует различные методы постобработки для облегчения применения аддитивных технологий. Для полимерной печати, включая SLA и SLS, часто необходим процесс сглаживания паром для улучшения качества поверхности. Для металлической 3D-печати постобработка также является важным этапом. Согласно опросу компании Protolabs, более двух третей клиентов, использующих DMLS, требуют обработки поверхности своих деталей. Protolabs в 2021 году приобрела Hubs, чтобы расширить спектр онлайн-услуг, включая различные варианты постобработки.

Аналитическая компания CONTEXT сообщила о значительном повышении выручки от продаж 3D-принтеров, несмотря на снижение мировых поставок на 4%. Рост выручки на 14% в третьем квартале 2022 года связывают с инфляцией и увеличением цен в различных сегментах. В то же время продажи персональных принтеров стоимостью менее 2500 долларов значительно упали из-за снижения спроса и проблем с цепочками поставок.

Несмотря на общий рост доходов, CONTEXT зафиксировала лишь небольшой рост поставок промышленной продукции на 2% с третьего квартала 2021 по

третий квартал 2022 года, при этом продажи металлических 3D-принтеров выросли на 4%, а полимерных - сократились на 2%.

Полностью автоматизированный рабочий процесс в конечном итоге позволяет выполнять 3D-печать без вмешательства человека, а производство требует минимального контроля со стороны человека, что позволяет высвободить ресурсы для решения более сложных задач и повысить общую производительность предприятия.

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОАППАРАТУРЕ

Гидроаппаратура – это аппаратура, которая предназначена для управления или изменения потоком рабочей жидкости. Управление осуществляется в системах гидравлического привода. Эти действия означают изменение или поддержание заданных значений давления или расхода рабочей жидкости. Управление также включает в себя изменение направления, запуск и остановку потока рабочего раствора. Гидравлическое оборудование расположено вместе с масляным баком, а именно в станине машины, смонтированной в специальном отсеке.

2.1 Гидроклапаны

Гидравлические клапаны – это компоненты систем гидравлического привода, используемые для управления потоком и направлением рабочей среды.

Работа гидравлического клапана основана на несложном механизме. В качестве запирающего элемента используется шарик, пластина или конус, подпираемый пружиной (рисунок 8). Пружина создает определенное усилие, прижимающее запорный элемент к седлу. Когда давление жидкости или газа становится больше, чем сила пружины, последняя сжимается, открывая проход для потока.

Как только давление снижается, пружина возвращает запорный элемент в исходное положение, перекрывая канал. Регулируя усилие пружины, можно добиться широкого спектра применения клапанов в различных отраслях промышленности. Существуют разнообразные конструкции гидравлических клапанов, выбор которых зависит от конкретных задач и характеристик гидравлической системы.

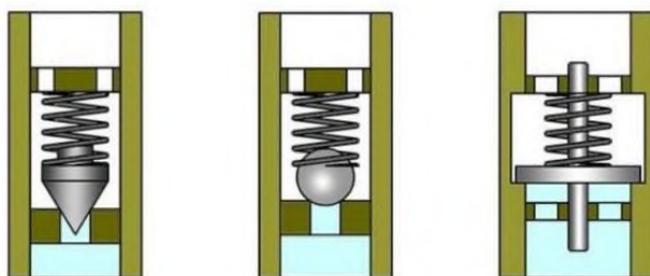


Рисунок 8 – Форма рабочей поверхности гидравлического клапана

Самыми распространёнными клапанами являются шариковые или сферические и конические клапаны, так как у таких форм наибольший показатель герметичности системы и высокие технологические свойства.



Рисунок 9 – Клапанная аппаратура

Регулирующие гидравлические клапаны также называются дроссельными (рисунок 9). Они делятся на три категории, каждая из которых отличается своими задачами, функциональностью и конструктивными особенностями.

1. Предохранительные клапаны. Ограничивают скорость движения среды в гидравлической магистрали для защиты от аварийных ситуаций. В нормальном состоянии они не препятствуют движению, но срабатывают при достижении критической отметки (например, при слишком высокой нагрузке на цилиндр). Они устанавливаются на выходе гидравлического насоса в линии измерения высокого давления, где значение не должно превышать установленного уровня. В гидравлике также целесообразно использовать запорные и регулирующие устройства в форме шара или конуса, чтобы избежать короткого замыкания механизма. Преимуществом предохранительных элементов является их быстрое срабатывание. К недостаткам относятся возможные автоколебания и увеличенные габариты при повышенном потреблении;

2. Редукционные клапаны. Поддерживайте более низкое давление масла в трубопроводе, чем в основной магистрали. Они предназначены для гидравлических приводов, где один источник обеспечивает электропитанием несколько потребителей, работающих с разными устройствами. Чаще всего они устанавливаются в распределительных линиях управления;

3. Переливные клапаны. Эти механизмы поддерживают необходимый расход в сливной магистрали за счет постоянного перепуска среды в сливную часть при сильных колебаниях показаний манометра. Гидравлические устройства работают по следующему принципу:

- Золотник перемещается вверх под действием разницы в энергии и пружины, когда скорость подачи масла превышает максимально допустимый уровень;
- Между краями отверстия золотника и частью корпуса образуется зазор.
- Величина открытия гидравлического клапана прямо пропорциональна расходу охлаждающей жидкости, вытекающей из напорной магистрали;
- Величина, на которую изменяется расход в напорной магистрали, напрямую зависит от жесткости пружины и подъемной силы золотникового элемента.

Переливные гидравлические устройства подключаются по параллельной схеме. В некоторых случаях они подключаются последовательно, но тогда выполняют функцию резервирования в гидравлической магистрали.

Направляющие клапаны делятся на три категории:

1. Обратные клапаны. Они пропускают рабочую среду в одном направлении и перекрывают ее на обратном пути. По конструкции реверсивный блок аналогичен предохранительному, но есть существенное отличие. Он оснащен пружиной малого усилия, функция которой заключается в противодействии силам трения при посадке запорного элемента на седло. Использование этого клапана обеспечивает защиту от самопроизвольного опускания рабочего органа под действием внешних нагрузок и случайного запуска распределителя. На корпусе изделия имеется обозначение в виде стрелки — оно показывает направление движения жидкой массы через клапанный аппарат;

2. Клапан последовательности. Удерживает масло до достижения заданной скорости. Затем открывается гидравлический клапан;

3. Реле временной задержки. Движение среды прекращается и запускается в определенный момент. Предназначено для гидравлических систем, в которых требуется кратковременная выдержка между рабочими циклами.

2.2 Ограничители расхода

Ограничитель расхода – это устройство, предназначенное для управления потоком газов или жидкостей.

В промышленности он в основном используется для регулирования потока газов. Существуют различные типы клапанов, в том числе с поршнями и с сопротивлением при прохождении неровностей или узких участков. Однако наиболее распространенным механизмом является уменьшение расхода путем пропуска его через клапан с небольшим отверстием, с одной стороны.

На рисунке 10 представлена принципиальная схема ограничителя потока. Основными элементами являются подвижный поршень 3, и пружина 6 особой жесткости, помещённые внутрь корпуса 7. Поршень оснащен уточнённым отверстием 2, который представляет собой нерегулируемый дроссель, а в корпусе предусмотрены углубления 4. Совместно с поршнем 3, углубления 4 формируют регулируемый дросселирующий элемент.

В самом первом начальном состоянии, до начала работы гидравлической системы, сжатая пружина, расположенная внутри корпуса, стремится переместить поршень в крайнее левое положение. Это движение пружины приводит к максимальному расширению углублений 4, предназначенных для прохождения рабочей жидкости. Конструкция этих углублений может быть выполнена в виде конических каналов или пазов, обеспечивающих плавное и равномерное распределение потока.

По мере прохождения рабочей жидкости через ограничитель потока, на дросселе 2 возникает заметная разница давлений – перепад давления. Это происходит из-за кинетической энергии жидкости, которая преобразуется в потенциальную энергию давления при преодолении сопротивления дросселя (рисунок

10). С увеличением расхода рабочей жидкости, то есть с увеличением объема жидкости, протекающего через систему в единицу времени, перепад давлений также увеличивается. Это увеличение давления приводит к перемещению поршня вправо, частично или полностью закрывая углубления 4.

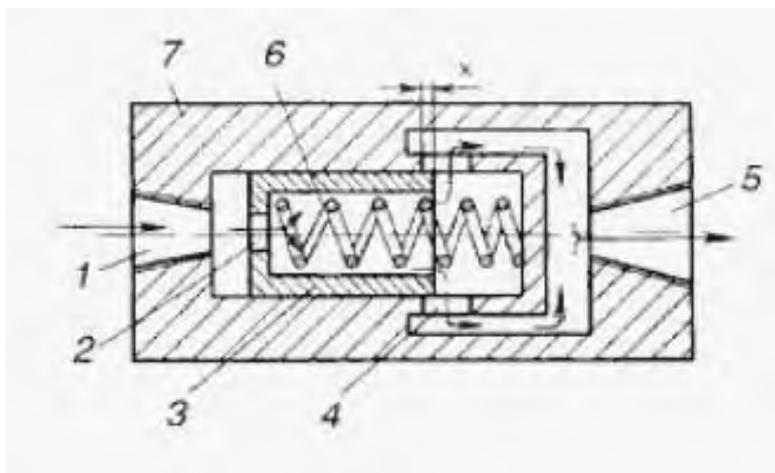


Рисунок 10 – Схема ограничителя расхода

Ограничители расхода используются не только для регулирования подачи газа и достижения равномерного расхода, но и для регулирования расхода гидравлических жидкостей в гидравлическом оборудовании, охлаждающей воды в системах охлаждения и теплоносителей в процессах нагрева. Поскольку эти компоненты находятся в длительном контакте с жидкостями или газами, они обычно изготавливаются из материалов с высокой износостойкостью и химической стойкостью, таких как металлы или керамика.

2.3 Делители-сумматоры потока

Гидравлический делитель-сумматор представляет собой устройство, спроектированное для разделения единого потока рабочей жидкости на несколько равных потоков, независимо от уровня давления в каждом из них (см. рисунок 11).

Такие делители применяются в гидросистемах машин, где требуется синхронное движение параллельно работающих звеньев и гидромоторов, испытывающих переменные нагрузки. Конструкция делителя включает в себя два нерегу-

лируемых дросселя и две заслонки, проходные сечения которых могут автоматически регулироваться благодаря перемещению плунжера. Изменение нагрузки на один из гидромоторов приводит к возникновению перепада давления, который заставляет плунжер смещаться из центрального положения, изменяя проходные сечения дросселей.

Движение плунжера прекращается, когда давления P_3 и P_4 выравниваются. В этом положении плунжера потери напора в обоих ответвлениях становятся одинаковыми. Таким образом, поддержание равенства потерь в ответвлениях достигается путем регулирования расхода в той ветке, где гидравлический двигатель подвержен колебаниям нагрузки.

Делитель потока также способен функционировать как сумматор потока, обеспечивая постоянный расход рабочей жидкости в двух подключенных к нему трубопроводах.



Рисунок 11 – Делители-сумматоры потока

2.4 Дроссели и регуляторы расхода

Дроссель представляет собой локальное гидравлическое сопротивление, создаваемое для формирования перепада давления на определённых участках гидравлических линий. В гидроприводах дроссели применяются для регули-

ровки скорости перемещения или вращения исполнительных механизмов в системах с энергией до 4 кДж. Они бывают двух типов: постоянные и регулируемые.

Постоянные дроссели, широко используемые в гидравлической автоматике, обычно представляют собой отверстия в пластинах, такие как шайбы и втулки. При прохождении жидкости через эти элементы движение обычно носит турбулентный характер, что означает, что коэффициент трения не зависит от числа Рейнольдса, а перепад давления пропорционален квадрату расхода. По этой причине их часто называют турбулентными или квадратичными дросселями.

Регулируемые дроссели — это тип гидравлических сопротивлений, позволяющих изменять площадь сечения потока во время работы, что даёт возможность точно регулировать соотношение между перепадом давления и расходом жидкости. В зависимости от формы проходного сечения регулируемые дроссели бывают рифлеными, игольчатыми, щелевыми и пластинчатыми. Наиболее популярным видом с прорезями является поворотный клапан, у которого изменяется проходное сечение за счёт вращения заглушки с треугольной либо прямоугольной канавкой. На рисунке 12 приведена одна из наиболее простых схем дроссельной конструкции.

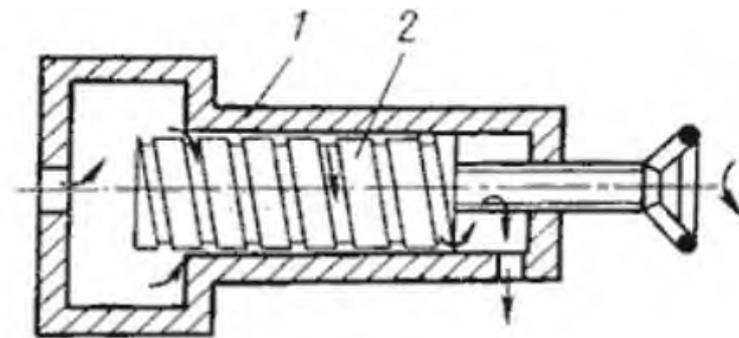


Рисунок 12 – Схема дросселя: 1 - корпус; 2 – винт

Основные компоненты дросселя — втулки, дроссельный винт и уплотнения. Жидкость подаётся к одному отверстию, а из другого направляется к гидравлическому двигателю. Смещение винта вдоль оси меняет длину канала и, как

следствие, перепад давления на дросселе. В винтовом дросселе течение носит ламинарный характер, перепад давления изменяется линейно в зависимости от скорости и расхода, что объясняет название такого типа — линейный дроссель (рисунок 13).

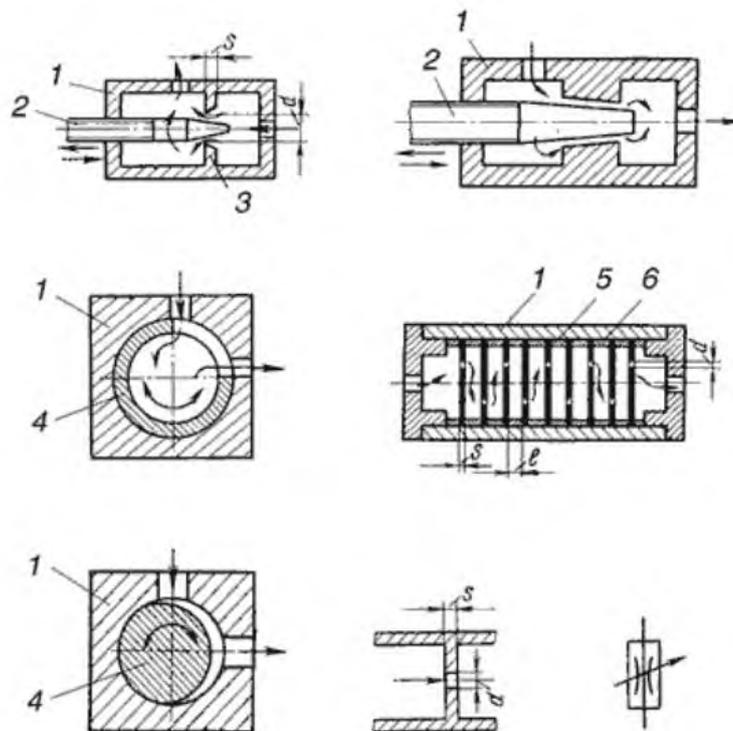


Рисунок 13 – Схемы линейных дросселей: а – игольчатого; б – комбинированного; в – пробкового щелевого; г – пробкового эксцентричного; д – пластинчатого пакетного; е – пластинчатого; ж – условное обозначение регулируемого дросселя; 1 – корпус; 2 – игла; 3 – диафрагма; 4 – пробка; 5 - пластина; 6 – втулка

2.5 Гидрозамки

Гидрозамок – конструкция, которая предназначена для поддержки гидравлических двигателей в стационарном положении под нагрузкой и под влиянием температуры и давления.

Одним из недостатков гидропривода является протечка рабочей жидкости через уплотнения и зазоры, что особенно характерно для золотниковых клапанов. Из-за этого, например, под нагрузкой шток гидроцилиндра постепенно

опускается. Со временем, по мере увеличения срока эксплуатации гидропривода, утечки усиливаются, и скорость опускания штока при применении изношенных клапанов становится выше, чем у новых. Похожая проблема также есть и у гидромоторов, так и поворотным гидромоторам.

Гидрозамок – это направленная гидравлическая конструкция, предназначенная для обеспечения потока рабочей жидкости в одном направлении и блокировки его в противоположном направлении при отсутствии управляющего воздействия, а при наличии последнего – для обеспечения потока жидкости в обоих направлениях (рисунок 14).



Рисунок 14 – Гидрозамок

Гидрозамок широко используется в гидроприводах для автоматической фиксации рабочей жидкости в полостях гидравлических двигателей, что позволяет удерживать их выходные звенья в заданных позициях. Основные классификации гидрозамков строятся на следующих критериях:

- по количеству запорно-регулирующих элементов — односторонние и двухсторонние;
- по типу конструкции запорно-регулирующих элементов — шариковые и конические;
- по способу управления — с гидравлическим, пневматическим, электромагнитным или механическим приводом.

Гидрозамки разделяются по количеству входящих в её элементов, выделяя односторонние и двусторонние модели, а также по способу управления: гидравлическое, пневматическое, электромагнитное и механическое. В следящих гидравлических системах наиболее часто применяют гидрозамки с коническими клапанами, управляемые гидравлически.

Существуют гидрозамки одностороннего и двустороннего действия, причем односторонние часто называют управляемыми обратными клапанами.

Эти замки получили широкое распространение в гидроприводе строительной, дорожной, горной техники, а также в различных системах объемного гидравлического привода.

2.6 Гидравлические распределители

Основная функция гидрораспределителя заключается в изменении направления потока рабочей жидкости, регулировании её скорости и давления в зависимости от внешних факторов. Такие устройства применяются в дорожно-строительной, сельскохозяйственной, горнодобывающей и погрузочной технике, а также в промышленных станках. В данной статье мы подробно рассмотрим принцип работы, типы и методы управления гидрораспределителями.

Гидравлические устройства делятся на два основных типа в зависимости от их назначения: дросселирующие и направляющие. Регулирующий клапан предназначен для перекрытия или изменения направления потока рабочей жидкости между различными участками гидравлической системы. Ключевым элементом является подвижный золотник, отвечающий за открытие и закрытие каналов между портами, что, в свою очередь, влияет на работу исполнительных механизмов, таких как цилиндры и двигатели. Дросселирующие модели регулируют направление и скорость рабочей жидкости, изменяя площадь проходного сечения в каналах гидравлической системы.

Дросселирование осуществляется путем изменения зазора между элементами устройства, что позволяет точно контролировать сопротивление рабочей

среды. Это обеспечивает более плавное и точное управление процессами в гидравлических системах. В зависимости от типа запирающего и регулирующего элемента, выделяют три основных типа:

1. Золотниковые клапаны: принцип действия основан на перемещении золотника (плоской или цилиндрической пластины) внутри корпуса. В исходном положении золотник перекрывает каналы, а при смещении масло начинает двигаться в заданном направлении;

2. Крановые: они работают на основе поворотной крановой заглушки, открывающей или закрывающей поток гидравлической жидкости. Отличаются простой конструкцией и могут быть как ручными, так и автоматическими, часто применяются в системах, требующих быстрого переключения режимов;

3. Клапанные заслонки: в этих моделях используются клапаны, открывающие или закрывающие поток рабочей жидкости. Движение элемента обеспечивается штоком с выступами, направление движения которого определяет, какие клапаны откроются, направляя жидкость в гидравлический двигатель или резервуар.

Устройства могут быть пропорционального или прямого действия. Пропорциональные модели обеспечивают плавное изменение расхода и более точное управление механизмом.

По количеству рабочих положений:

- Двухпозиционные: имеют два стабильных положения, между которыми происходит переключение. В каждом положении устанавливается определенное соединение между портами. Обычно в одном положении жидкость подается к приводу (например, при подъеме цилиндра), а в другом – отводится (при опускании);

- Трехпозиционные: предусматривают три устойчивых положения, что позволяет реализовать больше вариантов подключения портов. В зависимости от конструкции, положение рабочей жидкости (нейтральное положение) может быть зафиксировано, удерживая исполнительный элемент в текущем положении.

В других положениях распределитель обеспечивает подачу и отвод рабочей жидкости, аналогично двухпозиционным распределителям;

- Четырехпозиционными. Они получили большой спрос в сложных гидравлических системах с несколькими точными исполнительными элементами, где необходимо обеспечить разные режимы работы.

На рисунке 15 можно посмотреть схемы распределителей по их количеству положений.

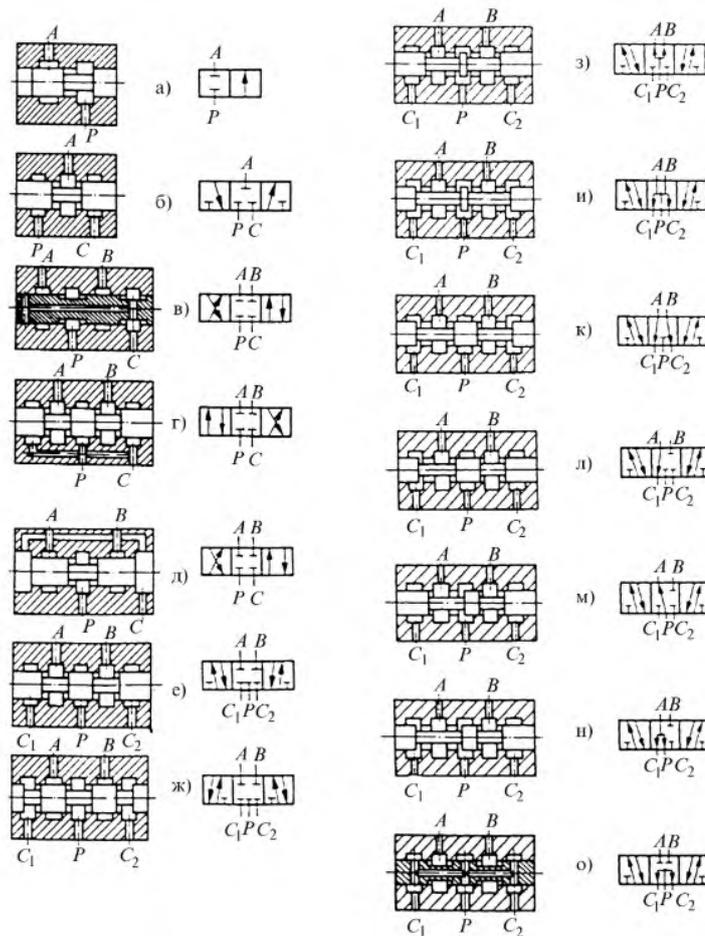


Рисунок 15 – Схемы распределителей: а - двухлинейного двухпозиционного; б – трехлинейного трехпозиционного; в, г, д - четырехлинейного трехпозиционного; е – о - пятилинейного трехпозиционного

По способу управлению (рисунок 16):

- Ручной – работник сам регулирует параметры потока с помощью рычага;

- Механический – управление происходит при помощи внешних механических элементов, таких как тяги, тросы или кулисы;
- Электромагнитный – устройства управляются посредством микропроцессоров, которые анализируют сигналы от датчиков и выдают управляющие команды распределителям.

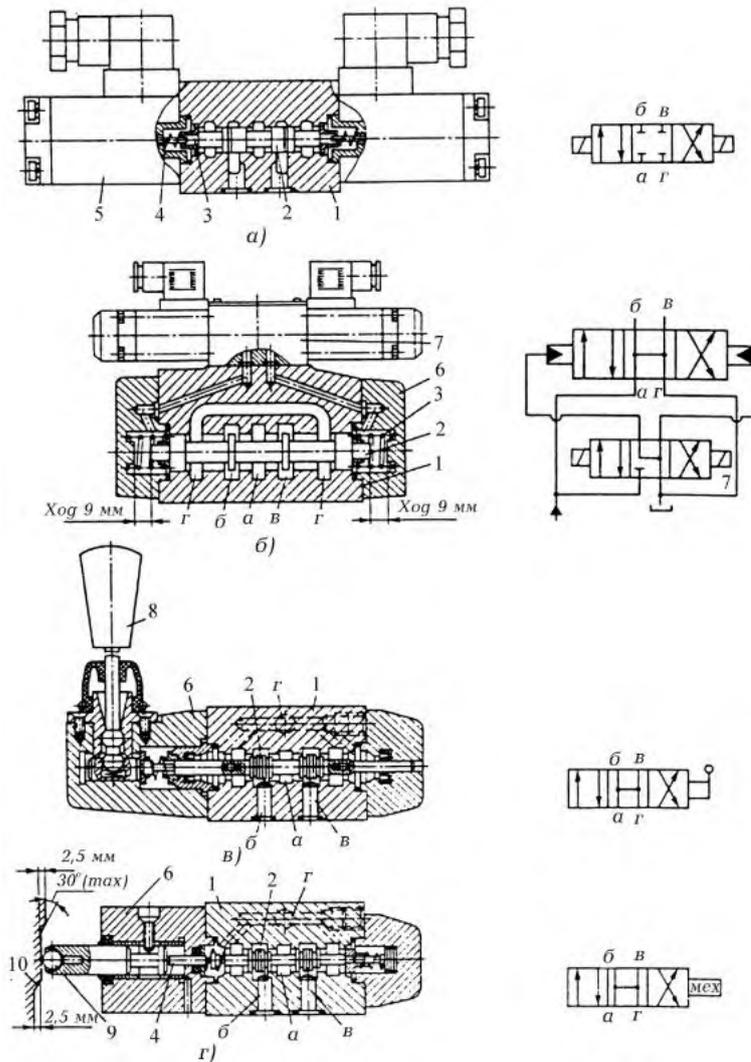


Рисунок 16 – Типы распределителей и способы управления ими: а - модели В6 с электромагнитным управлением; б - комбинированный модели В16 с электрогидравлическим управлением; в - модели ПММ6 с ручным управлением; г - модели ПМР6 с механическим управлением

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТОТИПОВ ГИДРОАППАРАТУРЫ

3.1 Выбор материала для прототипирования гидроаппаратуры

При разработке гидроаппаратуры первостепенное значение имеет выбор материалов, способных эффективно противостоять коррозии. Вода является агрессивной средой, вызывающей постепенное разрушение металла. Поэтому, при проектировании необходимо ориентироваться на материалы, обладающие высокой коррозионной стойкостью.

Не менее важны механические характеристики: прочность, определяющая способность материала выдерживать нагрузки без разрушения, и твердость, влияющая на износостойкость и сопротивление абразивному износу.

Кроме того, при выборе материала необходимо учитывать его стоимость и доступность на рынке. Использование дорогостоящих материалов может значительно увеличить стоимость продукции, что делает ее нерентабельной. Поэтому инженеры стремятся найти оптимальный баланс между требуемыми характеристиками и экономической целесообразностью.

Наконец, критически важным фактором является способность материала выдерживать температуру и давление воды, которые могут значительно варьироваться в зависимости от условий эксплуатации гидроаппаратуры. Высокое давление создает значительные напряжения в стенках изделия, а повышенная температура может ускорить процессы коррозии и снизить прочность материала. Поэтому необходимо проводить расчеты на прочность и выбирать материалы, соответствующие заданным параметрам. Например, для гидроаппаратуры, работающей под высоким давлением и при повышенной температуре, могут потребоваться специальные высокопрочные стали или композитные материалы, способные выдерживать экстремальные условия. На сегодняшний день при создании гидроаппаратуры используют металлы: сталь, алюминий.

Таблица 1 – Физические свойства стали

Плотность, г/см ³	7,85
Температура плавления, °С	1480-1520

Твёрдость, НВ	120
Прочность, МПа	590
Модуль упругости, ГПа	206

Таблица 2 – Физические свойства алюминия

Плотность, г/см ³	2,7
Температура плавления, °С	658-660
Твёрдость, НВ	58
Прочность, МПа	10
Модуль упругости, ГПа	70

Эти материалы используются одновременно и для изготовления готовых изделий, и для изготовления прототипов гидроаппаратуры, что является не целесообразно. Поэтому прототипы можно создавать из материалов, которые уступают по характеристикам, но они имеют ряд преимуществ:

- Снижают затраты;
- Упрощают процесс разработки;
- Понимание механики;
- Тестирование.

В изготовлении прототипов гидроаппаратуры была использована фотополимерная смола – Anycubic Standard Resin. Классическая формула, совместима с большинством LCD и DLP 3D принтеров. Смола имеет высокую скорость затвердевания, что обеспечивает прочность готовых изделий и значительно сокращает время печати. Высокая адгезия к печатной платформе и практически полное отсутствие усадки делает печать еще более качественной. Напечатанные детали хорошо держат форму и позволяют выполнить качественное литье. Смола имеет стабильный состав, поэтому ее легко хранить.

Таблица 3 – Физические свойства фотополимерной смолы

Длина УФ волны, нм	365-405
Плотность, г/см ³	1,05-1,25
Предел прочности, МПа	36-52
Относительное удлинение при разрыве, %	15-22

Прочность на изгиб, МПа	50-70
Твердость по Шору, D	80
Время экспозиции, сек	1,5-9

Фотополимерную смолу Anycubic Standard Resin применяют в различных областях, включая моделирование, прототипирование, ювелирное дело, стоматологию, а также в других отраслях, где необходима высокая точность деталей.

3.2 Этапы изготовления прототипов гидроаппаратуры

Процесс аддитивного производства включает в себя восемь последовательных этапов, каждый из которых играет важную роль в создании конечного изделия.

Этап 1. Проектирование 3D-модели. На этом этапе изготавливают абсолютно любых деталей с использованием CAD-систем. Первым этапом создаётся виртуальная модель детали, которая полностью отображает её геометрическую форму и размеры внешней поверхности. Для этого можно использовать практически любое профессиональное CAD-программное обеспечение для твердотельного моделирования. В данной работе была применена CAD-система Компас-3D. Итогом проектирования становится трёхмерный образ твердого тела или его поверхности. На рисунке 17 представлен разрез детали.

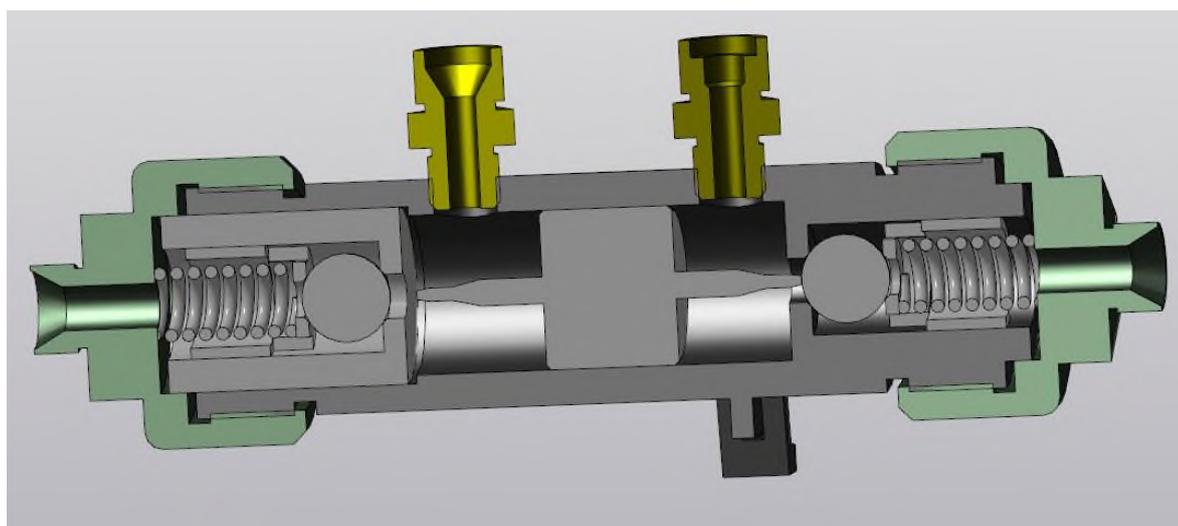


Рисунок 17 – 3D-модель гидрозамка

Этап 2. Правильные сохраненные файлы. Все АП машины поддерживают формат файлов STL, который стал стандартом для 3D-принтеров, и в современное время почти каждая САД-машина может выводить такие файлы в этом формате (рисунок 18), пример сохранения файла с таким форматом в Компасе-3D. Эти файлы описывают внешние поверхности исходной 3D-модели, они формируют основу для расчета.

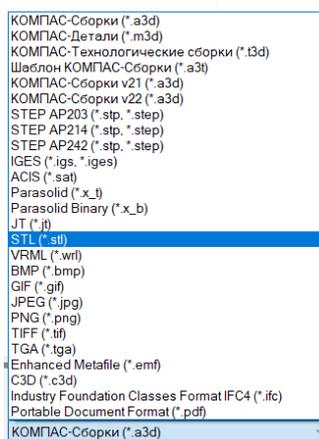


Рисунок 18 – Преобразование в STL-файл

Этап 3. Перенос файла STL на устройство АП и их настройка. Данный файл с описанием модели передается на устройство АП, пример программы АП - Anycubic. Здесь выполняются некоторые основные настройки, корректировка размера, позиционирование, угол наклона и ориентация для изготовления продукта, а также создание «поддержки» – голубые непрочные подставки под деталью (рисунок 19).

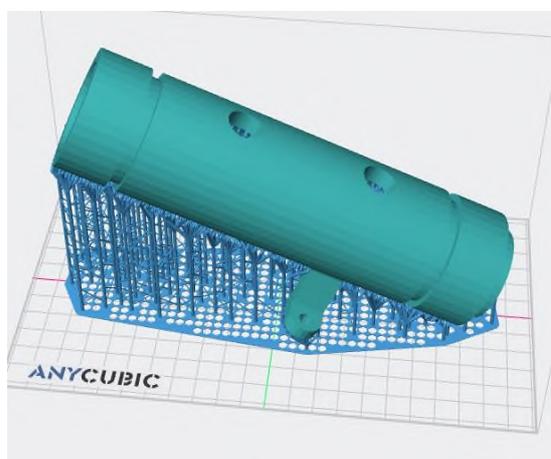


Рисунок 19 – Деталь в Anycubic

Этап 4. Настройка машины. Перед печатью детали следует машину АП правильно настроить. Установка параметров является ключевым шагом для печати. Нужно установить такие параметры как: пределы использования материала, источник энергии, толщина слоя, время затвердевания и т.д.

Этап 5. Изготовление. Печать модели – это автоматический процесс, поэтому машина способна выполнять его практически без контроля работника. В некоторых случаях необходимо лишь поверхностно следить за работой аппарата, чтобы не возникали ошибки, например, закончился материал для печати, произошел сбой в питании или программном обеспечении и т.д. На рисунке 20 – изображение деталей после окончания печати.



Рисунок 20 – Распечатанные детали

Этап 6. Извлечение изделия. После того как процесс изготовления завершен, изделие нужно извлечь. В некоторых случаях для этого потребуются определенные действия с оборудованием, которое имеет встроенные системы безопасности. Эти системы могут включать в себя функции, такие как понижение температуры или остановка движущихся компонентов, чтобы обеспечить безопасность пользователя.

Этап 7. Доработка. После удаления изделия шпателем из оборудования и последующем убиранием «поддержек» может возникнуть необходимость в его очистке перед использованием. На этом этапе изделия могут еще не достичь необходимой прочности или содержать вспомогательные элементы, которые нужно удалить. Этот процесс называется последующей обработкой и делится на

три типа: термическую, механическую и термомеханическую. Термическая последующая обработка помогает устранить остаточные напряжения и зачастую изменяет структуру материального зерна. Механическая последующая обработка включает удаление опорной конструкции и создание необходимых отверстий. Термомеханическая последующая обработка аналогична горячему изостатическому прессованию и способствует снижению пористости готового изделия. (рисунок 21).



Рисунок 21 – Сушка детали

Этап 8. Доработка и использование. Не очень часто детали могут быть готовы к использованию. В основном перед использованием доработка. Например, для придания поверхности желаемой текстуры и отделки можно её загрунтовать и покрасить. Доработка может занять очень много времени, если техническое требование к конечному продукту достаточно высоки (рисунок 22).



Рисунок 22 – Сборка

3.3 Оценка прототипов

Фотополимерная смола позволяет создавать детали, которые визуально очень близки к исходной 3D-модели, что, безусловно, является огромным плюсом технологии 3D-печати. Однако, в процессе сборки и дальнейшей обработки этих деталей возникают определенные сложности, обусловленные явлением усадки материала. Усадка смолы – это естественный процесс, происходящий при полимеризации, то есть отвердении под воздействием ультрафиолетового света. В моем опыте, эта усадка проявляется в небольшом изменении размеров и формы деталей, что затрудняет их точную подгонку друг к другу. Например, при печати нескольких элементов, которые должны плотно соединяться, может потребоваться дополнительная подгонка с использованием инструментов.

Для устранения этих неровностей и достижения необходимой точности я вынужден прибегать к использованию шлифовальной машины и наждачной бумаги. Сначала шлифовальной машиной аккуратно удаляю излишки материала и выравниваю крупные неточности, а затем, используя наждачную бумагу различной зернистости, добиваюсь гладкой и ровной поверхности. Это трудоемкий процесс, требующий аккуратности и терпения, но без него невозможно добиться качественной сборки.

Но и это еще не все проблемы, с которыми приходится сталкиваться. Белый цвет фотополимерной смолы, который я часто использую, оказался довольно марким. Поверхность деталей очень быстро покрывается отпечатками пальцев, пылью и другими загрязнениями, что портит внешний вид готового изделия. Чтобы избежать этого, приходится постоянно протирать детали мягкой тканью и, возможно, в будущем рассмотреть использование прозрачных защитных лаков или покрытий.

Несмотря на все эти трудности, я был приятно удивлена твердостью и прочностью изделий, напечатанных из фотополимерной смолы. Несколько раз случалось, что детали случайно падали со стола, но, к моему удивлению, они оставались совершенно целыми, без каких-либо трещин или сколов. Это говорит

о том, что смола обладает устойчивостью к механическим воздействиям, что делает ее подходящим материалом для создания функциональных прототипов.

Но, несмотря на все достоинства и перспективность, для готовой продукции эти изделия всё-таки не хватает достаточной прочности, особенно в условиях эксплуатации в РКТ, где они подвергаются очень большим и динамичным нагрузкам. Речь идет не только о статических нагрузках, которые могут возникнуть под собственным весом или весом установленного оборудования, но и о ударных воздействиях, вибрациях и деформациях, которые неизбежно возникают при перемещении грузов и взаимодействии с другими элементами производственной линии. Например, при использовании в РКТ для перемещения тяжелых заготовок, изделие может подвергаться кратковременным, но очень высоким нагрузкам, превышающим расчетные значения. Это, в свою очередь, может приводить к появлению микротрещин, деформаций и даже к полному разрушению конструкции, что, безусловно, негативно сказывается на надежности и эффективности всего роботизированного комплекса. Поэтому, для расширения области применения данных изделий в РКТ, необходимо уделить особое внимание повышению их прочности и устойчивости к различным видам нагрузок, возможно, путем применения более прочных материалов, оптимизации конструкции или разработки специальных защитных покрытий.

В целом, несмотря на недостатки, фотополимерная смола остается хорошим выбором для 3D-печати, особенно когда важна детализация и визуальная точность, а также их можно использовать для создания моделей анатомических структур, архитектурных макетов или даже простых механических устройств, что позволяет наглядно продемонстрировать принципы работы и облегчает процесс сборки.

3.4 Расчёт усадки изделия

Усадка фотополимерной смолы – это изменение линейных размеров детали при её затвердевании в процессе печати или эксплуатации. Степень усадки зависит от состава материала, условий его изготовления и эксплуатации. Усадка

модели после печати фотополимерными смолами происходит из-за полимеризации, во время которой жидкие полимеры превращаются в твердые тела.

Для компенсации усадки в настройках программного обеспечения для 3D-печати используются значения масштабирования и смещения. Значение масштабирования увеличивает размер части на определенный процент, чтобы после усадки размеры были точными. Однако это не покрывает полной компенсации, так как тонкие детали имеют больший процент усадки по сравнению с толстыми. Параметр смещения добавляет или удаляет заданное количество микрон, чтобы учесть различия в усадке в зависимости от поперечного сечения модели.

После того как деталь была распечатана на 3D-принтере, я провела серию измерений для оценки точности воспроизведения геометрических размеров. В рамках контроля качества было выполнено десять измерений параметра длины по одной и той же линии на детали, общей длиной 18 мм. Небольшие отклонения, можно отнести к допустимым погрешностям, связанным с технологией 3D-печати, особенностями используемого материала и погрешностью измерительного инструмента.

Таблица 4 – Результаты измерений (X_i)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18.03	18.06	18.03	18.03	18.02	18.05	18.03	18.04	18.04	18.05

Для начала найдём среднее арифметическое всех результатов измерений:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}, \quad (1)$$

где $\sum X_i$ – сумма результатов всех измерений;

n – количество измерений.

После найдём остаточные квадратичные значения:

$$X_2 = (Xi - \bar{X})^2. \quad (2)$$

Определим сумму остаточных квадратичных погрешностей:

$$\Sigma \equiv \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^2. \quad (3)$$

Среднюю квадратичную погрешность можно найти по формуле:

$$\sigma \equiv \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^2}{n}}. \quad (4)$$

Найдём предельную погрешность по формуле:

$$S = \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (5)$$

Таблица 5 – Результаты расчёта усадки

Истинные значения, мм	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Измеренные значения, мм	18.03	18.06	18.03	18.03	18.02	18.05	18.03	18.04	18.05
Среднее арифметическое значение, мм	18.04								
Остаточная погрешность, мм	-0.03	-0.06	-0.03	-0.03	-0.02	-0.05	-0.03	-0.04	-0.05
Остаточная квадратичная погрешность, мм	0.0009	0.0036	0.0009	0.0009	0.0004	0.0025	0.0009	0.0016	0.0025
Сумма остаточных квадратичных погрешностей, мм	0.02								

Средняя квадратичная погрешность, мм	0.04
Предельная погрешность, ср. арифметическое, мм	0.04
Результат измерения, мм	18+0.04

Высчитаем погрешность в %:

$$\delta = \frac{Xi - X}{Xi} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Таблица 6 – Результаты погрешности усадки

$\delta_{cp}, \%$	$\delta_{MAX}, \%$	$\delta_{MIN}, \%$
0.22	0.33	0.11

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что усадка, хотя и не является критической, всё же ощутима и может оказать значение на итог.

3.5 Прочностной расчёт

Прочностной расчёт – это процесс анализа конструкции на предмет её способности выдерживать нагрузки без разрушения. Он выполняется на начальных этапах проектирования здания, механизма или изделия. Он необходим для обеспечения безопасной, эффективной эксплуатации объекта.

Для этого расчёта лучше не брать фотополимерную смолу, так как она не подходит для реальных условий, поэтому был взят алюминиевый порошок AlSi10Mg – это лёгкий высокопрочный алюминиевый сплав в виде порошка, который широко используется в аэрокосмической, автомобильной и медицинской отраслях. Благодаря уникальному сочетанию алюминия, кремния и магния он является идеальным материалом для процессов аддитивного производства, таких как 3D-печать.

Таблица 7 – Физические свойства алюминиевого порошка AlSi10Mg

Плотность, г/см ³	2,68
------------------------------	------

Твёрдость, НВВ	105
Удлинение, %	9
Предел текучести, МПа	250
Прочность на разрыв, МПа	460
Температура плавления, °С	570-590
Модуль упругости, ГПа	68

Для прочного расчёта был выбран корпус гидрозамка. Он был построен с помощью программы Компас-3Д (рисунок 23), а расчёт произведён в встроенной библиотеке АРМ FEM.

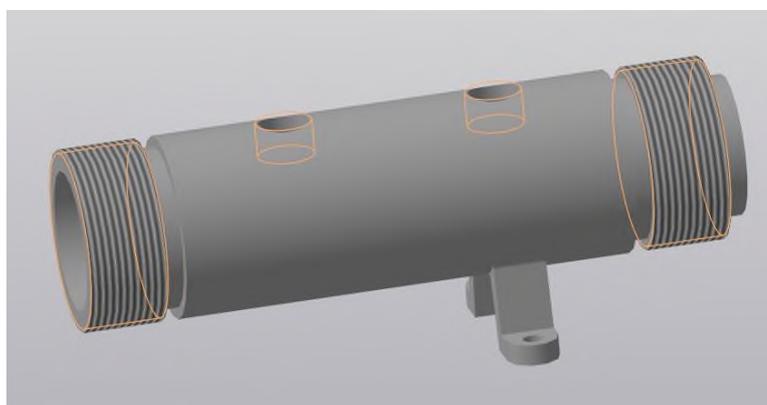


Рисунок 23 – Корпус гидрозамка

Данному изделию были даны свойства алюминиевого порошка AlSi10Mg, что означает его изготовление с использованием сплава на основе алюминия. Этот порошок часто применяется в аддитивных технологиях, таких как 3D-печать металлом, где он позволяет создавать детали с уникальными геометрическими характеристиками, недоступными при традиционных методах.

На рисунке 24 показано, что были отмечены границы данного изделия.

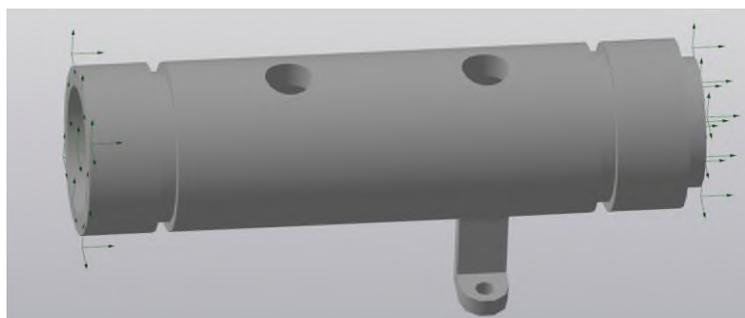


Рисунок 24 – Фиксированная геометрия

Мы стремимся максимально точно воспроизвести условия, в которых будет работать исследуемый образец или система. Для этого мы тщательно контролируем и поддерживаем давление и температуру (рисунок 25), приближая их к тем, что характерны для реальных эксплуатационных условий, а также генерируем КЭ-сетку, она показана на рисунке 26.

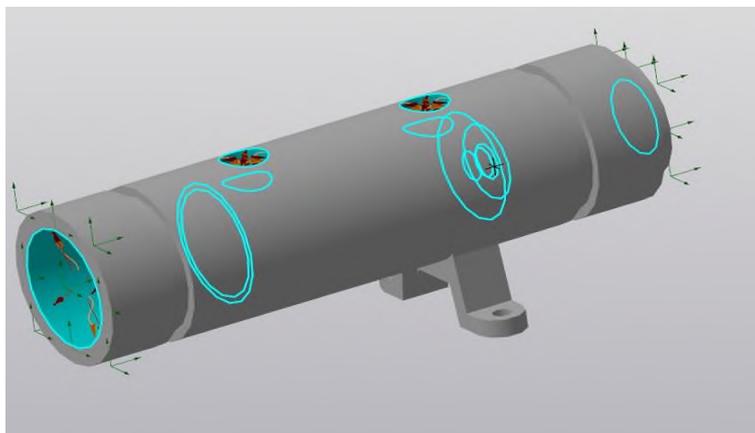


Рисунок 25 – Приложенные температура и давление

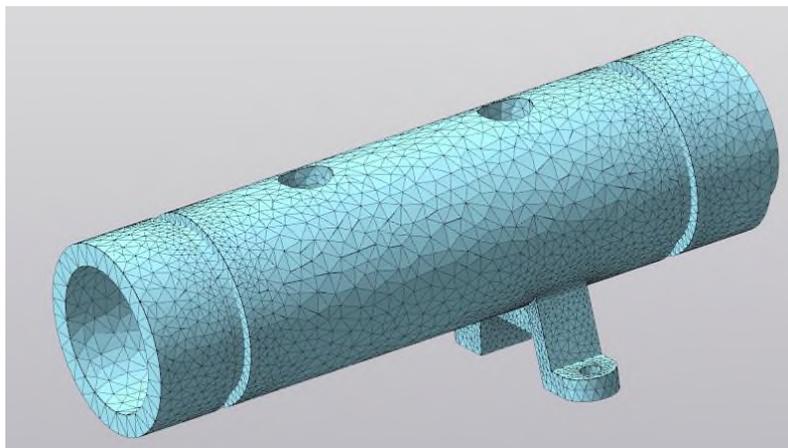


Рисунок 26 – КЭ-сетка

На представленном рисунке 27 изображено влияние температуры и давление на стенки конструкции – на корпус гидрозамка.

Анализ полученных данных:

- Температура. Диапазон температуры рабочей жидкости для гидроаппаратуры от 0 до +70 °С. Была выбрана температура 35 °С. Исходя из полученных данных температура не оказывает никакого влияние на корпус конструкции;

- Давление. Предел составляет около 100 МПа. Это хороший показатель, так как номинальное значения давления составляет 32 МПа, а максимальное – 35 МПа. Поэтому можно сказать, что данный материал очень хорошо себя зарекомендует в качестве материала для изготовления прототипов, а может быть и даже готовой продукции, где важна сохранение формы под нагрузкой;

- Модуль упругости. Он равен где-то около 68 ГПа. Это сообщает нам о высокой жесткости материала, что говорит об ещё одном плюсе данного материала, потому что высокий показатель модули обеспечивает сохранение формы конструкции под нагрузкой.

Анализируя полученные результаты моделирования, мы может утверждать, что изделие из алюминиевого порошка обладает необходимым запасом прочности и устойчивости к температуре и давлению, что делает его перспективным для применения в РКТ (рисунок 27).

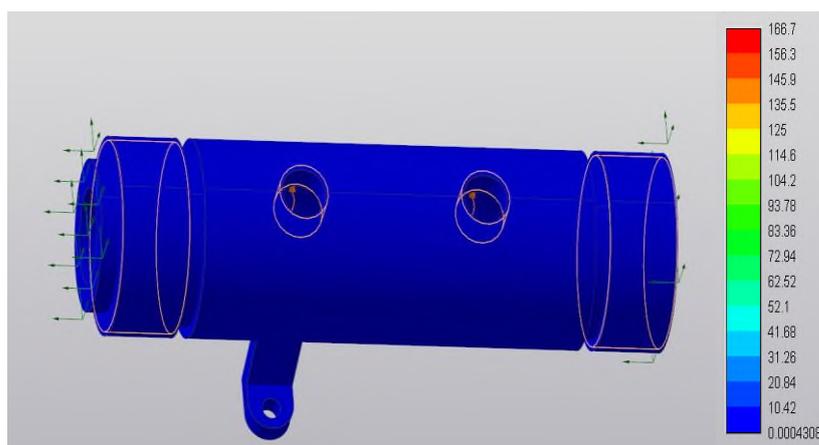


Рисунок 27 – Значения давления

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

Как и при любом производстве, в случае разработки прототипов гидроаппаратуры используются разнообразные опасные вещества. При изготовлении таких изделий ключевые риски связаны с печатью прототипов из композитных материалов и их последующей очисткой. Важно подчеркнуть, что все прототипы в данном случае создаются исключительно из композитов, а именно – из фотополимерной смолы Anycubic Standard Resin.

4.1 Опасные факторы при работе с композитными материалами

Фотополимерные смолы состоят из сложной смеси мономеров, олигомеров и различных добавок, которые представляют серьёзную опасность для людей, работающих с ними, особенно при ежедневном контакте, но данные элементы являются более-менее основными для всех фотополимерных смол. Просто каждая компания данных смол хранит состав в секрете. Главная проблема в том, что многие компоненты сохраняют свои вредные свойства – токсичность, раздражающее и возможное канцерогенное действие – на всех этапах обработки и использования композитных материалов, начиная с 3D-печати и заканчивая постобработкой, шлифовкой и покраской. Поэтому обеспечение охраны труда является чрезвычайно важной задачей, затрагивающей многие разделы, такие как: общая безопасность, промышленная безопасность, охрана труда в особых условиях.

Таблица 8 – Основные опасности, источник опасности

Источник опасности	Опасности
Эпоксидные смолы	Нарушение функционирование мозга, нервной, эндокринной и репродуктивной систем, дерматит, аллергические реакции.
Уретаны	Раздражение дыхательных путей, кашель, затруднённое дыхание, отёк лёгких, дерматит, головная боль, головокружение, слабость, судороги, потеря сознания, тошнота, рвота, боли в животе при попадании внутрь.
Простые полиэфиры	Раздражение кожи, аллергическая реакция.
Сложные полиэфиры	Раздражение кожи, аллергическая реакция.

Акрилат	Аллергическая реакция, раздражение дыхательных путей, может вызвать образование опухоли.
Бензофенон	Раздражение кожи, аллергическая реакция, нарушение гормональных функций, поражение печени и почек.
Ксантон	Сахарный диабет, нарушения в работе щитовидной железы, почечная недостаточность, обструкция желчевыводящих путей, панкреатит, алкоголизм, ожирение, атеросклероза и ишемической болезни сердца.
Хинон	Раздражение слизистых глаза, слезотечение, жжение в носоглотке, боль за грудиной, чувство стеснения в груди, одышка, кашель, дерматит.
Алифатические амины	Поражение нервной системы, уменьшение гемоглобина и эритроцитов, нарушение работы печени и почек, аллергическая реакция, дистрофия.
Изопропиловый спирт	Головная боль, раздражение слизистых оболочек, головокружение, тошнота, потеря сознания, сухость и шелушение кожи, поражение внутренних органов – при попадание внутрь.
Открытый огонь, искра рядом со смолой	Воспламенение, дым
Выливание отходов в неположенных местах	Загрязнение водоёмов, окружающей среды

4.2 Методы защиты от опасных и вредных факторов

Для защиты работников от вредных воздействий при работе с композитными материалами крайне важно применять современные средства индивидуальной защиты. Эти средства предназначены для предотвращения попадания опасных паров, газов и пыли в дыхательные пути, а также для обеспечения надёжной защиты кожи от контакта с химическими веществами, содержащимися в данных материалах.

В соответствии с нормативным документом ГОСТ Р 56787-2015 «Композиты полимерные», при выполнении работ с композитами необходимо строго соблюдать ряд требований по технике безопасности, чтобы минимизировать риски для здоровья персонала и обеспечить безопасные условия труда:

1. Если у кого-нибудь из сотрудников вдруг выявляется повышенная чувствительность или аллергические реакции на компоненты композитных материалов, их следует незамедлительно отстранить от работы с такими веществами, чтобы предотвратить ухудшение здоровья;

2. Для защиты работников должны быть предоставлены специализированные средства защиты и подходящая защитная одежда. К числу необходимых средств относятся очки, защищающие глаза от попадания химических веществ и пыли, а также индивидуальные респираторы или другие устройства для защиты дыхательных органов от опасных газов и аэрозолей. Для защиты кожи на руках рекомендуется использовать резиновые перчатки в сочетании с нарукавниками, а для предотвращения загрязнения рабочей одежды — пластиковые фартуки. Также нередко применяются хлопчатобумажные халаты, которые повышают комфорт и обеспечивают соблюдение правил гигиены;

3. Работу следует проводить в специально оборудованном помещении с вытяжной вентиляцией, обеспечивающей не менее восьмикратного воздухообмена, а также отоплением и водоснабжением. При этом необходимо соблюдать меры пожарной безопасности;

4. Эпоксидные и полиуретановые смеси должны храниться в отдельных емкостях или тубах с надёжным закрытием. В случае утечки место разлива нужно быстро засыпать песком и обработать смесью аммиака, спирта и воды;

5. Упаковка композитных материалов должна производиться в специально оборудованных вытяжных шкафах, обеспечивающих скорость всасывания не менее 1 м/с. Это предотвращает распространение вредных веществ в рабочей зоне и минимизирует риски для здоровья персонала;

6. В помещениях, где работают с композитами, запрещается курить, принимать пищу и хранить чистую одежду.

Требования к метеоусловиям на рабочих местах регламентируются ГОСТ 12.1.005-76 «Воздух рабочей зоны»:

1. В холодный период температура воздуха должна быть в пределах 17-20°C, а относительная влажность – от 60 до 75%;

2. В тёплое время года – температура 22-25°C при относительной влажности не выше 60%.

4.3 Меры пожарной безопасности при работе с композитами

В соответствии с нормативным документом ГОСТ 12.1.004 – 91 «Пожарная безопасность» в области охраны труда на предприятиях необходимо соблюдать следующие меры противопожарной защиты:

1. Каждое производственное помещение должно быть оснащено очень надежной системой противопожарной защиты, обеспечивающей максимальную безопасность людей и минимизацию рисков, связанных с пожарами. Такая система должна обеспечивать чрезвычайно высокий уровень защиты, при котором вероятность возникновения опасных последствий пожара для человека не должна превышать одного случая на миллион в год;

2. В рабочих условиях влияние потенциально опасных компонентов пожара на каждого работника не должно превышать установленного безопасного уровня более десяти раз в течение года.

В целях исключения источников воспламенения в пожароопасных зонах, согласно данному стандарту, следует придерживаться следующих требований:

1. Оборудование, приборы и механизмы, используемые в работе, должны быть спроектированы таким образом, чтобы исключить возможность их воспламенения;

2. Необходимо предотвратить появление искр в средах, содержащих горючие вещества;

3. Для выполнения работ следует применять только инструменты, не генерирующие искры;

4. Следует устранить все факторы, способные вызвать самовозгорание в условиях недостаточной освещенности, а также исключить воздействие химических и биологических агентов.

В соответствии с пунктом 3.1 того же стандарта, противопожарная защита реализуется посредством:

1. Применения средств пожаротушения, включая различные типы пожарных машин;
2. Использования автономных систем обнаружения возгораний;
3. Обязательного наличия оборудования, предназначенного для локализации и предотвращения распространения огня на производственных объектах;
4. Применения средств противодымной защиты.

5 ЗАТРАТЫ НА ПРОИЗВОДСТВО ПРОТОТИПОВ

5.1 Стоимость разработки инженерного проекта

Для оценки и сравнения стоимости изготовления готового образца гидравлического оборудования с использованием аддитивных технологий необходимо учесть все предполагаемые и предварительные расходы.

Рассчитывать цену проектных работ можно по следующей формуле:

$$C_{\Pi} = 3P_{ос} + 3P_{доп} + ЕСН + A + C_{эл} + НР, \quad (7)$$

где C_{Π} – приблизительная стоимость проектирования;

$3P_{ос}$ – заработная плата основного проектировщика;

$3P_{доп}$ – дополнительная заработная плата основного проектировщика;

ЕСН – единый социальный налог;

A – амортизация помещения и оборудования (ПК);

$C_{эл}$ – стоимость электроэнергии;

НР – накладные расходы.

Данная формула допускает внесение изменений и дополнений, связанных с различными показателями и издержками.

Следовательно, следует понимать, что она не имеет строго заданного вида. Для вычисления заработной платы дизайнера требуется оценить время, затраченное на проектирование, и уровень сложности задачи. Помимо основной заработной платы, в расчет включаются дополнительные категории затрат, а также амортизационные отчисления.

$$3P_{ос} = O \cdot P_k \cdot T, \quad (8)$$

где O – оклад проектировщика, [y.e];

P_k – районный коэффициент;

T – отработанное время, [мес.].

Средний приблизительный оклад инженера-конструктора составляет 25000 руб., районный коэффициент по Амурской области равен около 1,3, данная работа инженера будет выполняться в течении 3 месяцев:

$$3\Pi_{oc} = 97500 [y.e]$$

Нужно учесть дополнительную заработную плату. Считается через соответствующий коэффициент:

$$K_{доп} = \frac{365 - T_{пв}}{365 - T_{пв} - T_{отп} - T_{бол}} = \frac{365 - 118}{365 - 118 - 28 - 3} = 1,14, \quad (9)$$

где $T_{пв}$ – количество праздников и выходных в году;

$T_{отп}$ – количество дней в отпуске;

$T_{бол}$ – количество дней по болезни оплачиваемых.

$$3\Pi_{доп} = 3\Pi_{oc} (K_{доп} - 1) = 97500 \cdot (1,14 - 1) = 13650 [y.e] \quad (10)$$

Единый социальный налог включает в себя несколько обязательных компонентов:

- Основную долю составляют взносы на пенсионное обеспечение, достигающие 22% от налогооблагаемой базы;
- Значительная часть приходится на обязательное медицинское страхование, которое обходится в 19,89%;
- Оставшаяся доля направляется в страховой фонд, и эти платежи составляют 7,6%.

Важно отметить, что при оценке затрат на проектные работы нет необходимости учитывать страхование от несчастных случаев и производственных травм.

$$ECH = (3П_{OC} - 3П_{ДОП}) \cdot \frac{49.5\%}{100\%} = (97500 + 13650) \cdot 0,495 = 55019,25[y.e] \quad (11)$$

Как правило, начальная стоимость компьютера или ноутбука соответствует его изначальной цене покупки, включая стоимость всех деталей и компонентов программного обеспечения, а также расходов на сборку и установку программ (условно, эти расходы оцениваются в процентах от 5 до 10%). В данном случае, поскольку компьютер уже применялся, то фактические затраты на его приобретение отсутствовали.

Поэтому амортизация в данном случае не учитывается. Расчет стоимости электроэнергии производится исходя из мощности компьютера, равной 500 Вт. Коэффициент использования компьютерной техники при проектных работах составляет 0,7, что соответствует среднему времени работы компьютера около 8 часов в день (t).

Определим общее время работы данного проекта:

$$T_K = t \cdot P_D \cdot n, \quad (12)$$

где P_D – число рабочих дней в месяце;

n – число месяцев выполнения работы.

$$T_K = 8 \cdot 21 \cdot 3 = 504 \text{ часов}$$

Имея информацию о цене электроэнергии, а именно 4,97 рубля за киловатт-час, мы можем вычислить потребление электроэнергии. Исходя из тарифа на электричество в размере 4,97 руб./кВт·ч, рассчитаем величину электроэнергии.

$$C_{ЭЛ} = T_K \cdot C \cdot N_K = 504 \cdot 4,97 \cdot 0,5 = 1252,44[y.e] \quad (13)$$

В состав накладных расходов включаются такие позиции, как плата за аренду занимаемой площади, оплата электроэнергии для освещения, текущие хозяйственные нужды и издержки, связанные с поддержанием деятельности проектного бюро.

Согласно информации, предоставленной бухгалтерией:

$$NP = 3P_{oc} \cdot 200\% = 97500 \cdot 200\% = 195000 \text{ [y.e.]} \quad (14)$$

Таким образом суммарные расходы на проектирование составят:

$$C_n = 97500 + 13650 + 55019,25 + 1252,44 + 195000 = 362421,69 \text{ [y.e.]}$$

5.2 Стоимость прототипов

Себестоимость представляет собой совокупные издержки предприятия, связанные с изготовлением и реализацией продукции или оказанием услуг. В неё входят затраты на материалы, оплату труда и общепроизводственные нужды. Прямые затраты, такие как материальные и трудовые, напрямую формируют себестоимость, в то время как накладные расходы являются косвенными.

В структуре себестоимости выделяют пять ключевых элементов: сырье и материалы, заработная плата персонала, обслуживание зданий и оборудования, отчисления на социальные нужды, прочие издержки.

Материальные затраты охватывают финансовые ресурсы, направленные на закупку сырья, материалов и комплектующих, используемых в производственном процессе в текущем и предшествующих периодах.

В затраты на производство, к примеру, двигателей, включается заработная плата работников, приобретение специальной одежды, премиальные выплаты и иные компенсации.

При составлении бюджета нужно учитывать затраты на инструменты, содержание производственных помещений, оплату коммунальных услуг, техническое обслуживание оборудования и закупку расходных материалов.

Важной статьёй расходов являются социальные отчисления, включающие страховые взносы, пенсионные платежи и налоги.

Дополнительные расходы связаны с приобретением оборудования, арендой вспомогательных помещений, а также оплатой услуг сторонних организаций, таких как сварка, фрезеровка и калибровка. Для более точного анализа структуры затрат используют специальные расчетные формулы.

$$C = M + C_{эл} + ЗП + РОП + Здр, \quad (15)$$

где M – стоимость на материалы;

$C_{эл}$ – стоимость на электроэнергию;

$ЗП$ – заработная плата дополнительным рабочим;

$РОП$ – реализация и обслуживание продаж;

$Здр$ – другие расходы.

Все необходимые расходы приведены в таблице 9. Поскольку гидроаппаратура включает металлические конструкции, для их соединения требуется сварка, чтобы обеспечить герметичность в процессе эксплуатации.

Формула расчета сварных работ:

$$P_{CB} = t_{раб} \cdot СТ + З_{мат} + A_o, \quad (16)$$

где $t_{раб}$ – время затраченной работы;

$СТ$ – ставка, 1 час;

$З_{мат}$ – затраты на материалы;

A_o – затраты на амортизацию.

Из-за компактных размеров гидравлического оборудования сварщик тратит на работы примерно половину рабочего дня, при этом норма выработки составляет 700 у.е. в час. В качестве расходного материала используются электроды марки ЭА-395/9, стоимость которых равна 1666 у.е. за килограмм. Ежемесячная

амортизация сварочного оборудования составляет 4000 у.е.

$$PCB = 6 \cdot 700 + 3332 + 4000 = 11532 [y.e]$$

Таблица 9 – Стоимость прототипов традиционного метода

Наименование	Обозначение	Кол-во, шт	Цена за ед, у.е.	Сумма, у.е
Заработная плата проектировщика	ЗП	1	97500	97500
Оплата сварочных работ	СР	1	11532	11532
Стоимость электроэнергии	ЭЭ	1	1252,44	1252,44
Накладные расходы	НР	1	195000	195000
Стоимость оборудования	О	1	80000	80000
Стоимость материала	Сталь 45	30 кг	85	2550
Итоговая стоимость	387834,44			

Таблица 10 – Стоимость прототипов аддитивного метода

Наименование	Обозначение	Кол-во, шт	Цена за ед, у.е.	Сумма, у.е
Заработная плата проектировщика	ЗП	1	97500	97500
Стоимость электроэнергии	ЭЭ	1	1252,44	1252,44
Накладные расходы	НР	1	195000	195000
Стоимость оборудования	О	1	56000	56000
Стоимость материала	М	15	282	4230
Итоговая стоимость	355752,44			

Исходя из расчётов, аддитивное производство обойдётся дешевле традиционного на целых 10%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы были изучены принципы работы и конструктивные особенности гидроаппаратуры, предназначенной для изменения или поддержания заданного давления, или расхода. Были определены конструкции устройств, построены цифровые модели в САД-системе КОМПАС-3D, выполнен расчёт прочности при помощи библиотеки APM FEM. Затем были подготовлены цифровые модели к печати и реализованы в физические прототипы путём 3D-печати из фотополимерной смолы.

Полученные физические прототипы позволили провести детальный визуальный осмотр, оценить качество изготовления, включая точность размеров, гладкость поверхностей и отсутствие дефектов, а также совершить сборку. В процессе сборки были выявлены некоторые недостатки в конструкциях устройств, такие как недостаточные точные геометрические значения, быстрота износа изделия.

Практическая работа позволила приобрести ценные практические навыки в сборке гидроаппаратуры. Кроме того, работа над проектом значительно улучшила знания в области проектирования гидроаппаратуры, расчёта прочности устройств, а также в области применения САД-систем и методов конечно-элементного анализа.

Результаты работы, включая разработанные цифровые модели, расчетные данные и полученные физические прототипы, могут быть использованы в дальнейшей разработке и совершенствовании гидроаппаратуры для РКТ, а также в качестве наглядного материала в учебном процессе для студентов при изучении дисциплин, связанных с гидравлическими системами и машинами. В частности, полученные модели могут быть использованы для проведения лабораторных работ и демонстрации принципов работы гидроаппаратуры.

Кроме того, были приняты во внимание опасные факторы, связанные с работой с композитными материалами. Для обеспечения безопасности работников были изучены соответствующие нормативные документы и разработаны меры

по защите при работе с такими материалами. В целом, соблюдение мер безопасности при работе с этими материалами позволяют минимизировать риски для здоровья и окружающей среды, обеспечивая безопасную и эффективную работу.

Таким образом данная работа способствовала углублённому изучению принципов работы и конструктивных особенностей гидроаппаратуры, а также приобретению практических навыков в её сборке, проектировании и расчёте прочности. Полученный опыт и знания будут полезны в дальнейшей профессиональной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козловский, И. Н., Барышев, С.А. Моделирование послойным наплавлением: изготовление неметаллических деталей/ АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко» – «Научно-практический электронный журнал Аллея Науки» №2(77) 2023 Alley-science.ru, 2023.

2. Горячкин, Б.С., Черната, Н.С. Обзор возможных вариантов использования технологий и материалов 3d печати в авиационной промышленности. – ИД «Академия естествознания», 2024.

3. ГОСТ Р 57589-2017. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 2 Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования. М. – Стандартиформ, 2019.

4. ГОСТ Р 57558-2017. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1 Термины и определения. М. – Стандартиформ, 2018.

5. Ковалевская, Ж.Г., Безбородов, В.П. Основы материаловедения. Конструкционные материалы: учебное пособие / Ж.Г. Ковалевская, В.П., Безбородов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.

6. От воска до металла: обзор основных материалов для 3D-печати. – URL: <http://blog.iqb.ru/3d-printing-materials>, 15.04.2021.

7. 25 самых популярных материалов для 3D печати. URL: <http://3dprintstory.org/25-samih-populyarnih-materialov-dlya-3d-pechati>, 17.04.2021

8. Ванин, Ю.В. PBF – метод 3D-печати деталей для аэрокосмической промышленности / Ванин, Ю.В. – Химки: АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко» – «Научно-практический электронный журнал Аллея Науки» №2(77) 2023 Alley-science.ru, 2023.

9. Технология 3D-печати FDM [электронный ресурс] – URL: <https://globatek.ru/3d-wiki/3d-printing-techologies/fdm>, 10.02.2023.

10. Васянькин, А.В. Эффективность аддитивного производства в изготовлении аэрокосмических компонентов / Васянькин, А.В. – Химки: АО «НПО

Энергомаш имени академика В.П. Глушко» – «Научно-практический электронный журнал Аллея Науки» №2(77) 2023 Alley-science.ru, 2023.